

La Radio ?...
Mais c'est
très simple !

AUTRES OUVRAGES DU MEME AUTEUR :

J'ai compris la T.S.F. (préface du Professeur R. Mesny, 1926, traduit en 19 langues).



Les postes de T.S.F. alimentés par le secteur (1930).



Phototélégraphie et télévision (préface de M. Edouard Belin, 1930).



Théorie et pratique de la télévision (en collaboration avec R. Aschen, 1932).



Précis de radioélectricité (en collaboration avec A. Néoussikhine, 1933).



La radio ?.. Mais c'est très simple ! (traduit en 4 langues, 1935).



Manuel Technique de la radio (en collaboration avec H. Giloux et R. Soreau, 1937).



Cours complémentaire de radioélectricité (1941).



Dépannage professionnel radio (1942).



Amélioration et modernisation des récepteurs (1942).



La modulation de fréquence et ses applications (1945).



Méthode dynamique de dépannage et de mise au point (en collaboration avec A. et G. Nissen, 1945).

En préparation :

Cours de mathématiques pour radiotechniciens.



Traité de photographie artistique.

E. AISBERG

DIRECTEUR DE
« TOUTE LA RADIO »

La Radio?... Mais c'est très simple !

Comment sont conçus et
comment fonctionnent les
récepteurs actuels de T. S. F.

Dessins marginaux de
H. GUILAC

SOCIÉTÉ DES ÉDITIONS RADIO
42, Rue Jacob, 42
PARIS-VI^e

MCMXLVI

Cet ouvrage a été traduit et édité :

en Italien :

« LA RADIO ?.. È UNA COSA SEMPLICISSIMA
(Milano, 1938)

en Hollandais :

« ZOO... WERKT DE RADIO! »
(Deventer, 1939)

en Espagnol :

« ¿ LA RADIO ?.. PERO SI ES MUY FACIL
(Buenos Aires, 1940)

D'autres traductions sont en préparation

Tous les droits de traduction, de reproduction, d'adaptation cinématographique partielle ou totale sont réservés pour tous pays, y compris les États-Unis, la Suède, la Norvège et l'U. R. S. S.
Copyright by E. AISBERG, Paris, 1942.

A qui s'adresse ce volume ?



Ni par sa présentation, ni par son contenu, ce livre ne ressemble à aucun autre.

Les dessins marginaux dont l'a orné, avec son esprit habituel, le talentueux dessinateur Guilac, pourraient un instant laisser supposer qu'il s'agirait d'un livre d'enfants.

En réalité, « La Radio?... Mais c'est très simple ! » s'adresse *aux débutants et aux techniciens de tout âge*.

Au débutant, il apporte un exposé, facile à assimiler, des lois fondamentales de la radioélectricité et l'explication simple du fonctionnement des récepteurs modernes. La lecture du livre ne nécessite pas de connaissances préliminaires de l'électricité et de la physique. Les notions indispensables de ces domaines de la science sont présentées dans les passages du texte où elles sont jugées utiles à la compréhension de la radio.

La lecture attentive permettra au débutant de s'initier sans difficulté aux prétendus « mystères » de la radioélectricité, cette technique passionnante entre toutes et dont le domaine d'applications s'élargit de jour en jour, en nous libérant définitivement de la contrainte du temps et de l'espace.

Si ce livre est utile au débutant, il ne le sera pas moins au technicien soucieux de mettre de l'ordre dans ses idées. Par son développement rapide, la radioélectricité a produit, dans l'esprit de ceux qui s'en occupent, une accumulation d'idées éparses qu'il est nécessaire de classer, afin d'en tirer un système logique ; outre cela, l'enseignement des manuels classiques et des grandes écoles donne, de la plupart des phénomènes de la radio, une idée par trop mathématique et abstraite.

C'est dans le but du « rangement d'idées », de leur mise en ordre rationnelle, que le technicien lira avec profit ce livre dont l'auteur a été constamment guidé par le souci de donner une image physique concrète de chacun des phénomènes étudiés.

Pour vulgariser, on n'est pas forcé d'être vulgaire. Pour être simple, nul besoin d'explications simplistes. Et pour être sérieux, il n'est pas nécessaire d'être ennuyeux.

L'auteur espère avoir pu éviter ces trois écueils de la mauvaise vulgarisation. Dans ses explications, il s'est constamment basé sur les théories généralement admises par la science contemporaine. Il s'est énergiquement refusé de « simplifier » au détriment de la vérité.

Afin d'éviter toute aridité académique, il a adopté la forme de causeries qui rend son livre vivant et facile à assimiler et lui permet de mettre le lecteur en garde contre toutes les embûches que lui avait désignées sa longue pratique d'enseignement.

Sans prétendre au titre de « manuel de construction », ce livre n'en est pas moins indispensable à ceux qui veulent entreprendre le montage raisonné des appareils radio. Laissant délibérément de côté tout ce qui est tombé en désuétude, l'auteur parvient à amener le lecteur à la compréhension des *principes les plus récents* incorporés dans la conception des récepteurs modernes. Pour atteindre ce but, sans alourdir exagérément les dimensions de l'ouvrage... et l'esprit du lecteur, l'auteur a dû adopter un ordre d'exposé peu banal et éviter toute « littérature » superflue. Aussi, malgré son apparence, ce livre constitue-t-il un exposé condensé qu'il convient de lire lentement, ne passant à la page suivante que lorsque le contenu de celle qui précède est parfaitement bien assimilé.

Si ce livre réussit à répandre la connaissance et à inculquer l'amour de la radio, l'auteur s'estimera heureux d'avoir pu ainsi apporter sa modeste contribution à la diffusion de cette merveilleuse science.

NOTE IMPORTANTE

Les quatre premières éditions de cet ouvrage ont été publiées sans modifications notables. Et nous aurions pu procéder de la même façon pour les suivantes, puisque les récents progrès de la radio ne portent que sur des questions de détail, sans apporter des éléments nouveaux aux notions et théories essentielles faisant l'objet de ce livre.

Cependant, guidé par des considérations d'ordre didactique, l'auteur a jugé utile de faire suivre les 20 causeries, qui constituent toujours la partie fondamentale de l'ouvrage, de commentaires réunis à la fin du volume. Ces commentaires poursuivent un double but : approfondir certaines explications et compléter l'exposé de certaines questions.

Pour retirer le maximum de profit de ces commentaires, **il faut lire après chaque causerie le commentaire correspondant.**

On peut également adopter une méthode consistant à lire d'abord toutes les causeries, puis les recommencer en faisant suivre cette deuxième lecture de chaque causerie par l'étude du commentaire correspondant.

Quelle que soit la méthode adoptée, les commentaires permettront au lecteur de revoir certaines questions sous un aspect différent, d'apprendre des détails pratiques fort utiles et d'avancer ainsi plus loin et plus aisément dans son étude de la radio.



LES PERSONNAGES :

D'abord un très gentil garçon, **CURIOSUS**, à qui, jadis, les notions de la radioélectricité ont été enseignées par son oncle, l'ingénieur **RADIOL**. L'auteur avait relaté leurs causeries dans un livre qui a connu un grand succès (il a été traduit en 20 langues), mais qui, à présent, ne correspond plus à l'état actuel de la technique.

Aujourd'hui, **CURIOSUS** a 18 ans. Il n'a rien perdu de sa curiosité d'antan, ni de son entrain juvénile. C'est un amateur de T. S. F. expérimenté qui est à même d'exposer à son tour, avec beaucoup de clarté, la théorie de la Radio. C'était, d'ailleurs, dès sa prime jeunesse, un garçon étonnant...

IGNOTUS?... Vous ne le connaissez pas? C'est l'ignorance faite homme. Définitivement brouillé avec les mathématiques, il connaît à peine les premières notions de la physique. Il est toujours partagé entre le désir d'apprendre et la peur de ne pas comprendre. Mais, savez-vous, malgré ses 14 ans, il n'est pas bête. Loin de là ! Vous vous en apercevrez d'ailleurs dès la...



... PREMIÈRE CAUSERIE ...

Dans cette causerie sont exposées les notions fondamentales d'électricité. Faisant appel à la théorie électronique, **Curiosus** réussit à présenter les choses d'une manière très claire et qui facilitera la compréhension des causeries suivantes.

Ignotus nage en plein inconnu.

CURIOSUS. — Prenez place, **Ignotus**, et laissez-moi vous expliquer le but de cette urgente convocation. J'espère que, malgré quelques antécédents déplorables, vous n'ignorez pas que j'ai une marraine que j'aime beaucoup. Hier, elle m'a demandé de lui monter un récepteur de T. S. F. Or, vous savez également qu'en ce moment je suis très pris par la préparation de mon « bac ». Puis-je compter sur vous pour m'aider dans la construction de l'appareil en question?



IGNOTUS. — Très volontiers... Seulement, que puis-je faire? J'ignore tout de la Radio!

CUR. — La Radio?... Mais c'est très simple!... Je vous expliquerai les choses très aisément. Tenez, voici le schéma que j'ai dessiné pour le récepteur de marraine (fig. 1).

IG. — C'est bougrement compliqué!

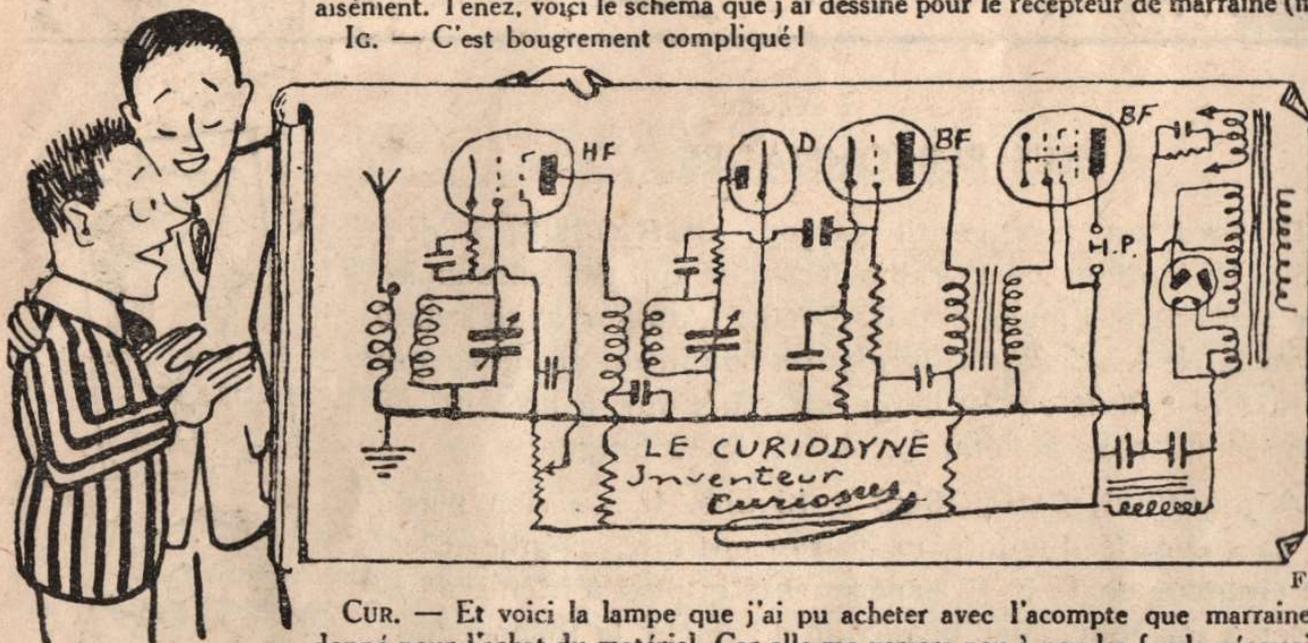


FIG. 1.

CUR. — Et voici la lampe que j'ai pu acheter avec l'acompte que marraine m'a donné pour l'achat du matériel. Car elle me versera peu à peu les fonds nécessaires à l'acquisition des pièces.

IG. — Cette lampe, me semble-t-il, ne servira pas à grand'chose. Son ampoule n'est guère transparente et elle éclaire certainement très mal.

CUR. — Gros bêta! Cette lampe ne sert pas à l'éclairage. C'est une triode amplificatrice à chauffage indirect.

IG. — J'aime autant m'en aller sans tarder, car vous vous moquez de moi en employant ces mots barbares.

CUR. — Attendez. Je vous expliquerai. Dans une lampe, le courant va de la cathode, qui est négative, à l'anode, qui est positive.

IG. — De mieux en mieux! D'après vous, le courant va du négatif au positif. Or, depuis ma plus tendre enfance, on m'apprend le contraire. Comment voulez-vous que je m'y retrouve?

Curiosus commence par le commencement.

CUR. — Décidément, il faudra commencer par vous expliquer les premières notions d'électricité, car vous avez déjà l'esprit faussé par des idées inexactes que vous ont inculquées vos livres d'école. Vous ont-ils au moins appris ce que c'est que l'atome?

IG. — Oui, c'est la plus petite particule de la matière et qui, par conséquent, est indivisible.

CUR. — Je m'y attendais!... Sachez donc que si, du temps où votre professeur de physique passait sa licence, on croyait dur comme fer que l'atome est indivisible, aujourd'hui on sait qu'il se compose d'une quantité de particules beaucoup plus petites.

IG. — Lesquelles probablement se subdivisent à leur tour en particules encore plus petites?

CUR. — C'est probablement ce que l'on enseignera à nos enfants... lorsque nous en aurons. En attendant, on considère que l'atome se compose d'électrons et de protons. Les électrons sont des charges élémentaires négatives d'électricité. Les protons sont des charges élémentaires positives. Il existe entre les électrons et les protons une force d'attraction.

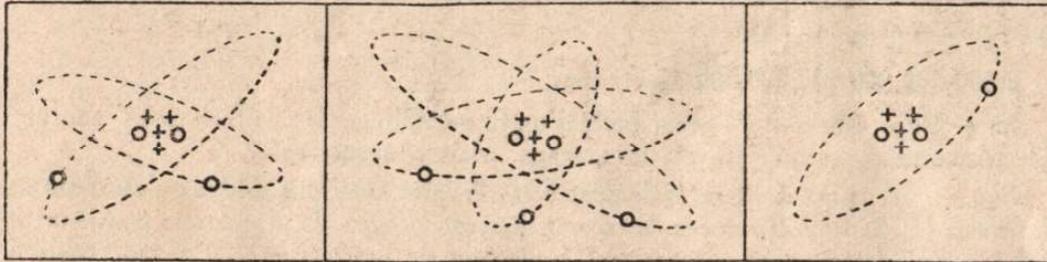


IG. — Ils sont donc, en quelque sorte, agglomérés les uns avec les autres?

CUR. — Non, car entre électrons et électrons d'une part, et entre protons et protons d'autre part, il existe une force de répulsion. Il en résulte que, dans l'atome, les forces de répulsion et d'attraction s'équilibrent lorsque les électrons gravitent (comme les planètes autour du soleil) autour du noyau central composé de protons et de quelques électrons (fig. 2).

IG. — C'est un véritable système solaire en miniature!

CUR. — Très juste. Remarquez maintenant que, lorsque dans un atome il y a autant d'électrons que de protons, l'atome est *neutre*. Quand il y a plus d'électrons que de



Atome neutre

Atome négatif

Atome positif

FIG. 2. — Les croix représentent les protons; les cercles représentent les électrons.

protons, la charge négative est supérieure à la charge positive et l'atome est *négatif*. Enfin...

IG. — ... quand il y a moins d'électrons que de protons, l'atome est *positif*.

CUR. — Parfait! Je vois que vous avez compris.

Le bon sens tend vers l'équilibre.

IG. — Je voudrais cependant savoir comment un atome peut devenir positif ou négatif.

CUR. — Les électrons qui gravitent loin du noyau ne sont que faiblement attirés par celui-ci. S'ils arrivent dans la sphère d'attraction d'un atome voisin déficient en électrons, ils quitteront leur propre atome pour compléter ou équilibrer l'atome voisin.

IG. — C'est comme les Japonais...

CUR. — Je ne vois pas en quoi les fils de l'Empire du Soleil Levant...

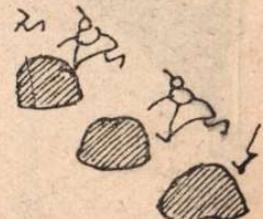
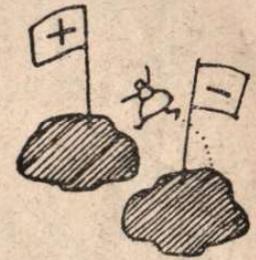
IG. — Mais si! Le Japon étant surpeuplé, ils émigrent vers des pays à population moins dense.

CUR. — Si vous voulez... En tout cas, retenez que les électrons vont des atomes où ils sont plus nombreux, donc atomes négatifs, vers des atomes où ils sont moins nombreux, ou atomes positifs. Ainsi, si, par un moyen quelconque, vous rendez les atomes d'une extrémité d'un fil métallique négatifs (trop d'électrons) et ceux de l'autre extrémité



FIG. 3. — Le courant électrique est une migration d'électrons qui tend à rétablir un équilibre dans leur répartition.

positifs (manque d'électrons), les électrons sauteront d'un atome vers l'autre, et cela à travers tous les atomes intermédiaires, jusqu'au moment où l'équilibre sera rétabli. Dans quel sens iront les électrons?



IG. — Evidemment de l'extrémité négative vers l'extrémité positive.

CUR. — Eh bien, c'est cette migration d'électrons, c'est ce courant électronique que l'on appelle *courant électrique*.

IG. — Formidable !... Donc, c'est vrai, le courant va du négatif au positif... et notre professeur nous a dit des...

CUR. — Il vous a tout simplement parlé du sens conventionnel du courant. Car, à l'époque où l'on a convenu d'adopter arbitrairement un sens du courant électrique, on ignorait encore la théorie électronique et, comme de juste, on s'est trompé, en convenant de considérer que le courant va du positif au négatif. Vous trouverez encore cette allégation dans beaucoup d'ouvrages publiés en 1934. Il s'agit là d'une convention. Rappelez-vous seulement que les électrons vont du négatif au positif ou du « moins » au « plus », comme on dit.

6.000.000.000.000.000 électrons.

IG. — Vous avez tout à l'heure parlé d'un fil métallique. Je sais bien que le courant électrique ne passe qu'à travers les métaux. Mais pourquoi cela ?

CUR. — Le courant passe également à travers des solutions acides ou alcalines et à travers le charbon. Tous ces corps sont des *conducteurs*. Leurs atomes contiennent beaucoup d'électrons qui s'échappent facilement de l'attraction du noyau. Mais il existe d'autres corps dans lesquels les électrons sont trop intimement liés au noyau pour pouvoir quitter l'atome. Dans ces corps, dits *isolants* ou *diélectriques*, le courant électrique ne peut évidemment pas s'établir. Parmi les meilleurs isolants utilisés en T. S. F., je vous citerai le quartz, l'ébonite, l'ambre, la bakélite, le verre, la porcelaine, la paraffine. Entre les isolants et les conducteurs se placent les *semi-conducteurs*, tels que le bois humide (c'est d'ailleurs l'eau qui en assure la conductibilité).

IG. — Quel est le meilleur isolant ?

CUR. — C'est l'air sec.

IG. — Et le meilleur conducteur ?

CUR. — C'est l'argent. Mais le cuivre rouge est presque aussi bon et, comme il coûte moins cher, on s'en sert plus couramment.

IG. — Mais comment sait-on que l'argent est meilleur conducteur que le cuivre ?

CUR. — Parce que, dans les mêmes conditions, un fil en argent sera traversé par un courant d'intensité plus grande qu'un fil de mêmes dimensions, mais en cuivre.

IG. — Qu'appellez-vous « intensité de courant » ?

CUR. — C'est le nombre d'électrons qui participent au mouvement que nous appelons courant électrique.

IG. — Donc on peut parler d'un courant d'intensité de 10 électrons ou de 1.000 électrons ?

CUR. — On pourrait le faire. Mais, pratiquement on mesure l'intensité en ampères. Un ampère correspond au passage de 6.000.000.000.000.000 électrons par seconde. Je vous dis cela en chiffres ronds...

IG. — Merci !...

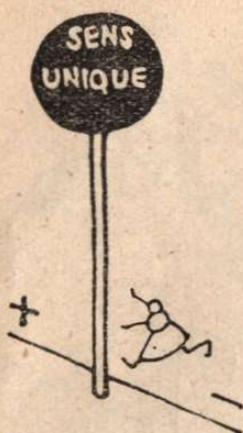
CUR. — On se sert aussi fréquemment des sous-multiples de l'ampère : le *milliampère* (mA) égal à 1/1.000 ampère et le *microampère* (μ A) égal à 1/1.000.000 ampère. C'est, vous voyez, très simple.

IG. — Tout cela est, au contraire, bigrement compliqué. Mais de quoi dépend donc l'intensité du courant ?

CUR. — De la tension appliquée au conducteur et de la résistance de ce dernier.

Les mots changent de sens.

IG. — Je suppose que « tension » et « résistance » veulent dire, en électricité quelque chose de spécial. C'est comme le cercle...



CUR. — Le cercle?

IG. — Mais oui ! Tant que je n'ai pas commencé à apprendre la géométrie, je savais fort bien ce que c'était qu'un cercle. Mais depuis qu'on m'a enseigné que c'est « le lieu géométrique de tous les points se trouvant à égale distance d'un point donné », je ne comprends plus rien...

CUR. — Eh bien ! En électricité, la résistance est la propriété d'un conducteur d'opposer... une résistance plus ou moins grande au passage d'un courant. Elle dépend de la nature même du conducteur, c'est-à-dire du nombre des électrons facilement détachables de ses atomes. Elle dépend aussi de sa longueur. Plus il est long, plus grande est la résistance. Enfin, elle dépend aussi de la section du conducteur. Si la section est large, plus d'électrons peuvent passer simultanément et, par conséquent, moins la résistance est grande (1). La résistance est mesurée en *ohms* (Ω) ou en millions d'ohms ou *mégohms* ($M\Omega$). Un ohm, c'est approximativement la résistance d'un fil de cuivre de 62 mètres d'une section de 1 mm^2 .



Considérations philosophiques sur la relativité.

IG. — Et qu'est-ce que la *tension*?

CUR. — La tension c'est, en quelque sorte, la pression qu'exerce sur les électrons la différence d'état électrique des extrémités d'un conducteur.

IG. — C'est bougrement compliqué et très nébuleux...

CUR. — Mais non, c'est simple. Comme je vous l'ai déjà dit, la proportion des électrons et des protons détermine l'état électrique ou le *potentiel* d'un atome. Supposez que vous avez deux atomes. Dans le premier, il manque 3 électrons, dans le deuxième il en manque 5.

IG. — Tous les deux sont positifs. Et, si j'ose dire, le deuxième est plus positif que le premier.

CUR. — Il faut oser, car cela se dit ainsi. Et même, bien que les deux atomes soient positifs, on peut dire, que par rapport au deuxième, le premier est négatif.

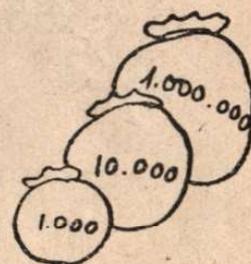
IG. — Ça, par exemple !... Il est vrai que, dans la vie, tout est relatif.

CUR. — Mais oui. Ainsi, tenez, entre deux personnes qui, toutes les deux ont de l'argent, celui qui ne possède que 1.000 francs est pauvre par rapport à celui qui a 1 million, mais riche par rapport à un tiers qui n'a, pour toute fortune, que 10.000 francs de dettes. Dans le monde des atomes, celui qui a trois électrons en moins est négatif par rapport à celui qui a dix électrons en moins et positif par rapport à celui qui a deux électrons en trop. Ces trois atomes ont des potentiels différents.

IG. — Et les différences de potentiel sont mesurées en différences des nombres d'électrons?

CUR. — On aurait pu le faire. Mais pratiquement la *différence de potentiel* ou, ce qui est la même chose, la *tension* est mesurée en *volts*. Le volt est la tension qui, appliquée aux extrémités d'un conducteur de 1 ohm de résistance, donne lieu à un courant de 1 ampère d'intensité.

IG. — Ainsi, si je vous ai bien compris, la tension est une sorte de pression électrique qui pousse les électrons d'un bout du conducteur à l'autre?



(1) Une formule? La voici. La résistance R (en ohms) dépend de la longueur L (en centimètres) et de la section S (en centimètres carrés) suivant la loi :

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

Dans cette expression ρ est un coefficient qui dépend de la nature du conducteur et est appelé *résistance spécifique* ou *résistivité*.

CUR. — Exactement. Et vous devinez aisément que plus la tension est grande...

IG. — ... plus grande est l'intensité du courant.

CUR. — Et, par contre, plus la résistance est grande..

IG. — ... moins grande est l'intensité du courant.

CUR. — Nous venons ainsi de redécouvrir une loi fondamentale de l'électricité : la loi d'Ohm. On dit, en abrégé, que l'intensité est égale à la tension divisée par la résistance (2).

IG. — Je commence à sentir une véritable salade dans ma boîte crânienne. Electrons, protons, résistance, ohm, tension, volt, intensité, ampère, loi d'Ohm... Tout ça est bougrement compliqué.

CUR. — Réfléchissez-y jusqu'à notre prochaine causerie et vous verrez que c'est très simple.



(2) Et voici, pour les mathématiciens, cette formule classique de la loi d'Ohm

$$I = \frac{E}{R}$$

où *I* est l'intensité du courant en ampères ;

E, la tension en volts entre les extrémités du conducteur et

R, la résistance en ohms du conducteur.

QUELQUES SYMBOLES UTILISÉS DANS LES SCHÉMAS DE RADIOÉLECTRICITÉ

	ANTENNE		TERRE		CONNEXIONS NON RELIÉES ENSEMBLE		CONNEXIONS RELIÉES ENSEMBLE
--	---------	--	-------	--	---------------------------------	--	-----------------------------

	SIGNE DE VARIABILITÉ		CONDENSATEUR FIXE		CONDENSATEUR VARIABLE		RÉSISTANCE FIXE		RÉSISTANCE VARIABLE
--	----------------------	--	-------------------	--	-----------------------	--	-----------------	--	---------------------

	BOBINAGE		BOBINAGES COUPLÉS		COUPLAGE VARIABLE		BOBINE A NOYAU DE FER		TRANSFORMATEUR A NOYAU DE FER
--	----------	--	-------------------	--	-------------------	--	-----------------------	--	-------------------------------

DEUXIÈME CAUSERIE

Ignotus ignorait tout du courant alternatif, de sa fréquence et de sa période. L'électromagnétisme lui était également inconnu. Après cette deuxième causerie, il saura parfaitement ce qu'est une longueur d'onde, un électro-aimant, un champ magnétique... Il pourra, aussi bien que Curiosus, expliquer en quoi consiste le phénomène de l'induction... Car, tout ignorant qu'il soit, Ignotus est un enfant très doué...

De quelques allers et retours.

IGNOTUS. — La dernière fois, Curiosus, vous m'avez parlé d'électrons, de protons, du courant électrique... En somme, de tout, excepté la Radio!

CURIOSUS. — Mais, mon cher, dans la Radio, nous ne nous occupons que des courants électriques et, avant tout, il faut donc connaître les lois simples qui les régissent.

IG. — Et moi qui croyais que la T.S.F. était surtout une science des ondes!...

CUR. — Certes, les ondes jouent un rôle important. C'est elles qui établissent, à distance, la liaison entre les antennes émettrice et réceptrice. Mais, à l'émission, elles sont engendrées par un courant alternatif de haute fréquence qui parcourt l'antenne émettrice; et, à la réception, elles provoquent un courant semblable, bien que moins intense, dans l'antenne réceptrice.

IG. — Allons bon! Voilà que vous me parlez du « courant alternatif de haute fréquence » sans prendre la peine de m'expliquer le sens de ce terme.

CUR. — Vous voyez donc combien il est nécessaire d'apprendre l'électricité avant de vous approfondir dans la Radio...

Jusqu'à présent nous n'avons parlé que du courant *continu*, c'est-à-dire de celui qui va toujours dans le même sens et avec une intensité constante.

IG. — Comme l'eau qui coule d'un robinet ouvert.

CUR. — Si vous voulez... Mais supposez qu'une machine électrique (alternateur) ou un autre dispositif fasse périodiquement varier les polarités des extrémités d'un conducteur. Ainsi chaque extrémité devient périodiquement positive, puis son potentiel diminue, passe par le zéro et se fait de plus en plus négatif. Après avoir atteint le maximum (appelé amplitude) il diminue, repasse par zéro, devient positif, augmente... et tout recommence (fig. 4).

IG. — Cela ressemble tout à fait à une balançoire qui monte, puis descend, passe par la position la plus basse, puis remonte, mais de l'autre côté, etc.

CUR. — L'exemple est bien choisi. Vous comprenez que le courant qui sera produit dans le conducteur par une telle tension, dite alternative, sera lui aussi alternatif, c'est-à-dire, il changera périodiquement de sens et son intensité variera proportionnellement aux variations de la tension.

IG. — Donc, si je vous ai bien compris, les électrons effectuent, en courant alternatif, d'incessants allers et retours?

CUR. — Oui. Et le temps que dure un voyage d'aller et de retour s'appelle *période*.

IG. — Est-ce long, une période?

CUR. — On utilise aussi bien des courants dont la période dure 0,06 seconde que des courants d'une période de 0,000.000.000,3 seconde. Tout cela dépend de la *fréquence* du courant.

IG. — Qu'appellez-vous ainsi?

CUR. — On appelle fréquence le nombre de périodes par seconde. Ainsi, lorsque la période dure $1/50^e$ de seconde, il y en a 50 dans une seconde, et nous disons que la fréquence est égale à 50 périodes par seconde.

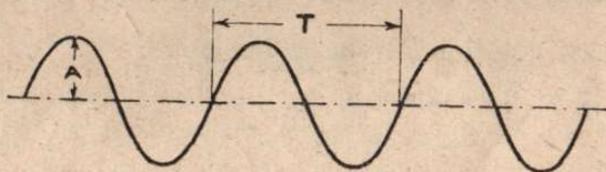
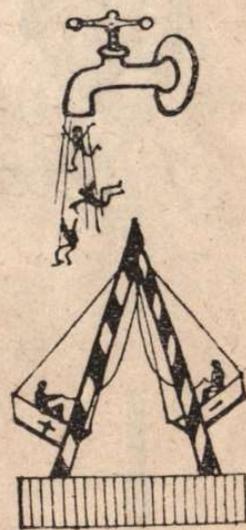


FIG. 4. — Tension en courant alternatif : A, amplitude; T, période.



Dans le domaine des ondes.

IG. — Je commence à comprendre maintenant ce que vous disiez tout à l'heure au sujet du courant alternatif de haute fréquence.

CUR. — On appelle ainsi des courants dont la fréquence est supérieure à 10.000 per/sec. De tels courants, lorsqu'ils circulent dans un conducteur vertical, produisent des ondes électromagnétiques qui, se détachant du conducteur, se propagent à la manière d'anneaux dont le rayon croît à une vitesse de 300.000.000 mètres par seconde.

IG. — Mais c'est la vitesse de la propagation de la lumière !

CUR. — En effet. Et cela est dû à ce que la lumière, elle aussi est constituée par des ondes électromagnétiques, mais de longueur d'onde plus courte que les ondes radio-électriques.

IG. — Qu'appellez-vous donc longueur d'onde ?

CUR. — C'est la distance entre deux anneaux électromagnétiques qui se sont successivement détachés de l'antenne (conducteur vertical). A chaque période du courant de haute fréquence, il se détache un anneau. Ainsi, au moment où un deuxième anneau se détache de l'antenne, le premier a déjà parcouru une certaine distance qui est précisément la longueur d'onde et qui est égale à...

IG. — ...la vitesse multipliée par la durée. Ici la vitesse est 300.000.000 mètres par seconde et la durée entre deux ondes successives est la période du courant. Donc la longueur d'onde est égale à la vitesse de la propagation multipliée par la période.

CUR. — Tous mes compliments ! On peut également dire que la longueur d'onde est égale à la distance parcourue en une seconde divisée par le nombre d'ondes émises en une seconde, c'est-à-dire la fréquence (1).

IG. — C'est comme les deux gamins que j'ai vu tout à l'heure courir dans la rue.

CUR. — ?...

IG. — Mais si ! L'un, un grand, avec des longues jambes et l'autre tout petit. Ils couraient en se tenant par la main, donc à la même vitesse. Le grand faisait de longues enjambées, mais à une cadence plus faible que le petit qui trottait à côté. Cela prouve, vous voyez, que plus la longueur d'onde (longueur d'un pas) est grande, plus la fréquence (nombre des pas par seconde) est petite, et inversement.

CUR. — La comparaison est juste.

Il est question de choses invisibles.

IG. — Il y a cependant quelque chose qui me semble obscur. Qu'est-ce que c'est que ces anneaux que vous appelez ondes électromagnétiques ?

CUR. — Tout compte fait, je ne le sais pas très exactement, et je crois que les savants eux-mêmes ne sont pas d'accord là-dessus. Je peux vous dire toutefois qu'il existe, autour d'un conducteur parcouru par le courant électrique un champ électromagnétique, c'est-à-dire un ensemble de forces électriques (attractions et répulsions des électrons et des protons dont je vous ai parlé la dernière fois) et aussi un ensemble de forces

(1) Et voici des formules... pour qui les aime.

En désignant par T la période, F la fréquence et λ la longueur d'onde, nous pouvons établir les relations suivantes :

$$T = \frac{1}{F}; \quad F = \frac{1}{T}; \quad \lambda = 300.000.000 T = \frac{300.000.000}{F}$$

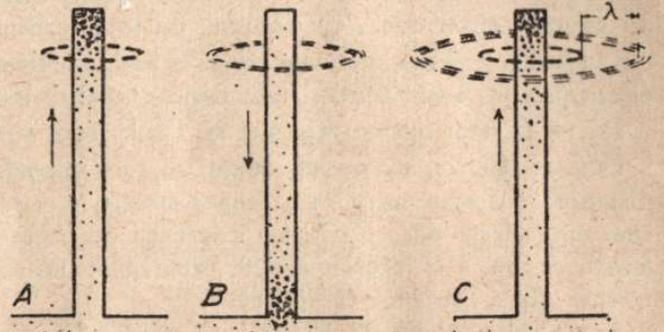
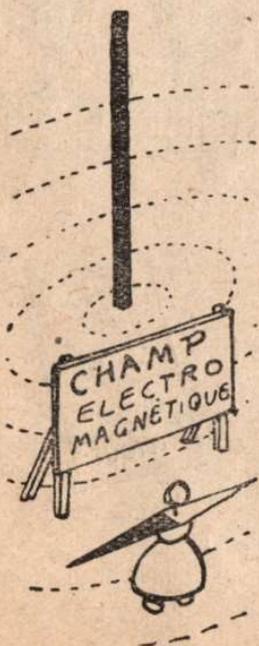


FIG. 5. — Mouvement des électrons dans l'antenne et formation des ondes.

magnétiques. Vous pouvez déceler ces dernières en approchant d'un conducteur une boussole dont l'aiguille s'orientera perpendiculairement au conducteur.

IG. — Donc c'est le même champ que celui d'un aimant ?

CUR. — Oui, mais avec cette différence que, à l'approche d'un aimant l'aiguille d'une boussole se tourne vers lui.

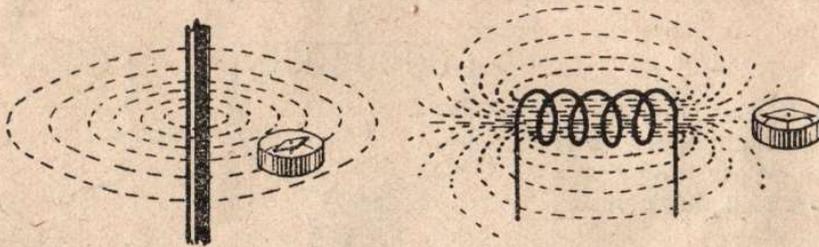


FIG. 6. — Champ magnétique d'un conducteur rectiligne et d'un bobinage.

IG. — Est-ce que l'on peut se servir d'un conducteur parcouru d'un courant comme d'un aimant ?

CUR. — Oui. Mais la force magnétique est très faible. Pour la renforcer, il faut disposer plusieurs conducteurs suivant le même chemin, de manière que leurs champs magnétiques se renforcent mutuellement.

IG. — Comment le faire ?

CUR. — Pratiquement, il suffit d'enrouler un fil en bobine. Nous obtenons ainsi un *électro-aimant* qui peut être beaucoup plus puissant qu'un aimant naturel. On peut encore le munir d'un noyau de fer ou d'acier qui, en condensant le champ magnétique, en renforcera l'intensité.

IG. — Est-ce que la polarité d'un tel aimant dépend du sens du courant ?

CUR. — Oui. Si pour un courant donné un pôle de l'électro-aimant attire le pôle nord de l'aiguille de la boussole, en inversant le courant, l'électro-aimant attirera le pôle sud. Car le champ magnétique a un sens qui dépend du sens du courant qui le crée. Et chaque variation de l'intensité ou du sens du courant se traduit par une variation correspondante du champ magnétique.

IG. — Ainsi, si je vous ai bien compris, les ondes électromagnétiques ne sont pas autre chose que des champs qui ont abandonné le courant qui les a créés et qui se promènent dans l'espace à la vitesse respectable de 300.000.000 mètres par seconde. Mais comment les reçoit-on ?

Les phénomènes réversibles.

CUR. — Il existe, dans la nature, un très grand nombre de phénomènes dits « réversibles ». La production d'un champ magnétique par un courant en est un. Si le courant crée un champ, inversement un champ ou, plus exactement, *des variations* d'un champ magnétique produisent un courant dans un conducteur se trouvant dans le champ.

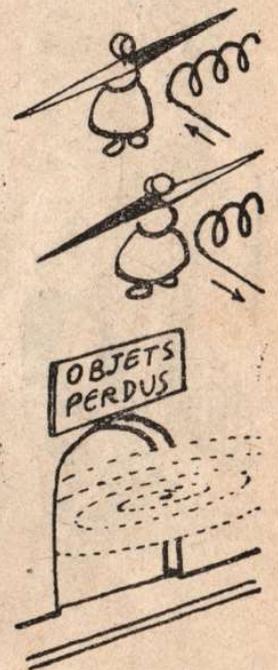
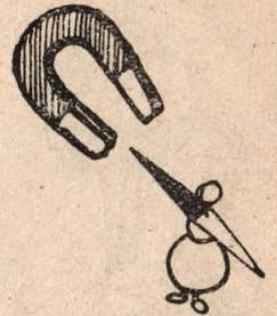
IG. — Donc dans n'importe quel conducteur disposé sur le parcours des ondes électromagnétiques celles-ci engendreront un courant ?

CUR. — Evidemment ! Ainsi dans cette tige métallique qui supporte mon blaireau et mon savon à barbe, il existe en ce moment une quantité de courants de haute fréquence produits par tous les émetteurs qui sont à présent en fonctionnement.

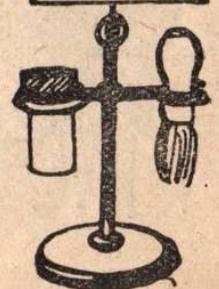
IG. — Et, en vous rasant, vous n'avez pas peur d'être électrocuté ?

CUR. — Non, car ces courants sont extrêmement faibles, vu la grande distance qui nous sépare de différents émetteurs dont les ondes arrivent ici avec un champ très affaibli.

IG. — Excusez-moi, mais tout cela me paraît bougrement compliqué.



ATTENTION!
HAUTE
FRÉQUENCE



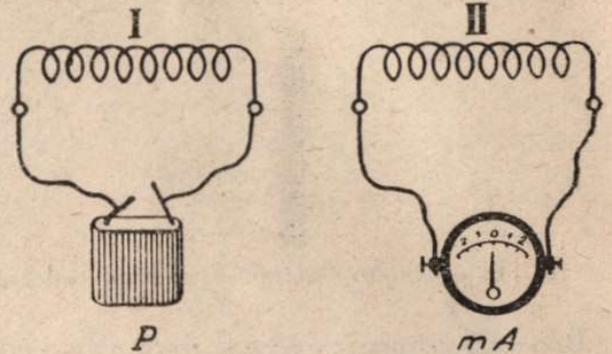
CUR. — Pour vous démontrer combien c'est simple, je vais réaliser devant vous une expérience classique. Tenez, voici deux bobines que je viens d'acheter pour le poste de marraine, voici également la pile de ma lampe de poche et ici un milliampèremètre.

IG. — Qu'est-ce?

CUR. — Vous auriez pu le deviner. C'est un instrument qui sert à mesurer l'intensité



FIG. 7. — Les bobinages I et II sont couplés par induction : P, pile ; mA, milliampèremètre



du courant. Je connecte la pile à la première bobine et le milliampèremètre à la deuxième (fig. 7) et je couple les deux bobines.

IG. — Mais non ! Elles ne sont pas couplées puisqu'il y a une distance entre elles.

CUR. — Vous vous trompez, ami. Le couplage en question est un couplage électromagnétique : la deuxième bobine se trouve dans le champ de la première. Et d'ailleurs vous verrez cela tout de suite.

Déductions sur l'induction.

IG. — Je persiste à croire que vous êtes dans l'erreur, car si la deuxième bobine est dans le champ de la première, il devrait y avoir également un courant, d'après ce que vous avez dit tout à l'heure au sujet de la production d'un courant par un champ. Or l'aiguille de votre milliampèremètre demeure à zéro.

CUR. — Ne vous ai-je pas dit que le courant est produit uniquement par des variations d'un champ. Or, ici la première bobine est parcourue par un courant continu, le champ est donc constant, et il n'y a aucune raison pour qu'un courant apparaisse dans la deuxième bobine.

Et, maintenant, attention ! Je déconnecte la pile de la première bobine...

IG. — Formidable ! L'aiguille du milliampèremètre a bougé à droite en accusant un courant de courte durée.

CUR. — Ce courant est dû à ce que le champ vient de disparaître, ce qui est une variation. Et maintenant je connecte à nouveau la pile.

IG. — L'aiguille a bougé, mais à gauche.

CUR. — C'est parce qu'un champ s'est créé, variation d'un sens contraire à la précédente. Si, au lieu de connecter et de déconnecter une pile, je faisais parcourir la première bobine par un courant alternatif...

IG. — ...le champ varierait constamment et, dans la deuxième bobine, il apparaîtrait également un courant alternatif.

CUR. — Sachez que le courant qui produit le champ s'appelle courant *inducteur* ; celui qui est produit par le champ est le courant *induit*. Et le phénomène de production à distance d'un courant par un autre porte le nom d'*induction* électromagnétique.

IG. — En somme, la première bobine, c'est vous, la seconde, c'est moi. Le courant de vos pensées, par l'intermédiaire du champ sonore de vos paroles, induit un courant de pensées de même forme en moi. Et nous faisons de l'induction ?

CUR. — Vos déductions sont tout à fait exactes !...



TROISIÈME CAUSERIE

Poursuivant l'étude des phénomènes d'induction, Curiosus amènera Ignotus à redécouvrir la self-induction dont l'inductance s'oppose au passage des courants alternatifs. Ensuite, à l'aide d'analogies très explicites, les deux amis examineront les propriétés des condensateurs. En analysant les différents facteurs dont en dépend la capacité, Ignotus fera valoir la sienne propre de compréhension...

Induction = Contradiction.

IG. — J'ai beaucoup réfléchi au sujet de ce que vous m'avez expliqué sur l'induction. J'ai bien compris qu'une variation de courant dans une bobine produit un courant induit dans l'autre. Mais quel est le sens et l'intensité du courant induit ?

CUR. — Le courant induit, il faut vous le dire, a un très mauvais caractère : il est toujours en contradiction avec le courant inducteur. Lorsque ce dernier va en augmentant, le courant induit ira dans le sens contraire.

IG. — Est-ce à dire que lorsque dans la bobine inductrice le courant va dans le sens des aiguilles d'une montre, le courant induit ira dans le sens opposé ?

CUR. — Précisément ! Par contre, lorsque le courant inducteur diminue d'intensité, le courant induit va dans le même sens, comme s'il voulait s'opposer à la diminution du premier.

IG. — C'est comme le chien de mon oncle Jules...

CUR. — Encore une bourde, sans doute?...

IG. — Pas du tout ! Le chien en question est obstiné comme un âne... Le matin, lorsque mon oncle s'adonne à la culture physique, il fait au trot le tour de son jardin en tenant son chien en laisse. Au début, quand il accélère le mouvement, le chien tire

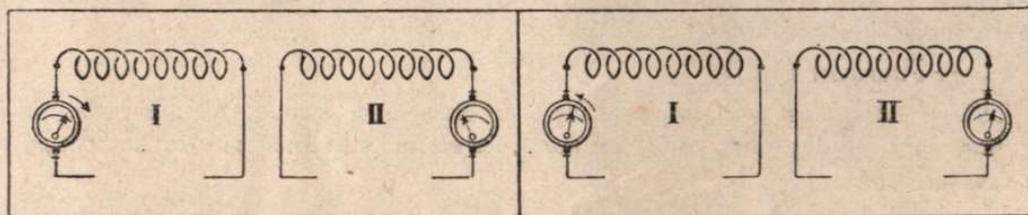


FIG. 8 a. — Lorsque le courant dans la bobine I augmente, il induit dans la bobine II un courant de sens contraire.

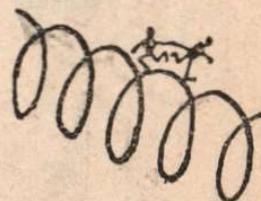
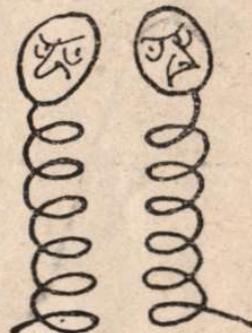
FIG. 8 b. — Lorsque le courant dans la bobine I diminue, il induit dans la bobine II un courant de même sens.

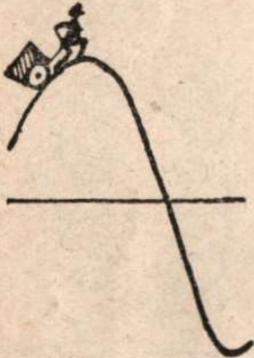
en arrière et le freine violemment. Et ensuite, lorsque, à bout de souffle, oncle Jules veut ralentir, l'animal l'entraîne à faire des performances de vitesse...

CUR. — J'ai vaguement l'impression que cette histoire est inventée pour les besoins de la cause. Elle prouve toutefois que vous avez compris le phénomène de l'induction. Vous auriez pu même ajouter que plus votre oncle accélère ou ralentit, plus son chien réagit, car l'intensité du courant induit est proportionnelle à la vitesse de variation du courant inducteur et, aussi, à son intensité même.

IG. — C'est peut-être très bête, ce que je dis là, mais il me semble que, si une bobine induit un courant dans les spires d'une autre bobine plus ou moins éloignée, elle doit, à plus forte raison, induire un courant dans ses propres spires.

CUR. — Mon cher Ignotus, vous venez de découvrir la *self-induction*. Tous mes compliments ! En effet, le courant induit apparaît également dans la bobine parcourue par le courant inducteur, où il coexiste avec ce dernier et s'oppose, avec son esprit de contradiction, à ses variations.





IG. — C'est tout à fait comme dans les romans « psychologiques » dans lesquels « une voix intérieure » oppose constamment ses arguments aux mouvements sentimentaux du héros.

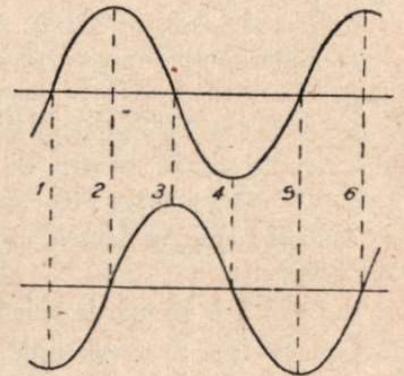
CUR. — Vous feriez mieux de lire un bon traité d'électricité. Vous verriez ainsi que la self-induction est comparable à l'inertie mécanique. De même que l'inertie s'oppose à la mise en mouvement d'un corps et tend à le maintenir dans cet état de mouvement une fois qu'il est lancé, la self-induction s'oppose à l'apparition d'un courant dans un bobinage (le courant croissant provoque un courant induit de sens inverse) et tend à maintenir le courant existant lorsqu'il veut disparaître (le courant qui diminue induit un courant de même sens).

IG. — Donc un courant alternatif qui change constamment en intensité a quelque peine à traverser une bobine ?

CUR. — Certes, car la self-induction résiste à ses variations. Cette résistance de la

FIG. 9. — *En haut*, le courant alternatif. *En bas*, le courant induit par le courant représenté en haut.

1. Le courant inducteur augmente très vite. Le courant induit est de sens contraire.
2. Le courant inducteur ne varie pas pendant un court instant. Le courant induit est nul.
3. Le courant inducteur diminue. Le courant induit va dans le même sens.
4. Le courant inducteur ne varie pas pendant un court instant. Le courant induit est nul.



self-induction porte le nom de *inductance*. Il ne faut pas la confondre avec la simple résistance « ohmique » du conducteur. L'inductance dépend de la self-induction de la bobine, c'est-à-dire de l'action inductive de chaque spire sur les autres et aussi de la fréquence du courant.

IG. — Pourquoi donc ?

CUR. — Mais c'est très simple ! Plus la fréquence est grande, plus les variations du courant sont rapides, plus, par conséquent, les courants induits sont forts et s'opposent à ces variations.

IG. — Ainsi pour les fréquences élevées l'inductance d'une bobine est plus grande que pour les fréquences basses ? C'est bon à savoir, car, je le vois, ça devient bougrement compliqué.

CUR. — Et pourtant je ne vous ai encore rien dit au sujet des condensateurs

Parlons un peu des condensateurs.

IG. — Je sais fort bien ce que c'est. J'en ai vu dans les postes de T. S. F. On dirait des presse-purée à lames rondes qui tournent en sortant des lames fixes...

CUR. — Oui. Ce sont les condensateurs variables. Il y en a d'autres, fixes, dont les lames (ou « armatures ») demeurent immobiles, en sorte que leur capacité est constante.

IG. — Capacité ? Sans doute, encore un terme à comprendre et à apprendre ?

CUR. — Voyez-vous, ami, le condensateur est une chose très simple. C'est un ensemble de deux conducteurs mutuellement isolés, auxquels on applique une certaine tension.

IG. — Je ne vois pas très bien en quoi deux conducteurs isolés l'un de l'autre méritent le nom de condensateur.

CUR. — Un condensateur est comparable à deux réservoirs séparés par une membrane

en caoutchouc élastique (fig. 10). Une pompe actionnée pendant un court instant crée entre les réservoirs 1 et 2 une différence de pression..

IG. — Je vois où vous voulez en venir. La pompe, c'est la pile. Les réservoirs représentent les deux armatures du condensateur et la différence de pression correspond à la différence de potentiel.

CUR. — Vous l'avez deviné. Seulement, comme toutes les analogies, la mienne ne va que jusqu'à un certain point. En effet, lorsqu'il s'agit de réservoirs remplis d'air, nous aurons dans 2 beaucoup de molécules réparties uniformément dans tous les points. En 1, nous en aurons beaucoup moins, et, là encore, leur répartition sera homogène.

IG. — Il me semble que les électrons, eux aussi, se répartiront de la même façon

CUR. — C'est ce qui vous trompe. Comme les atomes de l'armature 1 sont positifs (manque d'électrons !), ils appelleront, à travers la mince cloison qui les isole, les

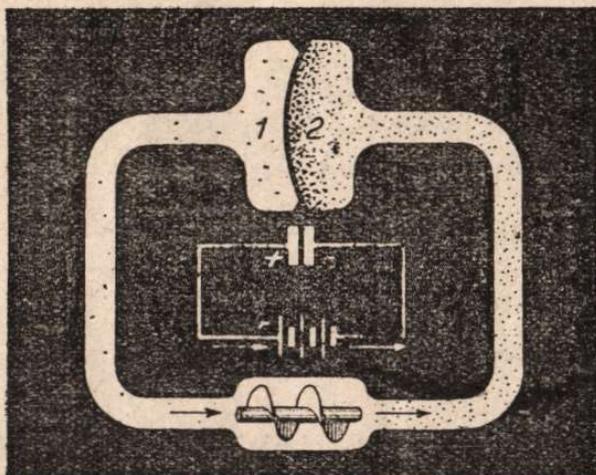
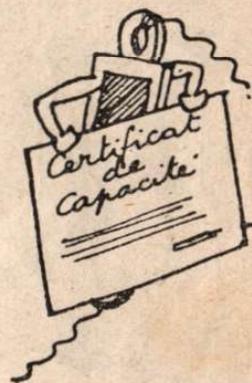


FIG. 10. — Deux réservoirs séparés par une membrane élastique ressemblent à un condensateur électrique. La pompe qui crée une différence de pression est analogue à une pile électrique qui crée une différence de potentiel

électrons de l'armature 2, en sorte que ceux-ci se condenseront dans la partie de l'armature 2 faisant face à 1. Cette compression des électrons permet d'emmagasiner dans les armatures du condensateur des charges électriques beaucoup plus importantes que celles que l'on aurait eues sans cet appel des électrons par des atomes positifs.

IG. — Donc, si j'ai bien compris, la propriété essentielle d'un condensateur est de permettre une accumulation de charges électriques sur ses armatures

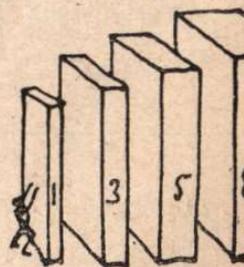
CUR. — Oui. Cette propriété s'appelle, d'ailleurs, *capacité* d'un condensateur. A votre avis, de quoi en dépend la valeur ?

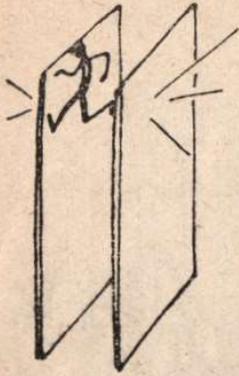
IG. — Je pense, tout d'abord, que la capacité dépend de l'épaisseur de la membrane. Plus elle est mince, plus elle peut s'incurver et, par conséquent, laisser de place aux molécules de gaz dans le réservoir 2.

CUR. — C'est juste. Pour le condensateur, nous dirons que sa capacité est inversement proportionnelle à la distance entre les armatures. Mais, en revenant à nos réservoirs, ne pensez-vous pas que la capacité dépend également de la nature de la membrane élastique.

IG. — Bien entendu. Faite en caoutchouc, elle est plus souple que, par exemple, faite en fer-blanc.

CUR. — Par conséquent, la capacité du condensateur dépend également de la nature du diélectrique qui sépare les deux armatures. Le coefficient numérique qui caractérise l'aptitude plus ou moins grande d'un diélectrique à augmenter la capacité s'appelle sa *constante diélectrique*. Pour l'air, on a adopté le nombre 1. Dans ces conditions, la constante diélectrique du mica, par exemple, est de 8. Ainsi, si, dans un condensateur à air de 10 microfarads vous placez entre les armatures des feuilles de mica, la capacité augmentera jusqu'à 80 microfarads.





IG. — C'est en microfarads que l'on mesure les capacités ?

CUR. — L'unité de mesure de capacité est le farad (F). Mais, en pratique, c'est une capacité trop grande. On se sert donc de ses sous-multiples : microfarad (μF) qui est le millionième de farad et milli-microfarad ($m\mu F$) qui est le millième de microfarad (1).

IG. — C'est bougrement compliqué, ce système. Mais, pour en revenir aux facteurs dont dépend la capacité, il me semble qu'elle dépend encore de la surface de la membrane, car plus elle est grande, plus grande est la sphère de l'action des atomes positifs sur les électrons (2).

CUR. — En effet, la capacité est proportionnelle à la surface des armatures.

IG. — En somme, pour augmenter la capacité d'un condensateur on peut, soit augmenter la surface de ses armatures, soit les rapprocher l'une de l'autre. Ainsi, même avec des armatures très petites on peut, je pense, obtenir une grosse capacité, en les rapprochant très près l'une de l'autre

CUR. — Très dangereux, ça !... Si vous diminuez trop l'épaisseur de la membrane, il arrive un moment où, sous l'effet de la pression, elle crève. De même, entre les armatures trop rapprochées, la tension fera éclater une étincelle. Les électrons, trop violemment appelés, franchiront le diélectrique !

IG. — En somme, un mauvais condensateur fera un bon briquet électrique?...



(1) Dans les pays anglo-saxons on se sert également, pour la mesure de la capacité, d'une autre unité appelée centimètre (cm) qui n'a cependant rien de commun avec l'unité de longueur du même nom. Un millimicrofarad = 900 centimètres.

(2) La capacité d'un condensateur

$$C = 0,0885 K \frac{S}{d} \text{ microfarads}$$

ou K est la constante diélectrique, S la surface d'une armature en cm^2 ; d l'écartement entre les armatures en cm.

QUELQUES SYMBOLES UTILISÉS DANS LES SCHÉMAS DE RADIOÉLECTRICITÉ

<p>PILE OU ACCUMULATEUR</p>	<p>SOURCE DE COURANT CONTINU</p>	<p>SOURCE DE COURANT ALTERNATIF</p>	<p>APPAREIL DE MESURES</p>	<p>POTENTIOMÈTRE</p>
-------------------------------------	--	---	------------------------------------	----------------------

<p>DETECTEUR REDRESSEUR</p>	<p>FILAMENT</p>	<p>CATHODE</p>	<p>GRILLE</p>	<p>ANODE OU PLAQUE</p>	<p>GRILLE- ÉCRAN</p>	<p>DIODE</p>
---------------------------------	-----------------	----------------	---------------	--------------------------------	--------------------------	--------------

Voir la suite page 28.

QUATRIÈME CAUSERIE

Cette causerie commence par une constatation qui ne manque pas de surprendre Ignotus ; le courant alternatif traverse les condensateurs ! Il est vrai que ceux-là lui opposent une certaine capacitance... Ignotus commence à s'embrouiller dans les différentes impédances. Mais le lecteur n'imitera pas son fâcheux exemple et suivra aisément les raisonnements de Curiosus.

Le courant y passe !...

IG. — La dernière fois, Curiosus, vous m'avez parlé des condensateurs. Si j'ai bien compris, lorsqu'on connecte les deux armatures d'un condensateur à une pile électrique, des charges électriques s'accumulent sur ces armatures.

CUR. — C'est exact. On dit que le condensateur est chargé.

IG. — Donc, au moment où nous connectons le condensateur à une source de courant, celle-ci débite un certain courant de charge. Mais lorsque le condensateur est chargé, le courant continue-t-il à passer ?

CUR. — Non, tout s'arrête. Toutefois, en substituant alors à la pile une résistance, vous produirez une *décharge* du condensateur.

JG. — Comment cela ?

CUR. — Très simplement, en permettant aux électrons en excès sur l'armature négative de compléter les atomes déficients en électrons de l'armature positive. Le courant de courte durée qui ira, à ce moment, à travers la résistance, est appelé courant de décharge.

IG. — Donc le condensateur est une sorte de ressort que l'on peut tendre et qui, ensuite, si on le lâche, se détend.

CUR. — Je vous rappelle que, la dernière fois, nous avons utilisé un exemple semblable, en comparant le condensateur à une membrane élastique qui sépare deux réservoirs. La décharge du condensateur à travers une résistance est alors comparable à la détente de la membrane qui chasse l'eau à travers un tuyau étroit (fig. 11).

IG. — Il est peut-être très amusant de charger et décharger un condensateur, mais,

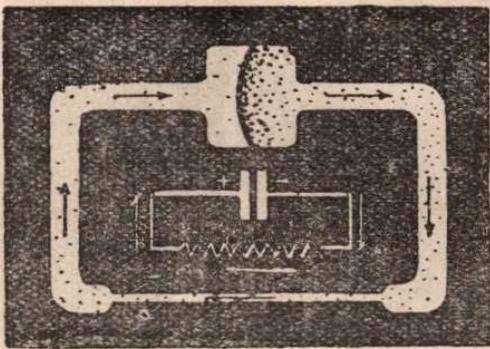
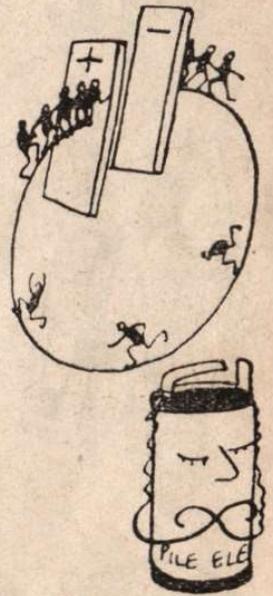


FIG. 11. — Décharge d'un condensateur à travers une résistance ohmique.

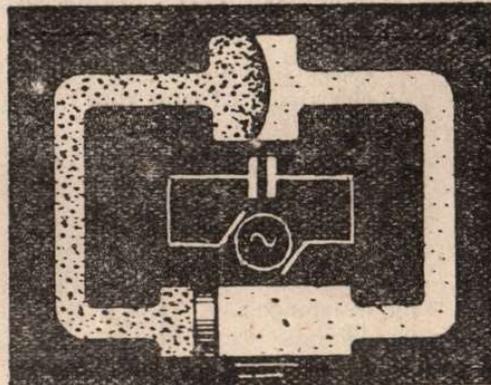


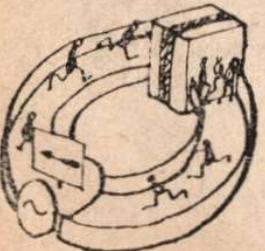
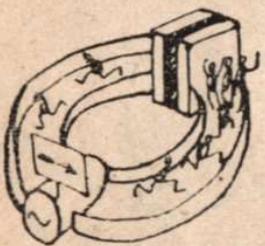
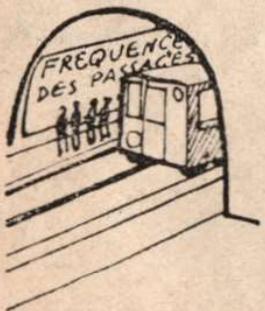
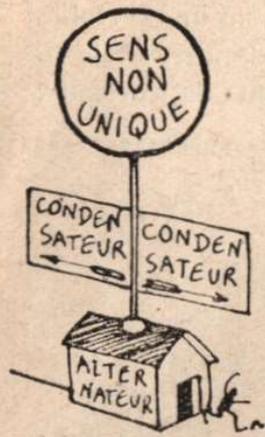
FIG. 12. — Passage du courant alternatif à travers le condensateur.

à vrai dire, je ne vois pas clairement l'utilité de ce travail. Une fois la décharge accomplie, c'est fini, n'est-ce pas ?...

CUR. — Oui, si vous avez une source de courant continu. Non, si vous utilisez un alternateur, c'est-à-dire une machine qui produit le courant alternatif. Une telle machine peut, dans notre exemple, être représentée par un piston animé d'un mouvement de va-et-vient (fig. 12).

IG. — Je comprends. En allant vers l'extrémité droite ou gauche du cylindre, le





piston charge le condensateur, c'est-à-dire incurve la membrane ; en revenant au point milieu, il facilite la décharge du condensateur.

CUR. — Vous voyez donc que dans notre « circuit » il y a un mouvement alternatif ininterrompu des électrons. Il y circule un véritable courant alternatif.

IG. — Et cela malgré la présence du condensateur qui, pourtant, coupe en quelque sorte le circuit!

Les différentes « ~ances »...

CUR. — Les électriciens vont même jusqu'à dire que le courant alternatif « traverse » le condensateur. Cela ne veut point dire que les électrons pénètrent à travers le diélectrique (la membrane), mais uniquement que la présence d'un condensateur n'empêche pas le mouvement de va-et-vient des électrons, c'est-à-dire le passage du courant alternatif dans un circuit.

IG. — Il me faudra quelque temps pour m'habituer à cette notion. Car, tout de même, à mon avis, aussi élastique qu'elle soit, une membrane est, il me semble, un obstacle.

CUR. — Bien entendu. Et c'est pour cela que l'on a même baptisé de *capacitance* la résistance qu'elle oppose au passage du courant alternatif.

IG. — Allons bon! Encore un terme en « -ance »! C'est d'une « complicité » terrible!...

CUR. — Au contraire, Ignotus, tout cela est au fond très simple. Vous devinerez aisément vous-même de quels facteurs dépend la capacitance.

IG. — Je suppose, tout d'abord, qu'elle dépend de la valeur de la capacité. Plus la membrane est élastique plus elle s'incurve et, par conséquent, laisse entrer d'électrons d'un côté et sortir de l'autre.

CUR. — Donc, plus la capacité est grande, plus le courant alternatif circule aisément, et nous disons que la capacitance est alors plus petite.

IG. — Juste le contraire de ce qui se produit pour l'inductance qui, elle, croît avec la self-induction des bobines. Mais, au fait, est-ce que la capacitance, de même que l'inductance, ne dépend pas également de la fréquence du courant?

CUR. — Certes, plus la fréquence est grande, plus est grand le nombre de charges et de décharges du condensateur par seconde et, par conséquent, plus est grand le nombre total d'électrons qui traverse en une seconde un point quelconque du circuit.

IG. — Donc l'intensité du courant croît avec la fréquence, ce qui prouve que la capacitance diminue. Mais, cher Curiosus, avez-vous encore beaucoup d'autres résistances en réserve? Je sens que la mienne diminue fortement...

CUR. — Rassurez-vous, maintenant, vous connaissez les trois sortes de résistances utilisées en électricité. Et pour vous résumer leurs propriétés, laissez-moi vous tracer ce petit tableau.

Résistance ohmique pure.	Indépendante de la fréquence.	
Inductance ou résistance de la self-induction.	Proportionnelle à la self-induction.	Proportionnelle à la fréquence.
Capacitance ou résistance de la capacité.	Inversement proportionnelle à la capacité.	Inversement proportionnelle à la fréquence.

Tout cela, ce sont des *impédances* simples, car c'est le nom général de toutes les résistances.

IG. — Et l'on peut les combiner entre elles, ces impédances?

CUR. — Bien entendu! D'ailleurs, à vrai dire, il est assez rare que nous ayons à faire à une impédance pure. C'est ainsi, par exemple, qu'une bobine, en plus de sa self-induction, possède également une certaine résistance ohmique qui dépend de la longueur, du diamètre et de la nature chimique du fil. Elle a aussi une capacité « répartie » due au

voisinage de ses spires qui jouent le rôle d'armatures de condensateur. Mais on peut aussi disposer volontairement, sur le chemin d'un courant alternatif, plusieurs impédances de natures diverses.

La vie de famille des impédances...

IG. — Dans ce cas leurs valeurs s'additionnent ?

CUR. — Hélas ! Les choses ne sont pas aussi simples. Il existe tout d'abord deux manières distinctes de disposer plusieurs impédances sur le chemin d'un courant. La première (fig. 13 a) consiste à les disposer *en série* de manière qu'elles soient toutes

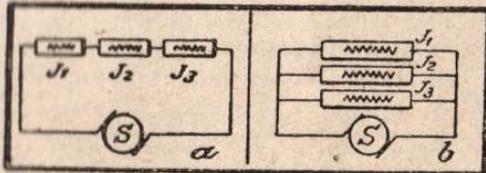
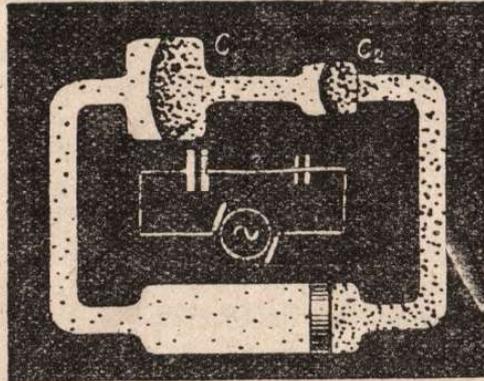


FIG. 13 (en haut). — Connexion en série (a) et en parallèle (b).

FIG. 14 (ci-contre). — Connexion des condensateurs en série.



parcourues par le même courant. La deuxième manière prévoit la disposition des impédances *en parallèle* (fig. 13 b) ou *en dérivation* ; le courant se divise alors en autant de courants qu'il y a d'impédances en dérivation ; dans chaque branche, il sera d'autant plus intense que sa résistance sera plus réduite.

IG. — C'est comme lorsque le courant d'un fleuve est partagé en deux par une île : dans la branche où il y a plus d'espace, il passe plus d'eau.

CUR. — Vous comprenez donc que deux résistances ohmiques mises en série...

IG. — ...opposent une résistance égale à la somme de leurs résistances.

CUR. — C'est juste. Et lorsqu'elles sont en parallèle ?

IG. — Eh bien ! Je pense que les électrons passeront plus facilement. C'est comme s'il y avait un conducteur de section égale à la somme de leurs sections. Donc la résistance diminue. Je crois qu'il en sera de même pour les inductances et les capacités.

CUR. — Vous ne vous trompez pas.

IG. — Par conséquent, en série les résistances, self-inductions et capacités s'ajoutent et, en parallèle, la valeur totale est, au contraire, plus petite que chacune de leurs valeurs prise à part.

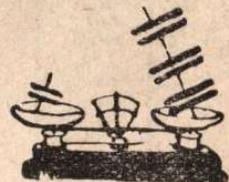
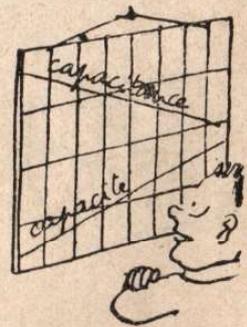
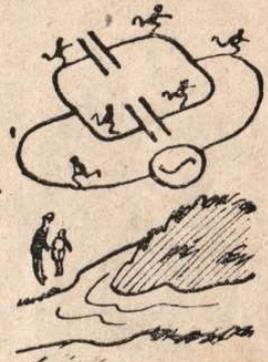
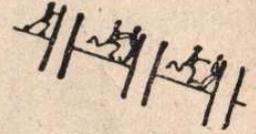
CUR. — Vous allez un peu vite en besogne en attribuant aux résistances, bobines et condensateurs les mêmes propriétés qu'à leurs impédances. Cela est juste lorsque vous parlez des résistances ohmiques et des self-inductions pour lesquelles l'inductance est proportionnelle à la self-induction. Mais pour les condensateurs il n'en va plus de même, car la capacité est inversement proportionnelle à la capacitance. Donc, si en série les capacités s'ajoutent, par contre, les capacitances s'affaiblissent mutuellement.

IG. — Ça, par exemple !..

CUR. — Je vois qu'il est tout à fait vain de faire appel à votre intuition mathématique... Voyez donc (fig. 14) ces deux condensateurs C1 et C2 en série. Remarquez que C2 est de capacité inférieure à C1, car sa membrane est plus petite. La quantité de liquide que le piston peut déplacer est limitée surtout par C2. Quant à C1, qui aurait pu emmagasiner beaucoup plus, il ne pourra accumuler que ce que C1 laissera passer, et même un peu moins, à cause de la tension de sa propre membrane. Donc, en série, la capacité du système C1, C2 est plus petite même que la capacité C2.

IG. — Je pense que, par contre, mises en parallèle, les capacités s'ajoutent, car c'est équivalent à l'augmentation de la surface de la membrane.

CUR. — Evidemment...



CINQUIÈME CAUSERIE

Curiosus rétablit quelque clarté dans l'esprit d'Ignotus en lui présentant un tableau qui résume les propriétés des résistances, self-inductions et capacités et de leurs impédances associées en série ou en parallèle. Ensuite, les deux amis abordent le problème de la résonance, phénomène fondamental de la radio. Curiosus insiste sur certains points qui faciliteront, par la suite, l'étude des circuits radioélectriques.

Match : Self-induction contre Capacité.

IG. — Je suis très heureux de vous revoir, Curiosus. Notre dernière causerie a laissé dans ma tête un tel brouillard, que j'ose moins que jamais aborder la construction du poste de votre marraine...

CUR. — C'était à prévoir. Aussi, ai-je préparé à votre intention un petit tableau (fig. 15) qui résume les propriétés des résistances, condensateurs et self-inductions mises en série ou en parallèle, ainsi que celles de leurs impédances.

IG. — Je vous remercie. Cela m'aidera sans doute à mettre un peu d'ordre dans mes idées, car ces insomnies commencent à me donner de sérieuses inquiétudes.

CUR. — Mon Dieu! Serait-ce la T. S. F. qui...

IG. — Parfaitement! J'ai passé toute une nuit à réfléchir à ce qui peut résulter de la connexion en série d'un condensateur et d'une bobine. Et je n'ai pu rien trouver hélas!

CUR. — Cela n'a rien d'étonnant, car je ne vous ai pas encore dévoilé une chose d'importance primordiale. C'est que, si la self-induction et la capacité opposent toutes les deux une résistance au passage du courant alternatif, ces deux résistances agissent en quelque sorte dans des sens différents. Alors que la self-induction, avec son inertie,

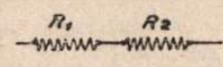
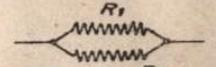
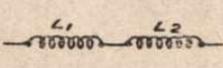
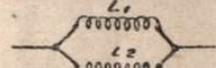
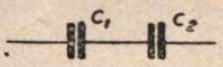
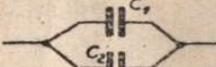
SÉRIE.	PARALLÈLE
 $R = R_1 + R_2$	 $R = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$
 $L = L_1 + L_2$	 $L = \frac{L_1 \times L_2}{L_1 + L_2}$
 $C = \frac{C_1 \times C_2}{C_1 + C_2}$	 $C = C_1 + C_2$
IMPEĐANCES	
$J = J_1 + J_2$	$J = \frac{J_1 \times J_2}{J_1 + J_2}$

FIG. 15. — Tableau résumant les propriétés des résistances, self-inductions et capacités, et de leurs impédances en série et en parallèle.

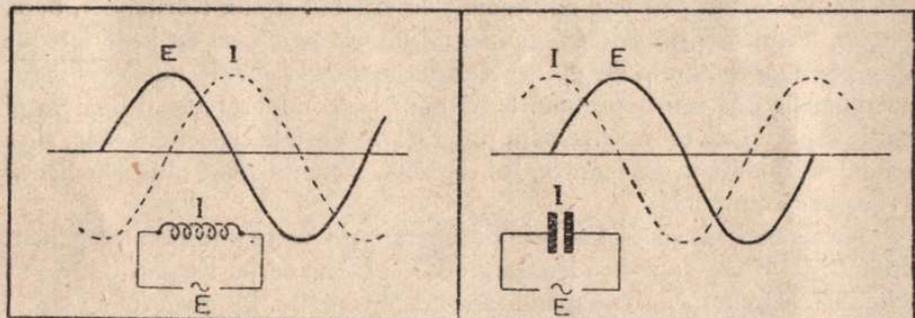
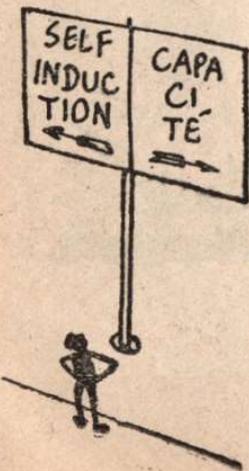
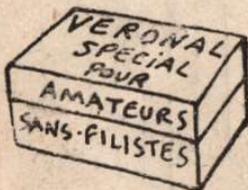


FIG. 16. — Déphasage du courant I par rapport à la tension E produit par une self-induction.

FIG. 17. — Déphasage produit par une capacité. Le courant I est en avance sur la tension E.

retarde l'apparition du courant lorsque la tension est appliquée (on dit que le courant est *déphasé en retard* sur la tension), la capacité possède une propriété opposée : le courant est le plus fort au moment où le condensateur est déchargé et, par conséquent,



la tension est nulle ; et, au fur et à mesure que le condensateur se charge et que la tension s'accroît, le courant diminue.

IG. — C'est vrai, pardi ! Quand la membrane est gonflée tout s'arrête, et c'est au moment où elle est dégonflée qu'il circule le plus d'électrons.

CUR. — Les électriciens emploient un langage plus distingué que le vôtre et disent que dans une capacité le courant est déphasé en avance sur la tension.

IG. — Soit ! Mais que se passe-t-il lorsqu'une tension alternative est appliquée à une capacité et à une self-induction mis en série?... Je voudrais tout de même pouvoir dormir cette nuit !

CUR. — Eh bien ! Dans ce cas tout dépend de la relation entre les résistances de la self-induction et de la capacité. Si l'inductance est plus grande que la capacité,

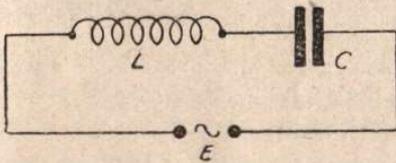


FIG. 18. — Self-induction L et capacité C en série. Pour la fréquence de résonance, l'impédance et le déphasage de cet ensemble sont nuls.

c'est elle qui prévaudra, et *vice versa*, car la capacitance doit être déduite de l'inductance puisqu'elle agit d'une façon diamétralement opposée.

IG. — Bon. S'il en est ainsi, je vous poserai une de ces « colles »... Supposez que j'ai un condensateur et une bobine en série et que je leur applique une tension de fréquence de plus en plus grande. Que se passera-t-il ?

CUR. — Mais vous le savez fort bien.

IG. — En effet. Avec l'augmentation de la fréquence, l'inductance augmentera et la capacitance diminuera. Il arrivera donc forcément un moment où, pour une certaine fréquence, l'inductance et la capacitance deviendront égales. Et puisque l'une doit être déduite de l'autre, notre circuit aura une impédance nulle?!!

CUR. — Pas mal, pas mal du tout ce raisonnement. Vous oubliez toutefois que la simple résistance ohmique qui, elle, ne dépend pas de la fréquence, restera quand même dans le circuit ; mais il est vrai que, pour une certaine fréquence, l'inductance et la capacitance s'annuleront et que, à ce moment, il n'y aura plus de déphasage entre la tension et le courant.

La goutte qui brise le rail.

IG. — Donc à ce moment la résistance du circuit sera au minimum et l'intensité du courant, par conséquent, atteindra le maximum ?

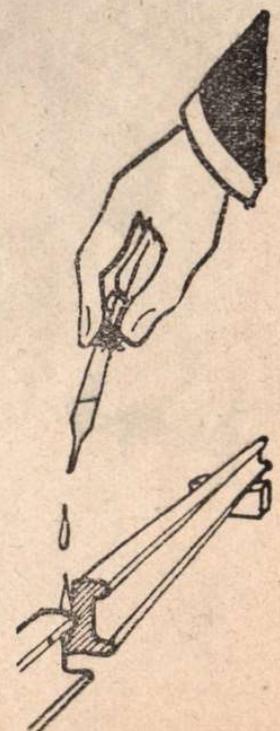
CUR. — Bien entendu. Et nous dirons que notre courant est en *résonance*.

IG. — N'est-ce pas l'histoire des gouttes d'eau qui brisent l'acier ?

CUR. — Qu'est-ce encore que cette invention ?

IG. — J'ai lu quelque part que l'on peut briser un rail en acier en le faisant reposer sur ses deux extrémités et en laissant tomber des gouttes d'eau sur son point milieu. Pour une certaine cadence de chute des gouttes, le rail entre en vibration qui devient tellement violente qu'il se brise.

CUR. — En effet, c'est un cas de résonance mécanique. De même qu'un circuit composé d'une self-induction et d'un condensateur possède une fréquence dite de résonance pour laquelle sa résistance devient très faible et où les oscillations du courant deviennent les plus fortes, — une barre métallique qui possède une certaine masse (équivalent de la self-induction) et une certaine élasticité (équivalent de la capacité) a, elle aussi, une fréquence de résonance pour laquelle ses vibrations deviennent les plus fortes. La première goutte produit une très faible vibration, mais la deuxième tombe *au bon moment* pour la renforcer et ainsi de suite.



IG. — Oui, je comprends maintenant. Si les gouttes tombaient un peu plus ou un peu moins vite, elles n'aideraient nullement la vibration de la barre et, peut-être, même l'empêcheraient. Mais, pour la fréquence de résonance, leurs effets s'additionnent et la barre finit par se briser lorsque les vibrations deviennent trop fortes.

Perpetuum mobile ?..

CUR. — Revenons maintenant, si vous le voulez bien, à l'électricité. Supposez que vous avez un condensateur chargé et que vous branchez à ses bornes une bobine de self-induction. Que se passera-t-il ?

IG. — Je le sais fort bien. Déjà lors de notre dernière causerie nous avons étudié la décharge du condensateur à travers une résistance. Or, une bobine c'est encore une résistance. Par conséquent, le condensateur se déchargera à travers la self-induction... et c'est tout !

CUR. — Le voilà le danger des syllogismes bâtis à la légère !!! Vous oubliez, mon cher, une chose : c'est que la self-induction est une résistance un peu spéciale, assimilable à l'inertie. Autant les électrons ont de peine à s'y mettre en mouvement, autant il leur est ensuite difficile de s'arrêter. Donc, au moment où le condensateur sera déchargé, le courant des électrons continuera à passer dans le même sens et...

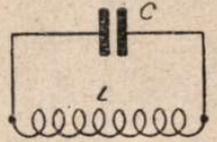


FIG. 19. — Circuit oscillant.

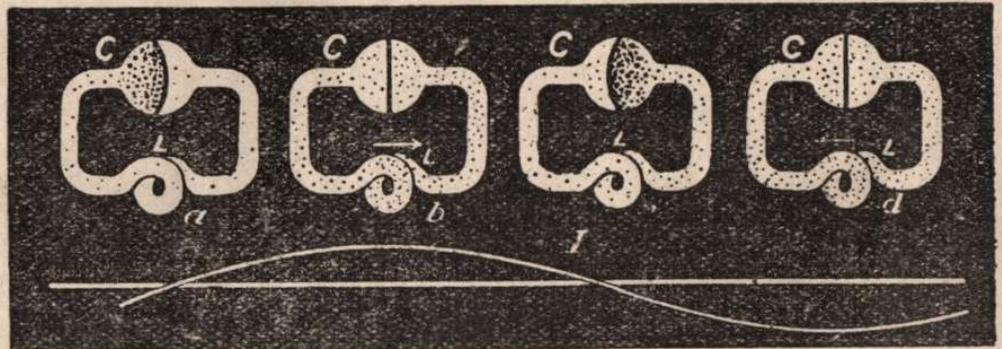


FIG. 20. — Mouvement des électrons dans le circuit oscillant durant une période. En a et c, le courant est nul, mais la tension sur le condensateur C est maximum. En b et d, au contraire, le courant est maximum mais la tension sur C est nulle.

IG. — ... le condensateur se rechargera, mais en changeant de polarité. Mais quand il sera ainsi rechargé ?..

CUR. — Il se déchargera de nouveau et ainsi de suite.

IG. — Donc ça ne s'arrêtera jamais ? Il suffit de charger le condensateur une seule fois pour que, ensuite, en se déchargeant dans une self-induction, il se recharge et décharge éternellement ?.. C'est donc le mouvement perpétuel ? !..

CUR. — Ne vous emballez pas ! Notre circuit a une résistance ohmique. Le courant subira donc un certain affaiblissement pour vaincre cette résistance à chacun de ses passages. Les oscillations deviendront donc de plus en plus faibles pour s'arrêter finalement.

IG. — C'est en somme l'histoire du pendule auquel il suffit de donner un choc initial pour qu'il commence à osciller, jusqu'à ce que toute l'énergie soit perdue à cause de la résistance de l'air.

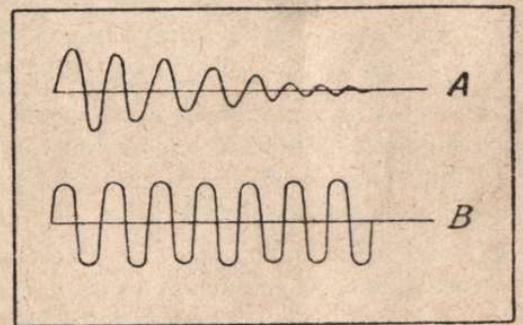
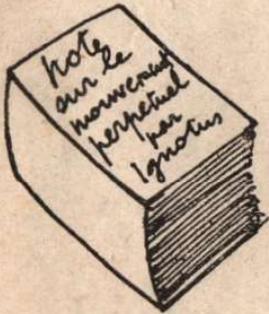


FIG. 21. — Oscillation amortie en A et oscillation entretenue en B.



CUR. — C'est l'exemple le plus classique que vous trouverez dans tous les traités de radioélectricité; vous devinerez peut-être aisément quelle sera la fréquence des oscillations qui s'établissent dans notre circuit?

IG. — Je pense que les électrons sont suffisamment intelligents et paresseux pour suivre la loi du moindre effort. Pour cela, ils n'ont qu'à osciller à la fréquence de la résonance du circuit, fréquence pour laquelle l'impédance a la valeur la plus faible.

CUR. — C'est ce qu'ils font précisément... Ainsi, dans un circuit composé d'une self-induction et d'une capacité appelé *circuit oscillant*, la décharge du condensateur se produit en *oscillations amorties* (courant alternatif d'amplitude décroissante) de *fréquence propre* ou *fréquence de résonance* du circuit.

Le grand circuit et le petit circuit.

IG. — Y a-t-il moyen de maintenir indéfiniment ces oscillations?

CUR. — Certes. On peut obtenir des oscillations d'amplitude constante (*oscillations entretenues*) en compensant, à chaque oscillation, la perte de l'énergie par l'apport d'une petite dose d'énergie venant de l'extérieur.

IG. — Je vois cela. C'est comme pour le pendule d'une horloge auquel le ressort communique une légère impulsion à chaque oscillation.

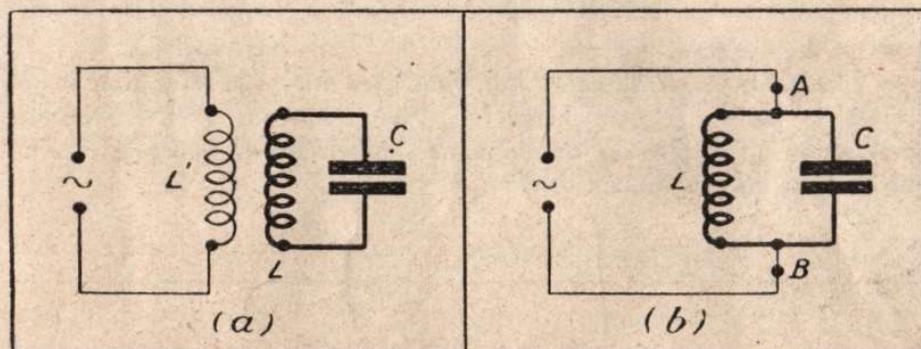


FIG. 22. — Le circuit oscillant LC reçoit l'énergie soit par induction (en a), soit directement (en b).

CUR. — Exactement. Il suffit pour cela de mettre le circuit oscillant en communication avec un autre circuit parcouru par un courant alternatif de la fréquence de résonance. On peut le faire soit en les couplant par induction (fig 22 a), soit en intercalant directement le circuit oscillant dans l'autre circuit (fig. 22 b).

IG. — Je pense que, dans les deux cas, seul un courant de la fréquence de résonance pourra produire un fort courant dans le circuit oscillant.

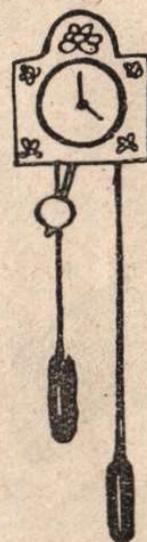
CUR. — Et vous ne vous trompez pas. Mais ce qui est très important, — et je vous prie d'y faire attention! — c'est que, dans le cas où le circuit oscillant est inséré dans un autre circuit (fig. 22 b), il constitue, pour ce deuxième circuit, une impédance très élevée pour le courant de résonance.

IG. — Ça, alors... je ne vous comprend plus! Ne m'avez-vous pas dit, il y a peu d'instant, que pour le courant de résonance l'impédance du circuit a la valeur la plus faible?!

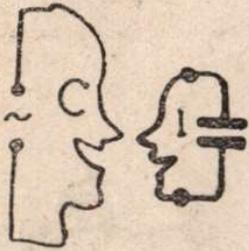
CUR. — Quelle salade!... Rendez-vous compte que nous avons ici deux circuits bien distincts. L'un, que je dessine en gros trait, est notre circuit oscillant. L'autre, c'est le circuit parcouru par le courant de la fréquence de résonance...

IG. — Mais d'où vient-il.

CUR. — Vous le verrez plus tard, de l'antenne ou d'un circuit de plaque. N'importe pour le moment... A l'intérieur même du circuit oscillant circule un courant pour lequel l'impédance du circuit est très faible. Voyez maintenant le circuit en trait fin.



Là les choses changent d'aspect. Ce circuit ne peut à chaque période transmettre au circuit oscillant que la faible quantité d'énergie que celui-ci aura perdue pendant ce court instant. Il ne peut donc y circuler qu'un courant très faible. Nous en déduisons que notre circuit oscillant joue, *par rapport au grand circuit*, le rôle d'une impédance élevée.



IG. — C'est bougrement compliqué ; cependant je crois avoir compris.

CUR. — Et retenez encore une conclusion très importante : puisque le circuit oscillant constitue une forte impédance pour le courant de résonance du grand circuit, ce courant produit, d'après la loi d'Ohm, une forte tension alternative aux bornes A et B du petit circuit.

IG. — Et qu'aurons-nous si, au lieu de la fréquence de résonance, nous avons un courant d'une fréquence différente ?

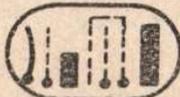
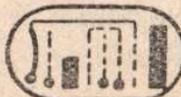
CUR. — Dans ce cas, les *oscillations forcées* qui prendront naissance dans le circuit oscillant seront beaucoup plus faibles. Par contre, il présentera une impédance beaucoup plus faible pour le courant du grand circuit de la figure b. C'est ainsi que si, dans le grand circuit, il passe simultanément plusieurs courants de fréquences différentes, seul le courant de la fréquence de résonance créera dans le circuit oscillant un courant fort et, à ses bornes, une tension considérable. Vous pourrez donc, parmi plusieurs courants, en sélectionner en quelque sorte un : celui de la fréquence de résonance.

IG. — Je voudrais vous demander de quoi dépend la fréquence de résonance, ainsi que...

CUR. — Je crois que, pour aujourd'hui, vous avez atteint la saturation et qu'il vaut mieux remettre cela pour la prochaine fois. Nous pourrions alors en terminer avec toutes ces notions préliminaires du domaine de l'électricité générale et aborder la technique de la radio proprement dite.



QUELQUES SYMBOLES UTILISÉS DANS LES SCHÉMAS DE RADIOÉLECTRICITÉ

 <p>VALVE BIPLAQUE</p>	 <p>TRIODE</p>	 <p>BIGRILLE</p>	 <p>TÉTRODE A GRILLE- ECRAN</p>
 <p>PENTHODE</p>	 <p>HEPTODE</p>	 <p>OCTODE</p>	

SIXIÈME CAUSERIE

Les cinq premières causeries ont permis à Ignotus (et à vous, ami lecteur) d'assimiler les notions indispensables de l'électricité générale. Et, maintenant, entraîné par Curiosus, Ignotus se lance dans l'étude de la radio. S'appuyant sur les enseignements de la précédente causerie, ils examinent ici le problème de la sélectivité et de l'accord des circuits oscillants.

Ignotus et les mathématiques.

CUR. — La dernière fois, en nous quittant, vous m'avez demandé de quels facteurs dépend la fréquence de résonance d'un circuit oscillant.

IG. — En effet, mais, depuis, j'ai réfléchi à la question et crois avoir trouvé la vérité. Tout d'abord, un circuit oscillant ne se compose que d'un condensateur et d'un bobinage. Donc, forcément, sa fréquence propre ne peut dépendre que de la capacité et de la self-induction.

CUR. — Il ne faut pas être Sherlock-Holmes pour en arriver là...

IG. — Certes. Mais je suis allé plus loin... En ce qui concerne la capacité, plus elle est grande, plus longue sera chaque charge et chaque décharge. De même, plus la self-induction est grande, plus elle s'oppose à toute variation du courant et, par conséquent, ralentit les oscillations. En résumé, la période des oscillations propres du circuit augmente avec l'augmentation de la capacité et de la self-induction.

CUR. — Et, par conséquent, la fréquence diminue en même temps. Je vous fais mes compliments, Ignotus ; votre raisonnement est juste. Seulement, il convient d'ajouter, que la fréquence (et la période) ne varient pas aussi vite que la capacité ou la self-induction. Si vous aimiez un peu les mathématiques, je vous aurais même dit que la période est proportionnelle à la racine carrée de la capacité et de la self-induction (1).

IG. — Oh, vous savez que les mathématiques ne m'aiment pas et que le sentiment est partagé. Je vous avouerai même, au risque de vous paraître ingrat, que je ne vois pas très bien l'utilité, pour la T. S. F., de toutes ces questions de circuits oscillants.

Les anneaux de fumée.

CUR. — Je vous avais déjà expliqué, au cours de notre deuxième causerie, que lorsque dans un fil vertical appelé antenne, circule un courant de haute fréquence...

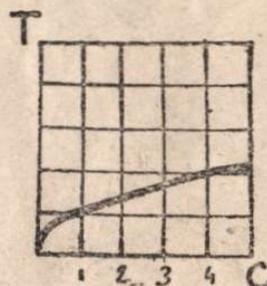
IG. — ...des ondes électromagnétiques s'en détachent et se propagent comme des anneaux de fumée qui s'élargissent à la vitesse folle de 300.000 kilomètres par seconde.

CUR. — C'est parfait, la mémoire ne baisse pas encore... Maintenant, que se passe-t-il lorsque, sur leur trajet, ces anneaux rencontrent un autre fil vertical ?

IG. — Je crois pouvoir appliquer ici le principe de la réversibilité des phénomènes et affirmer que les anneaux produiront, dans le fil rencontré, des courants de haute fréquence.

CUR. — Parfait ! Et, pour appeler les choses par leurs noms, nous dirons que les ondes produisent dans l'antenne de réception un courant analogue à celui qui circule dans l'antenne d'émission. Il sera, certes, beaucoup plus faible, car, à mesure de leur éloignement de l'émetteur, les ondes s'affaiblissent.

IG. — Comme les anneaux de fumée quand ils s'élargissent.



(1) En connaissant la self-induction L et la capacité C , on détermine aisément la période T d'après la formule de Thomson :

$$T = 2\pi \sqrt{L \times C}$$

où $\pi = 3,14...$ Mais Ignotus ne veut pas de formules.

SIXIÈME CAUSERIE

Les cinq premières causeries ont permis à Ignotus (et à vous, ami lecteur) d'assimiler les notions indispensables de l'électricité générale. Et, maintenant, entraîné par Curiosus, Ignotus se lance dans l'étude de la radio. S'appuyant sur les enseignements de la précédente causerie, ils examinent ici le problème de la sélectivité et de l'accord des circuits oscillants.

Ignotus et les mathématiques.

CUR. — La dernière fois, en nous quittant, vous m'avez demandé de quels facteurs dépend la fréquence de résonance d'un circuit oscillant.

IG. — En effet, mais, depuis, j'ai réfléchi à la question et crois avoir trouvé la vérité. Tout d'abord, un circuit oscillant ne se compose que d'un condensateur et d'un bobinage. Donc, forcément, sa fréquence propre ne peut dépendre que de la capacité et de la self-induction.

CUR. — Il ne faut pas être Sherlock-Holmes pour en arriver là...

IG. — Certes. Mais je suis allé plus loin... En ce qui concerne la capacité, plus elle est grande, plus longue sera chaque charge et chaque décharge. De même, plus la self-induction est grande, plus elle s'oppose à toute variation du courant et, par conséquent, ralentit les oscillations. En résumé, la période des oscillations propres du circuit augmente avec l'augmentation de la capacité et de la self-induction.

CUR. — Et, par conséquent, la fréquence diminue en même temps. Je vous fais mes compliments, Ignotus ; votre raisonnement est juste. Seulement, il convient d'ajouter, que la fréquence (et la période) ne varient pas aussi vite que la capacité ou la self-induction. Si vous aimiez un peu les mathématiques, je vous aurais même dit que la période est proportionnelle à la racine carrée de la capacité et de la self-induction (!).

IG. — Oh, vous savez que les mathématiques ne m'aiment pas et que le sentiment est partagé. Je vous avouerai même, au risque de vous paraître ingrat, que je ne vois pas très bien l'utilité, pour la T. S. F., de toutes ces questions de circuits oscillants.

Les anneaux de fumée.

CUR. — Je vous avais déjà expliqué, au cours de notre deuxième causerie, que lorsque dans un fil vertical appelé antenne, circule un courant de haute fréquence...

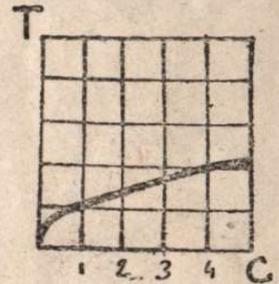
IG. — ...des ondes électromagnétiques s'en détachent et se propagent comme des anneaux de fumée qui s'élargissent à la vitesse folle de 300.000 kilomètres par seconde.

CUR. — C'est parfait, la mémoire ne baisse pas encore... Maintenant, que se passe-t-il lorsque, sur leur trajet, ces anneaux rencontrent un autre fil vertical ?

IG. — Je crois pouvoir appliquer ici le principe de la réversibilité des phénomènes et affirmer que les anneaux produiront, dans le fil rencontré, des courants de haute fréquence.

CUR. — Parfait ! Et, pour appeler les choses par leurs noms, nous dirons que les ondes produisent dans l'antenne de réception un courant analogue à celui qui circule dans l'antenne d'émission. Il sera, certes, beaucoup plus faible, car, à mesure de leur éloignement de l'émetteur, les ondes s'affaiblissent.

IG. — Comme les anneaux de fumée quand ils s'élargissent.

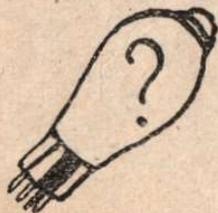
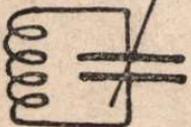


(!) En connaissant la self-induction L et la capacité C , on détermine aisément la période T d'après la formule de Thomson :

$$T = 2 \pi \sqrt{L \times C}$$

où $\pi = 3,14...$ Mais Ignotus ne veut pas de formules.

Ignotus craint l'électrocution.



CUR. — Maintenant pensez donc à une chose grave. Il y a, à chaque instant, de par le monde, plusieurs dizaines d'émetteurs de T. S. F. qui sont en fonctionnement

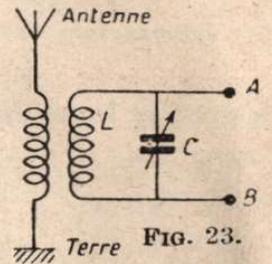
IG. — Vous ne voulez tout de même pas prétendre qu'ils produisent tous des courants dans n'importe quel bout de fil vertical?!

CUR. — Mais si ! Soyez persuadé que vous-même, qui êtes pourtant un conducteur bien imparfait, êtes parcouru en ce moment par des dizaines de courants de haute fréquence.

IG. — C'est très ennuyeux ça ! Vous auriez mieux fait de ne pas me le dire !... Pourtant je ne ressens rien.

CUR. — Naturellement, car ces courants sont très faibles. En outre, alors que les courants continus ou alternatifs, mais de basse fréquence, se propagent à travers toute la section du conducteur, les courants de haute fréquence ne se propagent que sur la surface du conducteur. On appelle cela *effet pelliculaire*.

IG. — Ça me rassure un peu... mais il y a un autre point qui me paraît inquiétant. Puisque l'antenne de réception reçoit les courants de toutes les stations de T. S. F. en fonctionnement, nous entendrons un mélange affreux de musique classique et légère, de conférences, nouvelles de presse, recettes culinaires, etc. Je ne vois pas du tout ce que peut donner la réception simultanée de Berlin, Moscou, Rome et Vatican...



La sélectivité.

CUR. — Vous savez fort bien qu'il n'en est pas ainsi. Les récepteurs de T. S. F. sont *sélectifs*, c'est-à-dire ont le pouvoir de choisir, parmi la multitude des courants qui circulent dans l'antenne, celui qui correspond à l'émetteur désiré.

IG. — De quelle manière?

CUR. — A l'aide d'un ou plusieurs circuits oscillants. Par exemple, l'antenne sera couplée par induction (fig. 23) avec un circuit oscillant. Nous retombons exactement dans le cas que nous avons examiné à la fin de notre dernière causerie. De tous les courants circulant dans l'antenne, seul celui qui aura la fréquence de résonance du circuit oscillant L-C y induira des courants qui créeront une certaine tension alternative entre les points A et B

IG. — Donc les différents postes d'émission, si j'ai bien compris, doivent se distinguer par leurs fréquences différentes les unes des autres.

CUR. — En effet. La fréquence est, pour l'émetteur, la même chose que le numéro d'appel pour le téléphone.

IG. — Mais puisque le circuit oscillant ne peut avoir qu'une seule fréquence de résonance, comment pouvons-nous, à volonté, entendre différentes émissions?

CUR. — Tout simplement en l'*accordant* sur différentes fréquences. Pour changer la fréquence de résonance, il suffit de modifier soit la self-induction, soit la capacité du circuit. Ne voyez-vous pas que, dans la figure, le condensateur est barré d'une flèche? Dans les schémas, la flèche indique habituellement que la valeur de l'organe est variable. En l'occurrence, nous utilisons un condensateur à capacité variable ou, comme on dit brièvement, un « condensateur variable ».

IG. — Donc, en résumé, il y a dans l'antenne plusieurs courants de fréquences différentes. En modifiant la capacité du condensateur variable, vous en pêchez chaque fois un seul dans le circuit oscillant. Nous avons alors entre les points A et B une tension alternative et... qu'en faisons-nous?

CUR. — Cette tension est généralement très faible. Il faut donc l'amplifier avant de lui faire subir d'autres traitements. Pour l'amplification, on se sert des lampes de T. S. F. dont la prochaine fois nous explorerons les mystères

SEPTIÈME CAUSERIE

Pour comprendre la radio, il importe, avant tout, de connaître la lampe à plusieurs électrodes qui est la « bonne à tout faire » des montages radioélectriques. Aussi, fidèle à sa promesse, Curiosus entre-t-il dans le vif du sujet, en exposant les propriétés des lampes les plus simples : la diode et la triode. Ignotus apprend ainsi le rôle respectif de la cathode, de l'anode et de la grille.

Ignotus se documente.

IG. — Comme vous m'avez, la dernière fois, promis de parler des lampes de T. S. F. je me suis un peu documenté sur la question. En consultant mon dictionnaire, j'ai appris qu'elles s'appellent également « lampes électroniques ».

CUR. — C'est parfait, Ignotus ! Vous voilà bien informé maintenant !... Pour compléter les renseignements de votre dictionnaire, il me reste à ajouter que les électrons jouent effectivement un rôle important dans les lampes de T. S. F.

IG. — Ne vous moquez pas de moi, Curiosus. Que font les électrons dans la lampe ?

CUR. — Ils sont émis par la cathode et, après avoir passé dans le vide, à travers une ou plusieurs grilles, ils sont attirés par l'anode.

IG. — De mieux en mieux ! Cathode, anode, grille... autant m'expliquer en sanscrit le calcul intégral.

CUR. — Alors commençons par le commencement. Savez-vous ce que c'est que la chaleur ?

IG. — Mon livre de physique, dans une discrète allusion, explique que la chaleur n'est autre chose que le mouvement rapide et désordonné des molécules, c'est-à-dire des particules élémentaires d'un corps.

CUR. — Et que deviennent les électrons dans les molécules d'un corps chauffé ?

IG. — Je pense que ces électrons peuvent être assimilés à des voyageurs assis dans une voiture qui roule à vive allure en zig-zaguant follement. Les électrons voyageurs sont secoués et doivent en souffrir.

CUR. — La science ne possède pas de renseignements sur l'état moral des électrons... mais vous avez raison en disant qu'ils sont fortement secoués. Supposez que la température du corps soit très élevée...

IG. — Dans ce cas, les mouvements des molécules-voitures deviennent tellement rapides et désordonnés que, j'en ai peur, pas mal d'électrons voyageurs seront projetés dehors.

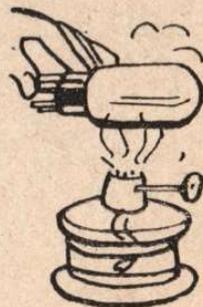
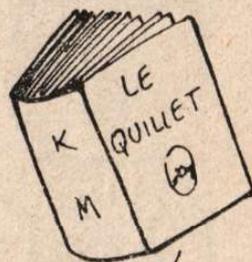
CUR. — Et c'est ce que l'on appelle l'émission électronique d'un corps. Portez à l'incandescence un fil métallique, il en jaillira une quantité d'électrons. Il existe d'ailleurs certains oxydes de métaux pour lesquels l'émission électronique commence déjà à une température relativement basse.

IG. — C'est que, dans ces oxydes, les voyageurs ne se cramponnent pas très fort à leurs voitures. Mais, dites-moi, par quel moyen entendez-vous chauffer le métal pour obtenir l'émission électronique ?

CUR. — Tous les moyens de chauffage peuvent être utilisés : le gaz, le pétrole, le charbon, l'électricité.

IG. — Tiens, tiens ! J'ignorais que l'on faisait des lampes de T. S. F. chauffées au pétrole...

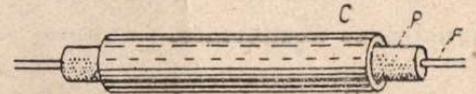
CUR. — En effet, pratiquement on chauffe toujours les cathodes (c'est ainsi que s'appelle, dans une lampe, l'électrode servant à l'émission électronique) par un courant électrique. Mais ce courant de chauffage joue un rôle tout à fait secondaire et pourrait,





en somme, être remplacé par toute autre source de chaleur. Dans les lampes modernes, nous trouvons un filament chauffant qui ressemble à celui d'une lampe d'éclairage et qui est porté à l'incandescence par un courant (continu ou alternatif, *c'est indifférent*) qui le parcourt. Ce filament est enrobé dans un cylindre isolant en porcelaine à travers lequel la chaleur est transmise à un tube en nickel qui entoure étroitement le cylindre de porcelaine. Enfin, la surface du tube en nickel est recouverte d'une couche émissive composée de différents oxydés et qui constitue la cathode proprement dite.

FIG. 24. — Composition de la cathode. — F, filament chauffant; P, cylindre de porcelaine; C, tube en nickel recouvert de la couche émissive.



IG. — C'est, en somme, un réchaud électrique sur lequel est posée une bouilloire dont s'échappe une vapeur d'électrons.

CUR. — La comparaison me plaît. Remarquez maintenant que nos électrons échappés de la cathode ne pourront pas aller très loin s'ils rencontrent aussitôt, sur leur trajet, des molécules d'air. Pour leur permettre de se déplacer librement, on place la cathode dans une ampoule de verre vidée de toute trace de gaz.

IG. — Mais où voulez-vous qu'ils aillent, les électrons?

Et voici la diode...

CUR. — Nous allons aménager, dans la lampe, un piège à électrons. Ce sera un cylindre placé à une certaine distance autour de la cathode et chargé positivement par rapport à celle-ci à l'aide d'une pile.

IG. — Il me semble que je comprends ce qui se passe alors. Les électrons, étant des particules négatives d'électricité, seront attirés par votre cylindre chargé positivement et il s'établira un courant d'électrons allant de la cathode à ce cylindre.

CUR. — Le cylindre en question s'appelle *anode* ou *plaque* et le courant qui va de la cathode à l'anode et qui, après avoir traversé la batterie, revient à la cathode, s'appelle *courant anodique* ou *courant de plaque*. Vous pouvez d'ailleurs déceler sa présence à l'aide d'un milliampermètre inséré dans le circuit de plaque (fig. 26).

IG. — C'est vraiment étonnant de penser que les électrons se déplacent ainsi dans le vide... Mais, dites-moi, si par distraction je branche la batterie à l'envers en rendant la cathode positive et l'anode négative, est-ce que les électrons iront alors de l'anode à la cathode?

CUR. — Non, bien entendu! Car l'anode, elle, doit être froide et, par conséquent, n'émet pas d'électrons.

IG. — Donc notre lampe est, pour les électrons, une rue à sens unique?

CUR. — Oui, mais on le dit d'une manière plus savante en affirmant que cette lampe à deux électrodes (ou diode) est une *valve électronique*.

IG. — Je pense que le courant dans une diode est très faible.

CUR. — Et vous ne vous trompez pas, du moins en ce qui concerne les lampes utilisées dans les récepteurs. Leur courant dépasse rarement quelques dizaines de milliampères.

IG. — Et de quels facteurs dépend ce courant?

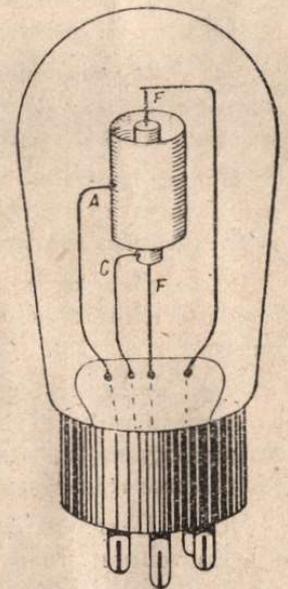
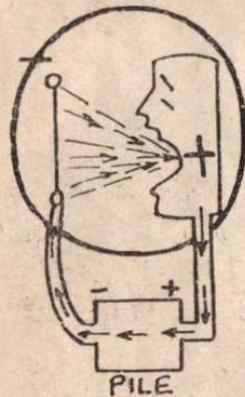
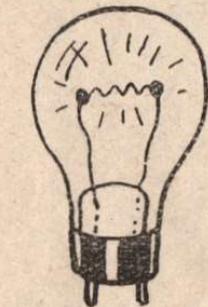


FIG. 25. — La diode. — F, filament; C, cathode; A, anode.

CUR. — Avant tout, de la tension appliquée entre l'anode et la cathode : plus cette tension est grande, plus grande est l'intensité du courant.

IG. — Ça me paraît assez normal : plus l'anode appelle fort les électrons, plus nombreux ils viennent à son appel.

CUR. — Pourtant cette règle n'est juste que jusqu'à une certaine limite au delà

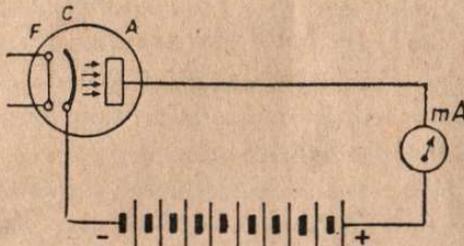


FIG. 26. — Le milliampèremètre mA permet de mesurer le courant qui passe de la cathode C à l'anode A .

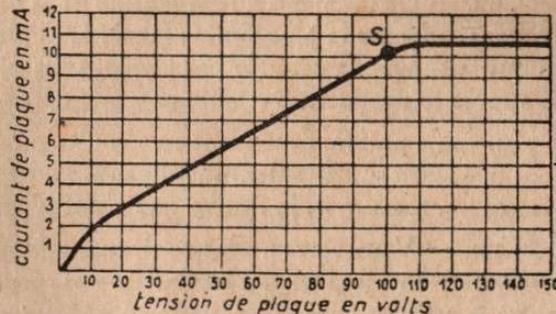


FIG. 27. — Courbe montrant la variation du courant de plaque en fonction de la tension de plaque. A partir de S c'est la saturation.

de laquelle, malgré l'augmentation de la tension, l'intensité du courant ne croîtra plus.

IG. — Pourquoi donc ?

CUR. — Parce que, pour une certaine tension, tous les électrons émis par la cathode atteindront l'anode. Nous aurons alors, comme on dit, le *courant de saturation*, autrement dit le courant maximum auquel la cathode peut donner lieu.

Ignotus découvre l'Amérique.

IG. — Evidemment, la plus belle cathode du monde ne peut donner que ce qu'elle a... Mais, à propos des cathodes, il me vient une idée formidable. Je crois même que l'on pourrait la breveter...

CUR. — Quelle est donc cette invention sensationnelle ?

IG. — Je crois que l'on pourrait grandement simplifier la structure de la cathode en réunissant en un seul élément le filament chauffant et la surface émissive. Il suffirait, somme toute, de faire passer le courant de chauffage à travers un fil fait en un métal possédant de bonnes propriétés émissives. Dans ces conditions, un tel filament, en s'échauffant, émettrait lui-même les électrons et constituerait une cathode très simple.

CUR. — Tous mes compliments, Ignotus. Vous venez d'inventer la cathode à *chauffage direct* qui, en effet, est beaucoup plus simple que la cathode à *chauffage indirect* dont je vous ai expliqué la composition. Toutefois, votre invention arrive avec quelque retard. Car les lampes à chauffage direct ont été connues bien longtemps avant les lampes à chauffage indirect. Jusqu'à présent, d'ailleurs, le chauffage direct est utilisé dans les récepteurs alimentés par batteries et aussi, dans certaines lampes des récepteurs alimentés par le courant du secteur.

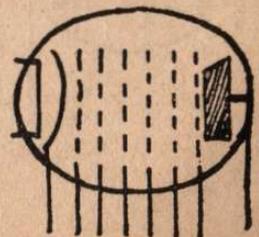
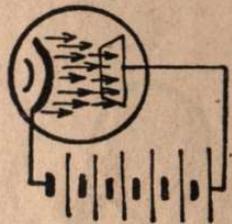
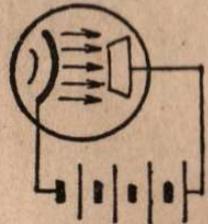
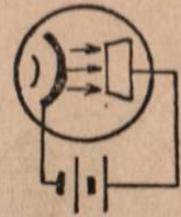
IG. — Décidément, je suis né trop tard et il ne me reste plus rien à inventer.

Dans le labyrinthe des grilles.

CUR. — Au contraire. Dans le domaine des lampes, il y a encore énormément à faire. Ces dernières années, les nouveaux modèles de lampes se succédaient à une allure vertigineuse. En augmentant le nombre de grilles, leur forme et leur disposition, les techniciens sont arrivés à faire des lampes très intéressantes.

IG. — Mais à quoi servent ces fameuses grilles dont vous me parlez ?

CUR. — Les grilles, — ce sont de véritables grillages métalliques à mailles plus ou moins serrées, — sont placées sur le trajet des électrons entre la cathode et l'anode.



Du point de vue purement géométrique, elles ne constituent guère un obstacle au passage des électrons. Mais, se trouvant placées de la cathode beaucoup plus près que l'anode, elles exercent sur le courant des électrons une influence beaucoup plus grande que l'anode.



IG. — Ça ne me paraît pas très clair. De quel genre d'influence parlez-vous ?

CUR. — De l'influence de la tension de la grille sur l'intensité du courant anodique. Prenons la lampe la plus simple (après la diode) : ce sera une lampe à une seule grille, ce qui fait, avec la cathode et l'anode, trois électrodes seulement. On l'appelle *triode*, et auprès des modernes « octodes » et « dodécaodes », elle fait déjà figure d'ancêtre...

IG. — Je préfère cependant que vous me parliez d'abord de la triode. Les électrons sont peut-être suffisamment intelligents pour trouver leur chemin parmi huit ou douze électrodes, mais moi, je trouve que c'est bougrement compliqué !

CUR. — Vous verrez, plus tard, qu'au fond c'est très simple... Pour vous montrer quelle est, dans une triode, l'influence de la grille sur le courant anodique, je vais placer, entre la cathode et la grille, une petite batterie Bg connectée à la cathode par une prise faite au milieu (fig. 28). Je pourrai ainsi appliquer à la grille soit des tensions négatives

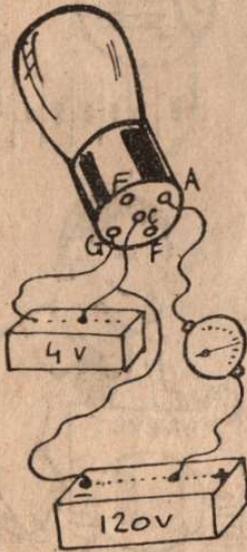
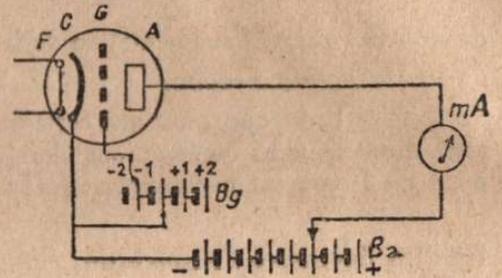


FIG. 28. — Voici un montage qui permet de comparer les influences relatives des tensions de la grille et de l'anode sur le courant de l'anode. La batterie de grille Bg et la batterie de plaque Ba sont à prises, ce qui permet d'en modifier aisément la tension utilisée.



(en la connectant à gauche de la prise médiane), soit positives (en la connectant à droite de la prise médiane de la batterie). Je pourrai ainsi faire varier la tension de la grille, par rapport à la cathode, de -2 à $+2$ volts. De même, la tension de plaque pourra être variée par les prises sur la batterie Ba de plaque dont le pôle négatif est connecté à la cathode.

IG. — Je vois que pour la plaque vous avez pris une batterie de 120 volts, alors que pour la grille vous utilisez seulement une batterie de 4 volts. Pourquoi ?

CUR. — Mais justement parce que, comme vous le constaterez dans un instant, des faibles variations de la tension de grille produisent, sur le courant anodique, le même effet que des fortes variations de la tension de l'anode. Voyez plutôt vous-même. Mettons l'anode à $+80$ volts et la grille à -2 volts. Quel est le courant indiqué par le milliampèremètre mA ?

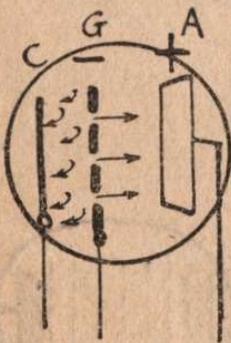
IG. — Un milliampère.

CUR. — Bien. Maintenant, je mets la grille à -1 volt, c'est-à-dire j'augmente son potentiel d'un volt. Le courant de plaque a maintenant 4 milliampères. Il a donc augmenté de 3 milliampères pour une variation de 1 volt de la tension de la grille.

IG. — Je pense qu'il a augmenté parce que la grille, en devenant moins négative, repousse moins énergiquement les électrons qui s'échappent de la cathode.

Pente et coefficient d'amplification.

CUR. — Evidemment. Je vous dirai, en passant, que l'augmentation que subit le courant anodique pour l'augmentation d'un volt de la tension de grille s'appelle *pente* ou *inclinaison* de la lampe et est mesurée en milliampères par volt (mA/V). Ainsi, la pente de notre triode est de 3 mA/V parce qu'en augmentant d'un volt la tension de la grille, nous avons élevé de 3 milliampères le courant de plaque.



IG. — Mais, d'après ce que vous m'avez expliqué précédemment, nous pourrions également élever le courant de plaque en augmentant la tension appliquée à l'anode.

CUR. — J'y viens. Remettons la tension de grille à -2 volts et essayons maintenant d'augmenter le courant de plaque de la même valeur de 3 milliampères, mais en faisant, cette fois, varier la tension de plaque. Vous voyez que je suis obligé de passer de $+80$ à $+104$ volts, c'est-à-dire accroître de 24 volts la tension de plaque pour obtenir le même effet que me donnait la variation d'un volt de la tension de grille.

IG. — Je vois maintenant ce que vous vouliez dire en m'expliquant que la grille a sur le courant anodique une influence beaucoup plus grande que la plaque. En somme, quand la grille murmure un tendre appel aux électrons et quand la plaque les appelle à pleins poumons, l'effet est le même.

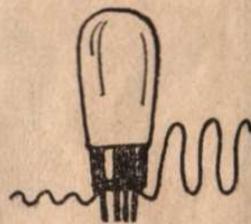
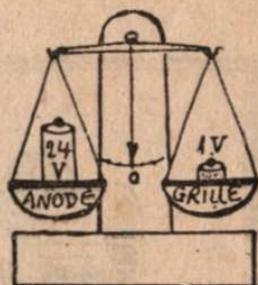
CUR. — Vous l'avez dit, Ignotus. Et le chiffre qui montre combien de fois la variation de la tension de plaque est plus grande que la variation de la tension de grille qui produit le même effet, ce chiffre s'appelle *coefficient d'amplification* de la lampe. Quel est, par exemple, le coefficient d'amplification de notre triode?

IG. — Voyons, nous avons dû modifier la tension de plaque de 24 volts pour faire varier le courant de plaque de 3 milliampères. D'autre part, la même variation a été obtenue avec seulement 1 volt sur la grille. Par conséquent la variation de la tension de plaque est 24 fois plus grande que celle de la grille et notre coefficient d'amplification est 24.

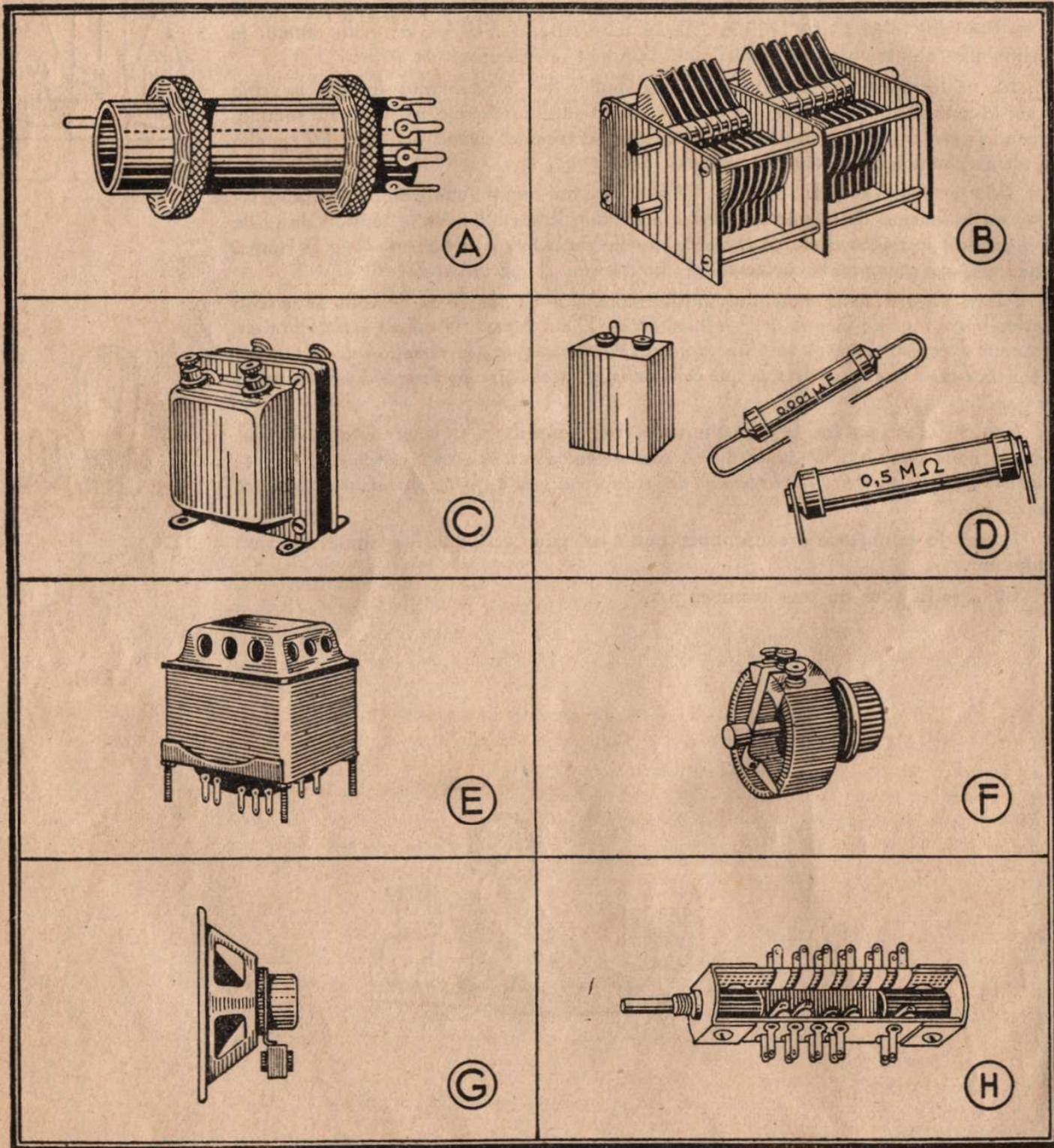
CUR. — C'est parfait. Je vois que vous avez compris. Et je voudrais que, de tout ce que nous avons étudié aujourd'hui, vous reteniez surtout cette conclusion importante: *de faibles variations de la tension de grille provoquent de fortes variations du courant de plaque.*

IG. — Je commence à soupçonner que c'est pour cela que les lampes peuvent amplifier.

CUR. — Et vous ne vous trompez pas.



Quelques accessoires utilisés dans
 ● les montages radioélectriques ●



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

HUITIÈME CAUSERIE

Qu'est-ce que l'« entrée » et la « sortie » d'une lampe? Qu'appelle-t-on « courbe caractéristique »?... Comment la relève-t-on et quelle est sa forme? Qu'est-ce que le « point de fonctionnement » et la « polarisation »?... Telles sont les questions que Curiosus expose à Ignotus, en examinant les conditions dans lesquelles une lampe amplifie sans déformation les tensions appliquées entre la grille et la cathode.

Ignotus se conduit très mal.

CUR. — Votre mère, Ignotus, vient de se plaindre amèrement de votre conduite. Vous avez, paraît-il, encombré la table de la salle à manger avec des piles, des lampes et des bobines, vous avez tendu un fil au radiateur, et votre bonne n'est pas encore remise de la chute qu'elle a faite en s'y prenant le pied.

IG. — Tout cela, je vous assure, me laisse bien froid. Mais ce qui me désole, c'est que mon récepteur ne fonctionne pas.

CUR. — Vous auriez construit un récepteur?! Mais qui donc vous en a donné le schéma??!

IG. — Il me semble qu'avec les notions que j'ai de la radioélectricité, il ne m'a pas été difficile d'en concevoir un moi-même. Tenez, le voici, vous voyez qu'il y a, entre l'antenne et la terre, un circuit d'accord LC. Aux bornes A et B de ce circuit apparaissent les tensions alternatives de haute fréquence dues au courant de l'antenne,

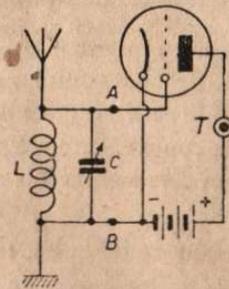


FIG. 29. — Récepteur dû à la conception technique d'Ignotus. La lampe est correctement montée en amplificatrice... mais les oscillations amplifiées ne feront entendre aucun son dans l'écouteur T.

comme vous me l'avez expliqué. Eh bien! ces tensions-là, je les applique entre la cathode et la grille d'une lampe. La dernière fois, nous avons établi que des faibles variations de la tension de grille produisent des fortes variations du courant de plaque. Aussi aurons-nous, dans l'écouteur téléphonique T, que j'ai intercalé dans le circuit de plaque, des courants variables et... devons-nous entendre de la musique.

CUR. — L'entendez-vous?

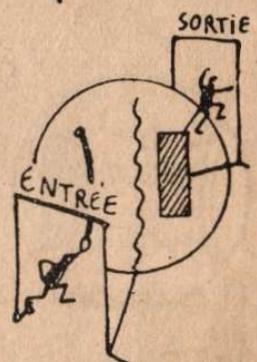
IG. — Hélas! je ne perçois aucun son, probablement la lampe est détraquée...

CUR. — Le plus étonnant, c'est que votre raisonnement est parfaitement juste... jusqu'à un certain point. En effet, pour utiliser les propriétés amplificatrices de la lampe, on doit appliquer la tension à amplifier entre sa grille et sa cathode, ces deux électrodes formant « l'entrée » de la lampe. La « sortie » se fait entre l'anode et la cathode, c'est-à-dire dans le circuit de plaque où l'on recueille les oscillations amplifiées sous la forme d'un courant de plaque variable. A ce point de vue, votre schéma est parfait. Mais, pour plusieurs raisons, le téléphone ne reproduira aucun son, ne serait-ce que parce que sa membrane ne peut vibrer à la fréquence des oscillations radioélectriques.

Dans le règne des courbes.

IG. — Que faire alors?

CUR. — Laissez pour le moment votre montage de côté et occupons-nous de la lampe. La dernière fois, nous avons examiné très sommairement la dépendance qui existe



E_g	I_a
-4	0
-3	0,2
-2	1
-1	4
0	7
+1	10
+2	11
+3	12
+4	12

entre le courant de plaque et la tension de grille. Pour la connaître plus à fond, repreneons le dispositif que nous avons déjà utilisé lors de notre dernière causerie (fig. 30) et notons soigneusement quelle est la valeur du courant de plaque pour chaque valeur de la tension de grille.

IG. — Je vois que pour - 4 volts de grille, le courant est nul ; la grille est trop négative et repousse tous les électrons. Pour - 3 volts, nous avons 0,2 mA ; pour - 2 volts, 1 mA ; pour - 1 volt, 4 mA ; pour 0 volt, 7 mA ; pour + 1 volt, 10 mA ; pour + 2 volts, 11 mA ; pour + 3 volts et pour toutes les tensions supérieures c'est 12 mA et ça ne change plus.

CUR. — D'après ces valeurs, nous allons tracer la *courbe caractéristique* de la lampe (fig. 31). Cette courbe constitue en quelque sorte le passeport de la lampe. Elle nous

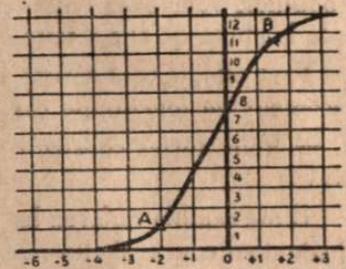
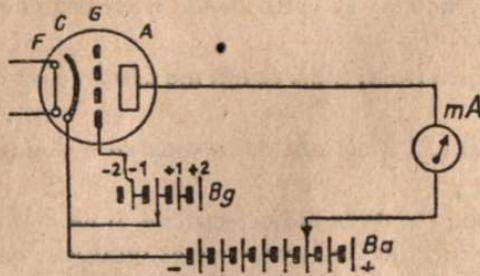


FIG. 30. — Dispositif permettant de relever la courbe caractéristique de la lampe.

FIG. 31. — Courbe caractéristique d'une lampe.



renseigne sur ses propriétés et nous permet ainsi de l'utiliser au mieux. On peut distinguer dans cette courbe trois parties différentes. D'abord, de l'extrémité gauche, jusqu'au point A, c'est le *coude inférieur*. Ensuite, entre A et B le courant croît proportionnellement à la tension de grille : c'est la *partie rectiligne* de la courbe. Enfin, à partir de B nous avons le *coude supérieur* suivi d'un palier horizontal qui correspond à la saturation : tous les électrons émis par la cathode atteignent l'anode.

IG. — Est-ce que nous aurions la même courbe si, au lieu de 80 volts, nous avions appliqué à l'anode une tension différente ?

CUR. — Certes non. Si, par exemple, la tension de plaque est supérieure, l'anode appelle les électrons plus fort et, par conséquent, pour la même tension de grille, le courant de plaque est supérieur. On peut d'ailleurs tracer une courbe caractéristique pour chaque tension de plaque, et ainsi nous obtenons toute une « famille » de caractéristiques (fig. 32).

IG. — Je vois que les caractéristiques se déplacent vers la gauche au fur et à mesure que la tension de plaque augmente.

CUR. — On a d'ailleurs le plus souvent intérêt à utiliser des tensions de plaque élevées afin de déplacer la courbe caractéristique (et surtout sa partie rectiligne) à gauche du point zéro des tensions de grille.

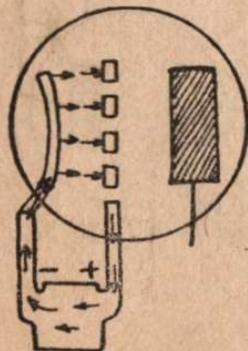
Le domaine interdit.

IG. — Je vous avoue que je ne vois pas bien l'utilité de cela.

CUR. — Vous le comprendrez plus tard. Sachez, pour l'instant, que l'on préfère maintenir la grille dans le domaine des tensions négatives (c'est-à-dire à gauche du point zéro) pour éviter l'apparition du courant de grille qui se forme dès que la grille devient positive.

IG. — Courant de grille?... Qu'est-ce que c'est ?

CUR. — Chose facile à comprendre : quand la grille devient positive par rapport à la cathode, elle agit à la manière de l'anode et attire les électrons. Il se crée ainsi un courant de la cathode vers la grille, courant très faible, mais pouvant, suivant les circonstances, produire des résultats très fâcheux.



IG. — Petites causes, grands effets, comme disait mon oncle qui, glissant sur une pelure de banane, s'est cassé la jambe... Mais comment peut-on maintenir la grille dans le domaine des tensions négatives, suivant votre élégante expression ?

CUR. — Avant tout, Ignotus, il convient que vous distinguiez parfaitement la différence qu'il y a entre la *tension moyenne* de grille ou, comme on dit, son *point de fonctionnement*, et les *valeurs instantanées* de sa tension. La tension moyenne est celle qui est appliquée à la grille au repos, c'est-à-dire en l'absence des signaux ou, autrement dit, des tensions alternatives.

IG. — Mais, normalement, je pense que la grille doit se trouver au même potentiel que la cathode, c'est-à-dire au potentiel zéro.

CUR. — Erreur ! Dans la plupart des lampes amplificatrices, la grille est *polarisée*

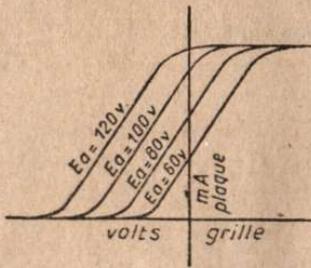


FIG. 32. — Famille de courbes dont chacune correspond à une tension E_a de plaque déterminée.

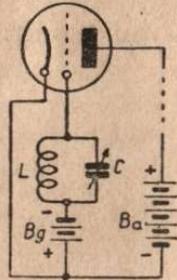


FIG. 33. — La grille est polarisée par la pile B_g .

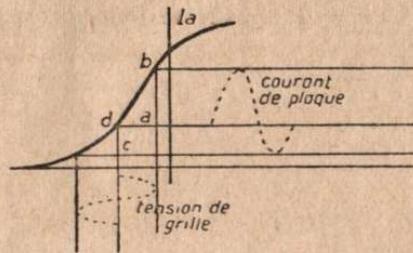


FIG. 34. — Si la lampe fonctionne sur le coude de la courbe, le courant est déformé.

négativement par rapport à la cathode, c'est-à-dire on lui applique une certaine tension négative, par exemple à l'aide d'une petite pile qui n'aura à débiter aucun courant (fig. 33).

IG. — Oui, je comprends. C'est précisément pour que la grille demeure dans le domaine des tensions négatives.

CUR. — Certes. Mais, en plus de cette tension permanente, à la grille d'une lampe amplificatrice sont également appliquées des tensions alternatives. Supposez, par exemple, qu'en plus d'une tension de polarisation de -9 volts, nous appliquions à la grille une tension alternative de 5 volts. Quelles seront alors les tensions instantanées extrêmes de la grille ?

IG. — Pendant l'alternance négative, la grille atteindra $-9 - 5 = -14$ volts et, pendant l'alternance positive, $-9 + 5 = -4$ volts.

CUR. — Bravo ! Je vois qu'on n'est pas trop ignorant en algèbre !... Maintenant, supposez que la grille ne soit polarisée qu'à -3 volts. En appliquant, en plus, la même tension alternative...

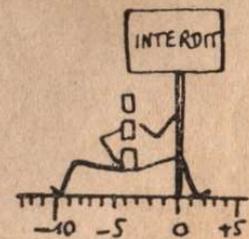
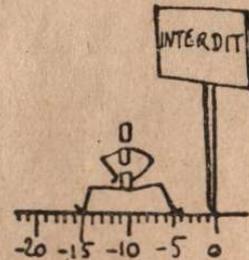
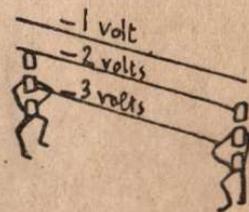
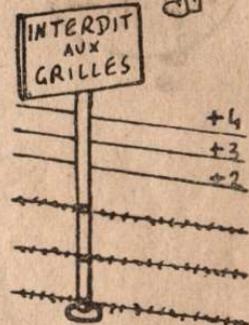
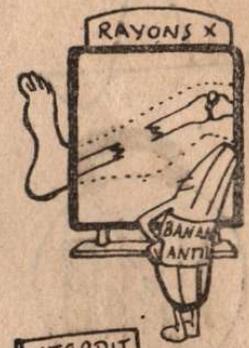
IG. — ...Nous aurons d'une part $-3 - 5 = -8$ volts et, d'autre part, $-3 + 5 = +2$ volts... Ah ! Je vois que, dans ce dernier cas, nous arrivons dans le domaine interdit des tensions positives, avec leur courant de grille et ses fâcheuses conséquences. Par conséquent, la polarisation, suffisante dans le premier cas, ne l'est plus maintenant.

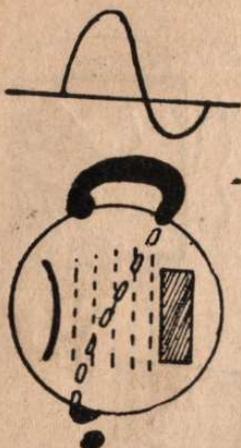
Les conditions de bon fonctionnement.

CUR. — Vos conclusions sont frappées au coin de bon sens... Nous voyons donc, tout d'abord, que la polarisation négative appliquée à la grille doit être au moins égale à l'amplitude de la tension alternative. Mais, d'autre part, il y a encore une condition importante pour que l'amplification s'effectue sans déformation : il faut que la lampe fonctionne dans la partie rectiligne de sa courbe.

IG. — Je n'en vois pas la raison.

CUR. — Pour éviter la déformation, il faut que les variations du courant de plaque





soient rigoureusement proportionnelles aux variations de la tension de grille. En faisant fonctionner la lampe dans la partie rectiligne, nous aurons cette proportionnalité. Mais supposez (fig. 34) que les tensions instantanées de la grille touchent une partie coudée. Dans ces conditions, une alternance positive donnera une augmentation ab du courant de plaque supérieure à celle cd produite par l'alternance négative.

IG. — Oui, la courbe obtenue du courant de plaque n'est pas aussi symétrique que celle de la tension de grille.

CUR. — C'est parfait, vous connaissez donc maintenant les meilleures conditions de l'utilisation de la lampe dans le rôle d'amplificatrice.

IG. — Oui, mais j'ignore encore la façon de monter un récepteur qui fonctionne et je ne sais pas, pour le moment, à quoi servent les nombreuses grilles des lampes modernes dont vous m'avez parlé.

CUR. — Il nous reste donc encore pas mal de sujets pour nos causeries.



NEUVIÈME CAUSERIE

Dans cette causerie, entièrement consacrée à l'émission, Curiosus expose le mécanisme de l'hétérodyne ou oscillateur à lampe et le processus de la modulation musicale.

Les voyages singuliers de la B. F.

IG. — Excusez-moi de revenir à la charge, mais vous m'avez promis de m'expliquer pourquoi le montage que j'ai réalisé ne pouvait pas fonctionner.

CUR. — Il faut pour cela que vous sachiez quelle est la forme du courant que les ondes électromagnétiques induisent dans votre antenne. Et cela m'oblige à vous exposer brièvement le fonctionnement de l'émetteur de radiophonie.

IG. — Je sais qu'il y a un studio et que dans ce studio il y a un microphone.

CUR. — C'est parfait. Je vois que vous avez étudié le problème à fond. Mais savez-vous ce que c'est que le microphone?

IG. — Bien sûr. Il y en a un sur notre téléphone. Je l'ai ouvert l'autre jour et j'y ai trouvé des petits grains de charbon. C'est depuis ce jour-là que notre téléphone fonctionne si mal...

CUR. — Vous savez donc que le microphone sert à capter les sons et à...

IG. — ... les transformer en courant électrique.

CUR. — Ce n'est pas tout à fait exact. Un microphone se compose d'une mince membrane métallique séparée par de la grenaille de charbon d'un boîtier métallique. Le courant d'une batterie passe de la membrane au boîtier à travers les grains de charbon. L'intensité de ce courant dépend, évidemment, de la résistance du charbon. Or, celle-ci varie suivant la pression exercée par la membrane.

IG. — Je comprends : étant plus comprimés, les grains ont une surface de contact plus grande, et le courant passe plus facilement. Mais qu'est-ce qui change la pression de la membrane?

CUR. — Les ondes sonores qui la font vibrer. N'avez-vous pas appris, mon cher, dans votre cours de physique, que le son n'est autre chose qu'une vibration des molécules de l'air qui oscillent dans le sens de la propagation du son à des fréquences qui vont, suivant la hauteur du son, de 16 périodes par seconde pour la note audible la plus grave, jusqu'à 16.000 p/s pour les notes les plus aiguës. D'ailleurs, certains savants prétendent que des oreilles particulièrement sensibles perçoivent des sons de 40.000 p/s.

IG. — Ainsi, si je vous ai bien compris, les ondes sonores viennent frapper la membrane du microphone et, en la faisant vibrer, compriment plus ou moins les grains de charbon et font varier l'intensité du courant qui le traverse.

CUR. — C'est exact. De cette manière, le *courant microphonique* traduit fidèlement par ses variations toutes les vibrations du son. D'ailleurs, en radio nous n'aurons à faire avec le son qu'aux extrémités de la chaîne de transmission, tout au début, devant le microphone, et à la fin, devant le haut-parleur. Entre les deux, le son sera représenté par le courant microphonique que l'on appelle aussi *courant musical* ou *courant de basse fréquence*, étant donné que sa fréquence est très faible par rapport à celles des courants qui assurent la création des ondes électromagnétiques, courants dits de *haute fréquence*.

IG. — Misère de misère ! Encore une idée qui tombe dans le lac avant même que je l'aie énoncée !... J'allais justement vous proposer d'envoyer le courant microphonique directement dans l'antenne de l'émetteur de manière qu'il crée des ondes radioélectriques ... et je vois qu'il faut utiliser à cet effet des courants de haute fréquence.

CUR. — Voyez-vous, Ignotus, le courant microphonique peut être assimilé à un voyageur qui, pour parvenir à une destination lointaine, se sert d'un train de courants de haute fréquence. Il y prend place à la gare du départ (émetteur) et le quitte à l'arrivée

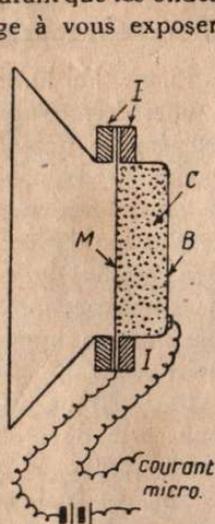
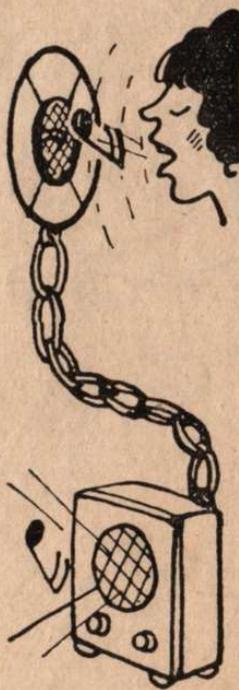
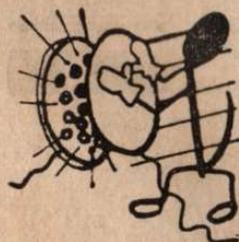
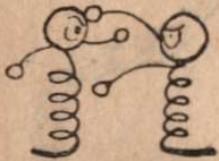
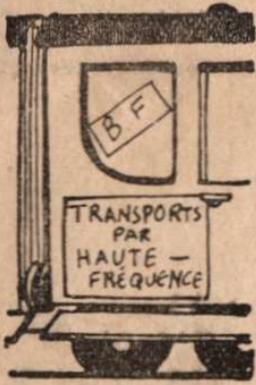


FIG. 35. — Microphone. M, membrane ; I, isolateur ; C, charbon ; B, boîtier.





(récepteur). Ainsi, la haute fréquence joue-t-elle uniquement le rôle auxiliaire de moyen de transport pour le courant de basse fréquence.

IG. — Ce que vous m'expliquez, est très simple, mais en réalité ça doit être bougrement compliqué, car je ne vois pas du tout comment la basse fréquence s'assoit dans la haute, est véhiculée par cette dernière et, ensuite, la quitte sans même lui laisser un pourboire, comme à un chauffeur de taxi.

CUR. — Tout cela est, pourtant, très simple et vous le comprendrez lorsque je vous aurai expliqué le fonctionnement de l'hétérodyné.

Comment fabriquer de la H. F.

IG. — J'ai lu, dans les annonces des constructeurs de T. S. F. qu'ils vendent des « superhétérodynes », mais ils ne parlent jamais d'hétérodynes simples. Est-ce une exagération publicitaire?

CUR. — Non, rassurez-vous. Le superhétérodyné est un montage de réception dont je vous entretiendrai plus tard. Par contre, l'hétérodyné est un dispositif servant à la production des courants alternatifs de haute ou de basse fréquence. Lorsque l'hétérodyné produit des courants puissants de haute fréquence et que ces courants sont dirigés dans une antenne, elle constitue un émetteur de radio. Si, en outre, un courant microphonique se superpose au courant de haute fréquence ou si, comme on dit, il le *module*, nous avons un émetteur radiophonique.

IG. — Mais je voudrais bien savoir comment est faite cette hétérodyné. Est-ce une sorte de grand alternateur comme ceux qui sont installés dans les centrales électriques?

CUR. — Mais non, mon ami. De même qu'un cordon bleu connaît mille façons de préparer les œufs, les techniciens de la radio savent appliquer la lampe à mille usages divers. Voici (fig. 36,1) le schéma très simple de l'hétérodyné. Qu'y voyez-vous?

IG. — Je vois un circuit oscillant LC connecté entre la grille et la cathode. D'autre part, une bobine L' est intercalée dans le circuit de plaque. Enfin, une pile B polarise la grille négativement par rapport à la cathode.

CUR. — Remarquez également que les bobines L et L' sont disposées de telle façon qu'entre elles il existe un couplage inductif. D'autre part, leurs enroulements vont dans le même sens, c'est-à-dire qu'en allant de la cathode à la grille dans L , le courant tournera dans le même sens que dans L' en allant de l'anode au pôle positif de la batterie de haute tension B_a .

IG. — Tout cela est clair dans votre dessin, mais quel est le but de tout cela?

CUR. — Considérez le moment de la mise en fonctionnement de ce montage. Que s'y produit-il?

IG. — Rien de sensationnel... Les électrons émis par la cathode sont appelés par l'anode à travers la grille; ils traversent ensuite la bobine L' de gauche à droite et; à travers la batterie B_a reviennent à la cathode. Et je ne vois rien de plus.

CUR. — Mais en fait il y aura quelque chose de plus, car, ne l'oubliez pas, les bobines L et L' sont couplés par induction.

IG. — C'est vrai!... Donc au moment où, dans la bobine L' commencera à circuler un courant allant de gauche à droite, il induira dans la bobine L un courant de sens contraire, en vertu de l'esprit de contradiction de l'induction.

CUR. — C'est juste; puisque le courant en L' est en augmentation, le courant induit dans L aura le sens contraire pour s'opposer ainsi à l'augmentation du courant inducteur.

IG. — Maintenant, ce courant allant dans L de droite à gauche entrainera des électrons de la grille et de l'armature droite du condensateur C et les amassera sur la cathode et sur l'armature gauche (fig. 36,2).

CUR. — Vous voyez donc que la grille deviendra plus positive.

IG. — Mais alors elle produira une nouvelle augmentation du courant de plaque, celui-ci induira en L un courant encore plus fort qui rendra la grille encore plus positive et...

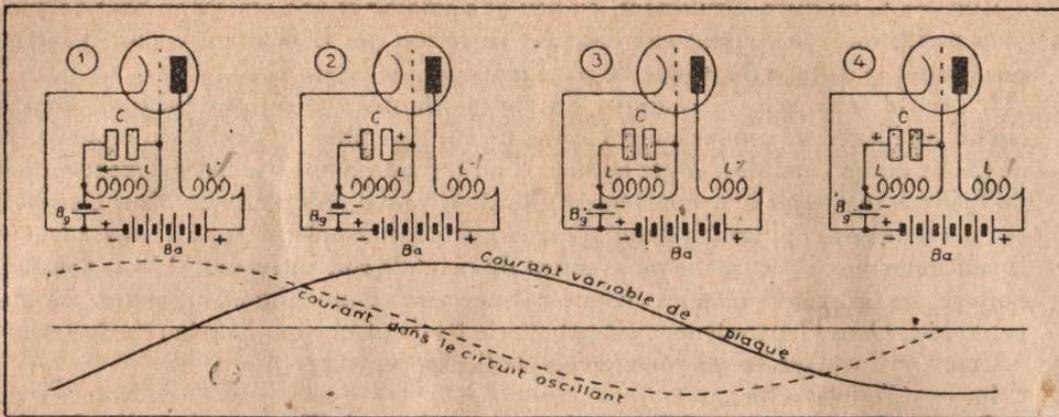


FIG. 36. — Quatre phases de l'oscillation du courant dans l'hétérodyne et, au-dessous, les courbes de variation du courant dans la bobine L' de plaque et dans la bobine L de grille. Remarquer la répartition des électrons sur les armatures du condensateur C.

CUR. — Stop !... Si vous continuez ainsi, vous parlerez bientôt de millions d'ampères. N'oubliez pas cependant que le courant de plaque ne peut pas croître indéfiniment.

IG. — En effet, il est limité par la valeur du courant de saturation. Par conséquent, lorsque la grille sera suffisamment positive pour que le courant de plaque ait atteint la saturation, il n'augmentera plus. Et comme il ne variera plus, il n'y aura plus aucun courant dans la bobine L.

CUR. — Quelle erreur ! Certes, il n'y aura plus de courant induit par L'. Mais ne voyez-vous pas qu'à ce moment le condensateur C se trouve chargé ? !

IG. — En effet. Il commencera donc à se décharger, en rendant la grille plus négative. Mais il me semble que, dans ces conditions, le courant de plaque commencera à décroître.

CUR. — Bien entendu. Et cette nouvelle variation du courant dans L' provoquera dans L un nouveau courant induit ; mais dans quel sens ira-t-il maintenant ?

IG. — Sans doute de gauche à droite. D'abord parce que vous me le demandez sur ce ton... et, ensuite, parce que le courant en L' étant en décroissance, le courant en L, avec son esprit de contradiction, ira dans le même sens, c'est-à-dire de gauche à droite, pour s'opposer à cette décroissance.

CUR. — Voilà de la bonne logique ! Et de cette façon, lorsque le condensateur C sera déchargé (fig. 36,3) les choses n'en resteront pas là. Le courant en L' continuera à induire en L un courant qui, rendant la grille de plus en plus négative, amènera finalement la disparition du courant de plaque.

... Et tout recommence !...

IG. — Mais, comme je vois (fig. 36,4), le condensateur sera à ce moment rechargé. Il commencera donc à se décharger. La grille deviendra moins négative. Il y aura donc de nouveau un courant de plaque qui ira en croissant...

CUR. — Et tout recommencera ! Ne voyez-vous pas, en effet, que nous sommes revenus à la situation de départ de nos raisonnements ?

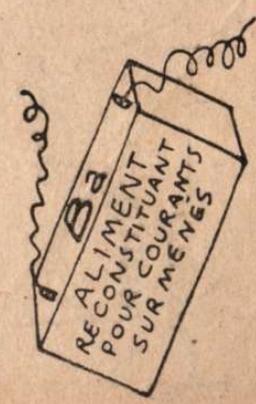
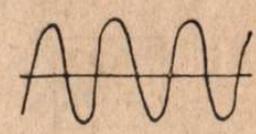
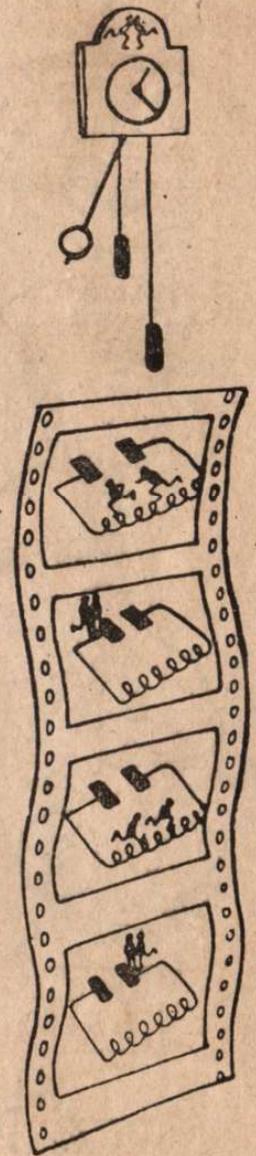
IG. — C'est vrai. Mais c'est, ma foi, bougrement compliqué !

CUR. — Pas tant que cela. Examinez les courants dans les circuits de grille (LC) et dans le circuit de plaque. Vous verrez que dans le circuit de grille le courant va dans un sens, diminue, change de sens, augmente et diminue, change de nouveau de sens et ainsi de suite.

IG. — C'est donc un courant alternatif ?

CUR. — Vous l'avez dit. Et de quelle fréquence ?

IG. — Certainement de la fréquence propre du circuit oscillant LC. Car nous avons ici en somme une charge et décharge alternative du condensateur C à travers la self-induction L comme vous me l'avez déjà expliqué une fois.





CUR. — C'est juste. Seulement, au lieu de s'amortir et de s'arrêter au bout de quelques oscillations, le courant alternatif est entretenu par le constant apport d'énergie que fournit la batterie de plaque Ba par l'induction de L' sur L .

IG. — Je crois que j'ai compris. En somme, le mouvement des électrons dans le circuit oscillant est, comme nous l'avons déjà dit, semblable à celui du pendule. Et de même qu'un pendule s'arrête au bout d'un certain nombre de balancements si rien ne l'aide à maintenir son mouvement, les électrons d'un circuit oscillant s'arrêtent eux aussi de passer alternativement d'une armature du condensateur à l'autre à travers la self-induction. Pour que le mouvement du pendule soit entretenu, il faut, dans une horloge, qu'un ressort tendu à chaque balancement communique au pendule un tout petit choc. Dans l'hétérodyne, c'est la batterie Ba de plaque qui joue le rôle du ressort.

CUR. — Et qu'est-ce qui joue le rôle de l'échappement ?

IG. — C'est la grille.

CUR. — Ignorant, je vous félicite et je vous prédis une brillante carrière dans la radio.

IG. — Merci ! Mais maintenant que je sais comment l'hétérodyne produit les courants entretenus de haute fréquence, pourriez-vous me dire comment se fait l'émission ?

CUR. — C'est très simple. Il s'agit de communiquer le courant alternatif à l'antenne. Nous le ferons par induction en couplant à la bobine L une bobine L'' intercalée entre le fil de l'antenne et la prise de terre (fig. 37). En plaçant dans le circuit de plaque un interrupteur dit *manipulateur* une « clef de Morse », nous pourrions émettre des signaux brefs ou longs correspondants aux « points » et « traits » de l'alphabet de Morse. Nous ferons ainsi de la radiotélégraphie.

IG. — Mais c'est la radiophonie qui m'intéresse. Et vous m'avez promis de m'expliquer comment on place le voyageur de basse fréquence dans le courant de haute fréquence.

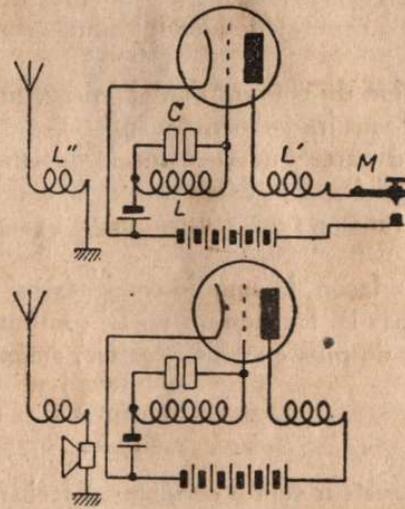


FIG. 37. — En haut, émetteur radiotélégraphique avec son manipulateur M. — En bas, émetteur radiotéléphonique.

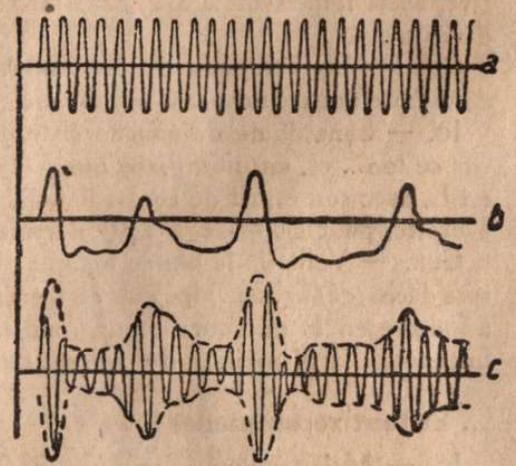


FIG. 38. — Courant H. F. non modulé en a. — Modulation B. F. du microphone, en b. — Courant H. F. modulé en c.

CUR. — Vous avez raison. Eh bien, c'est encore très facile à faire. Nous pouvons par exemple, placer le microphone dans le circuit de l'antenne. Comme la résistance du microphone varie sous l'effet des ondes sonores, le courant de l'antenne variera à son tour, en intensité. Autrement dit, au lieu d'une série d'oscillations entretenue d'amplitude égale (fig. 38a), nous aurons une série d'oscillations d'amplitude variable (fig. 38c) ou un courant de haute fréquence *modulé*.

IG. — Je comprends. Quand la résistance du microphone augmente, les amplitudes diminuent. Et c'est cette modification des amplitudes qui cache en elle le courant musical.

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, qui compte toujours de fervents adeptes, n'est pas oubliée. 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 couplons 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. — Aujourd'hui, 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 transporteur est déjà 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 la *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 très bien comment ça se passe.

CUR. — C'est pourtant bien 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.

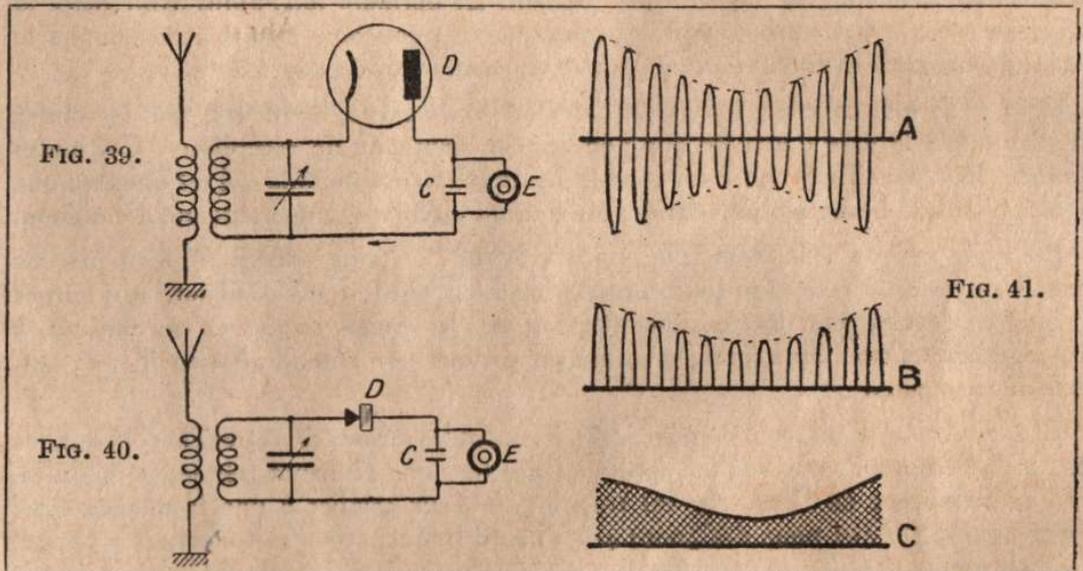
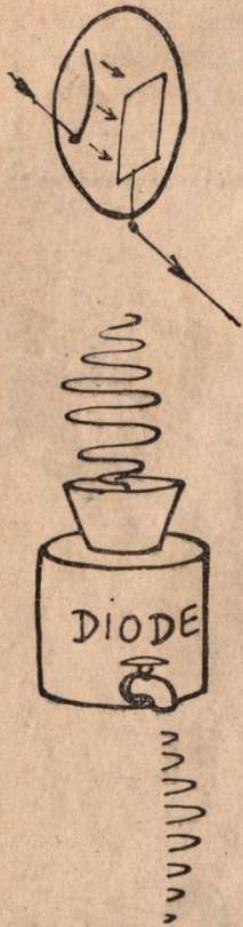


FIG. 39. — Une lampe diode D permet de redresser les oscillations qui, ainsi détectées, deviennent audibles dans l'écouteur E.

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. — Eureka ! 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 git 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 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 d'eau 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 sur 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 un dissymétrie quelconque (différence de composition chimique ou de forme, 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 de cuivre et d'oxyde de cuivre.

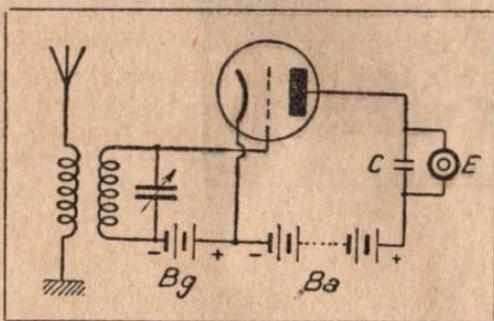
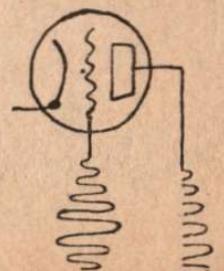
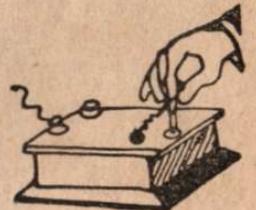
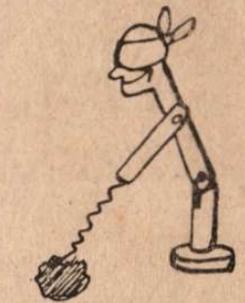


FIG. 42. — Schéma de la détection par courbure de la caractéristique de plaque.

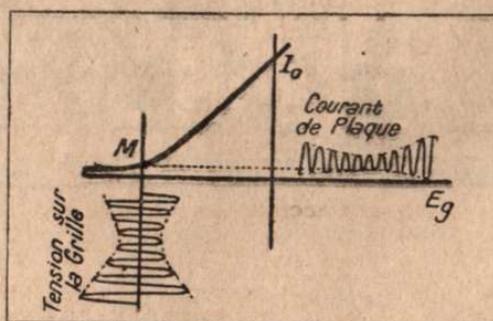
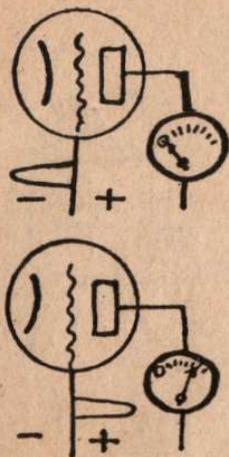


FIG. 43. — Au point de fonctionnement M, des tensions alternatives de grille créent un courant redressé dans la plaque.

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

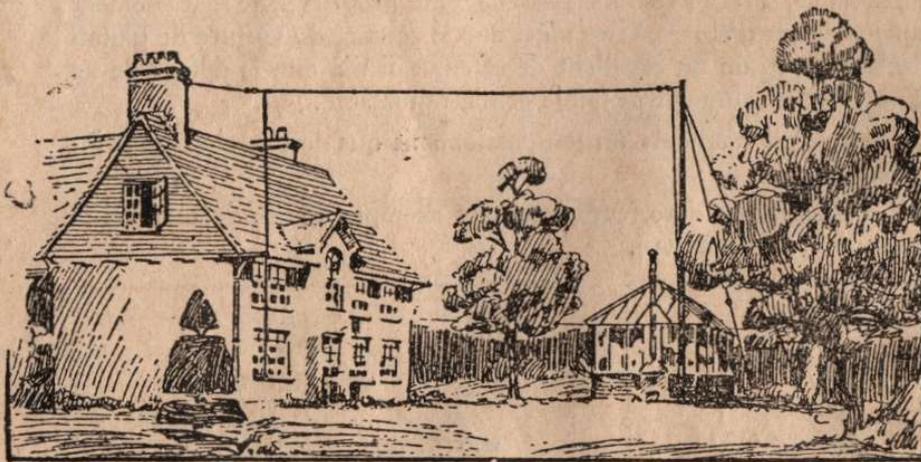
CUR. — Oui. Cependant, on peut également procéder à ce redressement d'une façon moins directe que celle que nous avons étudiée jusqu'à présent. On utilise à cet effet une lampe amplificatrice dont la grille est polarisée, par une batterie Bg (fig. 42) à une tension négative pour laquelle le courant de 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 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. La 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 soi-disant détection, nous reviendrons bientôt.



ONZIÈME CAUSERIE

Cette fois-ci, le long entretien de nos deux amis est consacré à l'amplification. Après en avoir établi la nécessité, aussi bien pour les courants de H. F. que pour ceux de B. F., Curiosus expose le principe de liaison par transformateur. Incidemment, il examine différents « problèmes alimentaires », en expliquant notamment la méthode de polarisation généralement utilisée dans les récepteurs alimentés par le courant du secteur.

Les fatigues de voyage.

IG. — Grâce à notre dernière causerie, cher Curiosus, je sais enfin comment on procède à la détection, c'est-à-dire comment le voyageur de basse fréquence descend du train de haute fréquence qui l'a amené au récepteur. Maintenant, je brûle du désir de commencer le montage d'un poste, au demeurant très modeste, car il se composera uniquement d'un circuit d'accord, d'un détecteur à diode et d'un haut-parleur.

CUR. — Décidément, Ignotus, vous êtes pétri d'idées irréalisables ! Votre haut-parleur restera muet comme une carpe. N'oubliez pas qu'après avoir effectué son voyage à la vitesse de 300.000 kilomètres par seconde, votre voyageur arrive au récepteur très fatigué et affaibli.

IG. — Il y a de quoi !...

CUR. — Le courant sera donc trop faible pour ébranler la membrane du haut-parleur. Il faut le revigorer, l'amplifier, après la détection et avant de l'appliquer au haut-parleur. C'est là le rôle de l'amplification à basse fréquence qui a pour effet d'augmenter l'amplitude du courant musical. Mais, d'autre part, si le voyageur vient de loin, il sera tellement

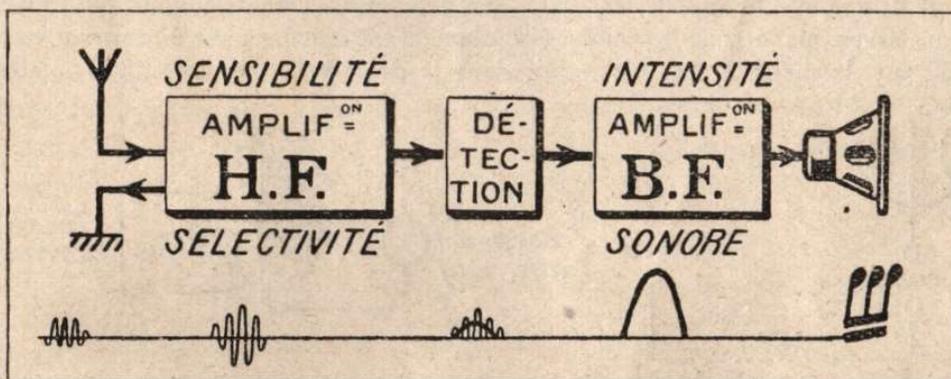


FIG. 44. — Schéma le plus... schématisé d'un récepteur.

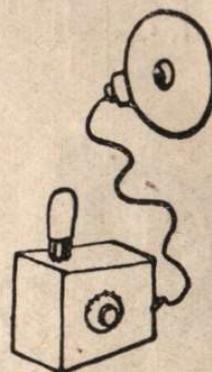
exténué qu'il n'aura même pas la force de descendre du train. Autrement dit, le courant que les ondes auront engendré dans l'antenne du récepteur sera tellement faible, qu'il ne sera même pas possible de le détecter.

IG. — Je pense qu'il serait bon, dans ce cas, de renforcer le voyageur, même avant sa descente du train.

CUR. — C'est bien ainsi que l'on opère. Avant de le détecter, on amplifie le courant en haute fréquence, de manière à le rendre parfaitement « détectable ». Grâce à cette amplification à haute fréquence, on parvient à détecter même les signaux les plus faibles. Elle contribue donc à augmenter la sensibilité du récepteur et, par conséquent, son rayon de réception.

Ignotus formule le problème.

IG. — En somme, dans un récepteur bien conçu, il faut amplifier et avant et après la détection (fig. 44). Mais, en ce qui concerne l'amplification, je crois que nous avons déjà tout appris.



CUR. — Grande est votre erreur, ami. Vous savez tout juste en quoi consiste le rôle amplificateur de la lampe. Je vous ai, en effet, expliqué comment les moindres variations de la tension appliquée à l'entrée, c'est-à-dire entre la grille et la cathode, provoquent des variations relativement grandes du courant de plaque. Mais vous ignorez totalement comment sont établis les circuits de liaison qui permettent de lier deux lampes amplificatrices consécutives.

IG. — Mon professeur de mathématiques a toujours affirmé qu'un problème clairement formulé est à moitié résolu. Je vais donc tenter de bien énoncer celui que vous êtes en train de poser. Dans la lampe (fig. 45), nous avons une « entrée » ; c'est la grille et la cathode. Entre ces deux électrodes, nous appliquons une tension alternative de haute ou de basse fréquence. D'autre part, nous avons la « sortie » ; c'est le circuit de plaque où, entre l'anode et le pôle positif de la source de haute tension, nous pouvons recueillir le courant variable. Mais ce n'est pas un *courant* variable qu'il nous faut pour agir sur la lampe suivante ; c'est une *tension* variable que nous voulons appliquer entre sa grille et sa cathode.

CUR. — Vous êtes dans le droit chemin de la logique. La conclusion s'impose : il faut transformer le courant variable de plaque en une tension variable.

IG. — C'est facile à dire, mais je ne vois pas du tout le moyen qui le permette.

CUR. — Cette transformation peut être faite à l'aide d'un... *transformateur*.

Une vieille connaissance.

IG. — Qu'est-ce précisément que cet engin ?

CUR. — Le transformateur est, pour vous, une vieille connaissance dont vous ignorez cependant le nom. On appelle, en effet, ainsi deux enroulements couplés par induction. Or, vous savez que lorsque le premier enroulement est parcouru par un courant variable, un courant de même forme est induit dans le deuxième enroulement. Toutefois, si

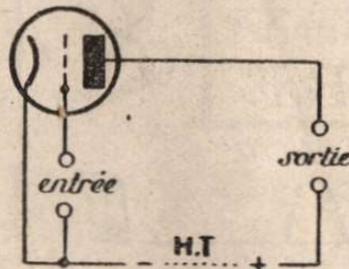


FIG. 45. — Les quatre « points cardinaux » de la lampe : l'entrée entre la grille et la cathode ; la sortie entre l'anode et le + H. T.

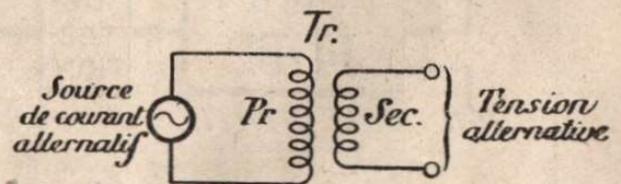
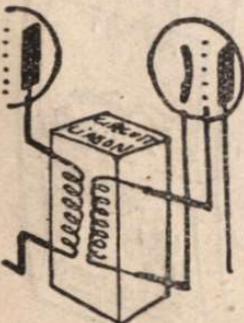
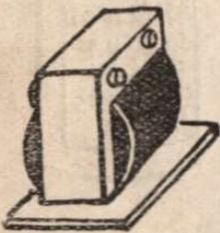
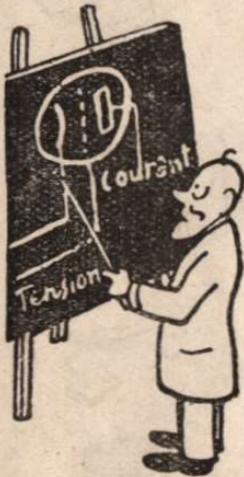
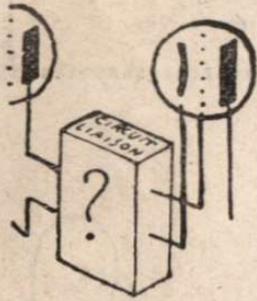


FIG. 46. — Le courant alternatif qui parcourt le primaire *Pr* du transformateur *Tr*, induit une tension alternative aux bornes de son secondaire *Sec.*

ce deuxième enroulement est ouvert (c'est-à-dire n'est fermé par aucune résistance), il n'y aura pas de courant induit, mais seulement une tension induite. Ainsi, lorsque le premier enroulement (dit *primaire* du transformateur) est parcouru par un courant alternatif, dans le deuxième enroulement (*secondaire*) les électrons se déplaceront constamment au rythme du courant inducteur en créant ainsi des tensions alternatives entre les extrémités de cet enroulement (fig. 46).

IG. — Eh bien ! Maintenant je vois la solution : il suffit, tout bonnement, d'intercaler dans le circuit de plaque de la première lampe le primaire d'un transformateur et de connecter son secondaire entre la grille et la cathode de la deuxième lampe (fig. 47). Ainsi le primaire sera parcouru par le courant variable du circuit de plaque de la première lampe. Il induira des tensions alternatives aux extrémités du secondaire, et ces tensions se trouveront être appliquées entre la grille et la cathode de la deuxième lampe... comme cela doit se faire dans toutes les bonnes maisons !

CUR. — Attendez de triompher, cher ami. Au demeurant, notre schéma présente



un grave inconvénient : vous remarquez que chaque lampe nécessite, pour son fonctionnement, une source spéciale de haute tension destinée à la création du courant de plaque. Or, cette source, qu'il s'agisse d'une batterie ou d'un dispositif d'alimentation par le courant du secteur, est assez coûteuse. Et si nous voulons, en poursuivant l'amplification, lier à la deuxième lampe une troisième et ainsi de suite, il nous faudra autant de sources de haute tension que de lampes, ce qui s'avérera assez onéreux.

Les problèmes alimentaires.

IG. — Ne peut-on pas utiliser une source commune pour toutes les lampes ?

CUR. — C'est ce que l'on fait en réalité. Ainsi, voyez (fig. 48) trois lampes amplificatrices sont alimentées par la même source de haute tension. Leurs cathodes sont connectées au pôle négatif, et les circuits de plaque aboutissent au pôle positif.

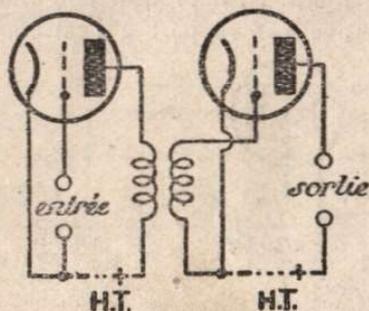


FIG. 47. — Couplage par transformateur de deux lampes amplificatrices.

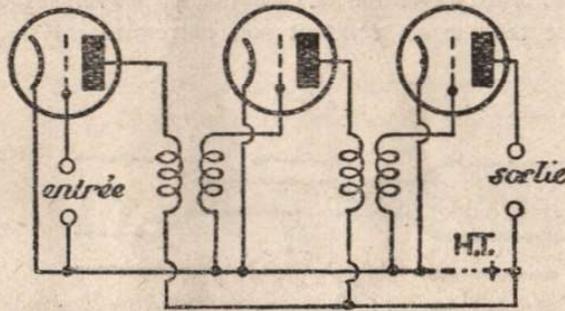


FIG. 48. — Alimentation de trois lampes par une source commune H. T. de haute tension.

IG. — Cela me semble très rationnel. Au lieu de préparer la nourriture de chaque lampe individuellement, on les alimente à la cuisine commune du restaurant.

CUR. — Puisque vous en êtes là de vos réflexions, laissez-moi vous rappeler que l'alimentation de la lampe ne comprend pas uniquement le chauffage de son filament et la fourniture, sous haute tension, de son courant de plaque, mais également la polarisation de grille.

IG. — En effet, j'avais complètement oublié ce hors-d'œuvre dont vous m'avez jadis parlé. Si mes souvenirs sont précis, la grille doit être portée à une tension négative par rapport à la cathode, de manière que le point de fonctionnement de la lampe se trouve dans la portion rectiligne de sa caractéristique et que, sous l'effet de la tension alternative qui lui est appliquée, la grille ne devienne à aucun moment positive.

CUR. — Vous oubliez cependant que la grille ne doit pas, non plus, pénétrer dans la portion courbée de sa caractéristique, sous peine de déformation des oscillations à amplifier.

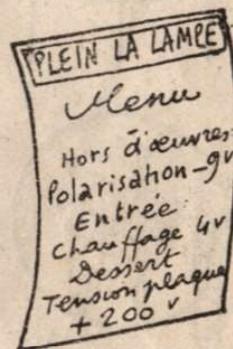
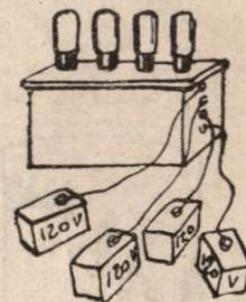
IG. — Et de quelle manière rendrons-nous pratiquement la grille négative par rapport au filament ? Je pense que le plus simple serait d'utiliser à cet effet une petite batterie.

CUR. — C'est ainsi que l'on fait dans les récepteurs dont toute l'alimentation est assurée par batteries. Mais, dans la majorité, les récepteurs modernes sont alimentés par le courant du secteur. Et, pour obtenir la tension de polarisation, on emploie un dispositif aussi ingénieux que simple, qui utilise la chute de tension produite par le courant de plaque dans une résistance.

Ignotus se met dans la peau de l'électron.

IG. — Dites-moi, d'abord ce que c'est qu'une chute de tension.

CUR. — Lorsqu'un courant rencontre, sur son passage, une résistance, les électrons ne la traversent que difficilement. Ils s'accumulent donc à l'entrée et sont plus rares à la sortie de cette résistance. Par conséquent, l'entrée sera plus négative que la sortie.



La tension ainsi créée par le passage du courant à travers une résistance s'appelle *chute de tension* du courant. Elle est évidemment d'autant plus grande que le courant est plus intense et que la résistance est plus forte (1).

IG. — C'est exactement comme la foule qui, pour sortir d'un vaste local en empruntant un étroit couloir, se masse devant l'entrée du couloir. Quand on doit passer ainsi, on est d'abord bien comprimé et lorsque, en sortant, on respire enfin librement, on comprend fort bien ce que c'est qu'une différence de pression ou une chute de tension...

CUR. — Je vois que vous vous mettez aisément dans la peau de l'électron, si l'on peut dire. Pour en revenir à la polarisation, nous disposerons une résistance R sur le trajet du courant de plaque (fig. 50) entre le pôle négatif de la source de haute tension et la cathode. Le courant de plaque va de la cathode à l'anode, traverse le primaire du transformateur de liaison, passe à travers la source de haute tension et, par la résistance R , revient à la cathode. En traversant cette résistance R , il produit une chute de tension en rendant son extrémité inférieure négative par rapport à l'extrémité

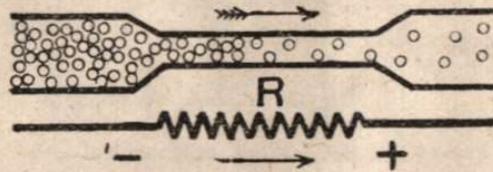


FIG. 49. — En traversant une résistance R , le courant crée à ses extrémités une tension.

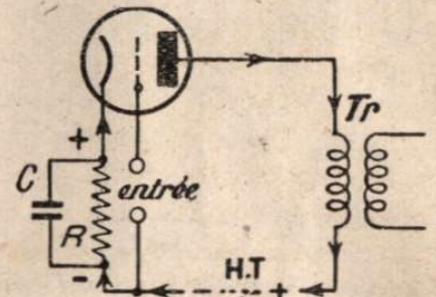


FIG. 50. — Le courant de plaque, en traversant la résistance R , crée une tension entre la grille et la cathode.

supérieure. Or, la grille est connectée à l'extrémité inférieure, et la cathode à l'extrémité supérieure. Ainsi la grille se trouvera polarisée négativement par rapport à la cathode.

IG. — Cela paraît assez simple. Mais à quoi sert le condensateur C (fig. 50) qui est connecté en parallèle avec la résistance R ?

CUR. — N'oubliez pas que le courant de plaque de la lampe n'est constant que lorsque le potentiel de grille est constant. Quand vous appliquez à la grille une tension alternative, il apparaît, dans le courant de plaque, des variations de la même fréquence. Ces variations passeraient difficilement à travers la résistance R , alors que le condensateur leur offre un passage aisé. On dit que le condensateur C est traversé par la «composante» alternative du courant de plaque

IG. — Ainsi, un tel dispositif de polarisation doit être inséré dans le circuit de plaque de chaque lampe amplificatrice?

CUR. — Parfaitement. Ainsi (fig. 51) je vous dessine le schéma de deux lampes amplificatrices liées par transformateur. La première est polarisée à l'aide de la résistance R_1 , la seconde à l'aide de R_2 .

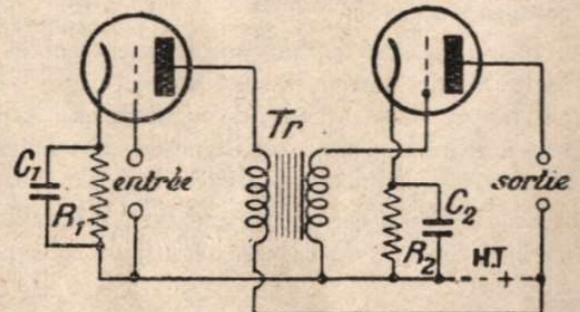
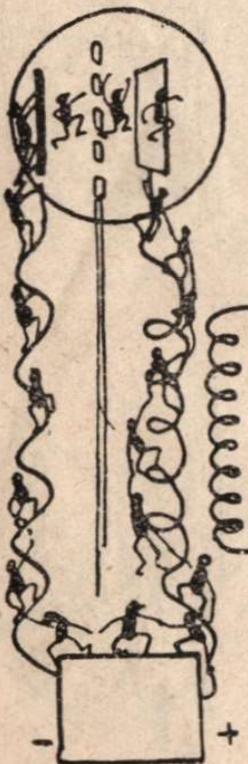


FIG. 51. — Amplificateur à deux lampes avec polarisation des grilles par les résistances R_1 et R_2 .

(1) La chute de tension (en volts) est égale au produit de l'intensité du courant (en ampères) par la résistance (en ohms) : $E = I \times R$.

C'est une nouvelle expression de la loi d'Ohm formulée dans notre première causerie sous la forme : $I = E : R$ et qui en découle directement.

Ainsi un courant de 3 ampères traversant une résistance de 5 ohms créera une chute de tension de 15 volts.



Transformateurs H. F. et B. F.

IG. — Et qu'est que ces barres parallèles que vous avez placées sur le dessin entre les enroulements du transformateur ?

CUR. — C'est le symbole du noyau de fer utilisé dans le transformateur de basse fréquence. Le fer étant plus facilement pénétré par le champ magnétique que l'air, on augmente la self-induction des enroulements en les bobinant sur un noyau de fer. Pour que le courant alternatif des enroulements ne puisse pas induire dans le fer des courants d'induction, on utilise des noyaux en fer feuilleté à feuillets isolés.

IG. — Et pourquoi ne fait-on des noyaux que pour les transformateurs de basse fréquence ?

CUR. — Parce que les courants de haute fréquence, en raison de la rapidité de leur variation, aurait induit dans le fer des courants qui seraient autant de pertes pour le courant inducteur. C'est pourquoi, en haute fréquence, on préfère utiliser des transformateurs à air.

IG. — Ne pourrait-on pas cependant réduire au minimum les courants induits en rendant les noyaux très résistants. On pourrait, par exemple, les constituer par d'infimes parcelles de fer isolées les unes des autres.

CUR. — C'est ce que l'on fait depuis quelque temps. On utilise alors, pour des transformateurs de haute fréquence, des noyaux en poudre de fer enrobée dans une masse isolante.

IG. — En somme, la seule différence entre l'amplification de la haute ou de la basse fréquence consiste, si j'ai bien compris, dans la composition du noyau. Dans le premier cas, c'est de l'air ou de la poudre de fer. Dans le second cas, c'est du fer feuilleté ?

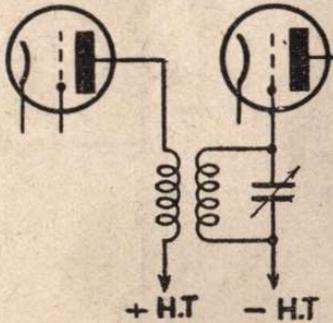


FIG. 52 (à gauche). — Liaison par transformateur H. F. à secondaire accordé.

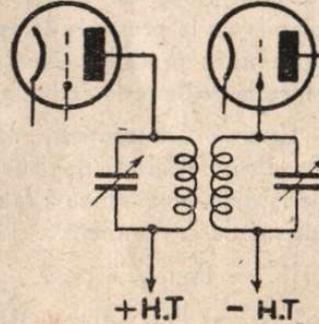
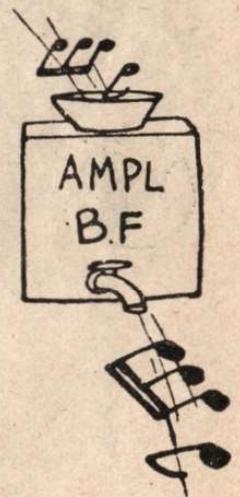
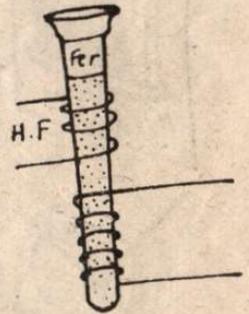
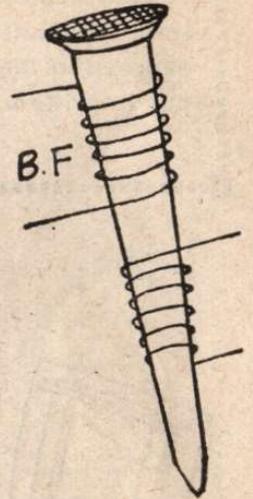


FIG. 53 (à droite). — Liaison par transformateur H. F. à primaire et secondaire accordés.



CUR. — Non, la différence va beaucoup plus loin. Lorsque nous amplifions les courants de basse fréquence, nous prenons toutes les précautions pour les amplifier tous dans la même proportion afin que toutes les notes de la musique soient reproduites avec leurs intensités relatives. Nous n'avons aucun intérêt à privilégier, à favoriser une fréquence musicale au détriment des autres. Par contre, en ce qui concerne les courants de haute fréquence, nous n'oublions jamais tout l'intérêt qu'il y a à en sélectionner un seul, celui produit par l'émetteur que nous voulons écouter, tout en éliminant tous les autres.

IG. — Donc, dans l'amplification de haute fréquence, il faut utiliser des circuits de liaison sélectifs, autrement dit des circuits accordés ?

CUR. — Bien entendu. Il faut que le travail de sélection, commencé dans le circuit d'accord de l'antenne, soit poursuivi dans les circuits de liaison de l'amplification à haute fréquence. Nous utiliserons donc des transformateurs sélectifs, en accordant l'un (fig. 52) ou même les deux (fig. 53) enroulements. De tels transformateurs ne laisseront passer que le courant de la fréquence sur laquelle ils sont accordés, à l'exclusion de tout autre.

DOUZIÈME CAUSERIE

Tout semble aller pour le mieux. Ignotus s'initie aisément aux méthodes de liaison par impédances. Il en fait facilement application au cas particulier de la liaison entre détectrice diode et première lampe B. F. Bien mieux : il redécouvre ce que l'on appelle vulgairement « détection par la grille »... Pourquoi faut-il donc qu'avant de mettre un terme à cet aimable entretien, Curiosus plonge son ami dans le plus sombre désespoir?...

Les liaisons dangereuses.

CUR. — La dernière fois, nous avons examiné le fonctionnement des amplificateurs à liaison par transformateur. Je dois vous faire un aveu....

IG. — Arrêtez-vous ! Je crois deviner ce que vous voulez me dire : il existe probablement d'autres catégories d'amplificateurs. N'est-ce pas cela?

CUR. — En effet. Mais comment l'avez-vous deviné?

IG. — C'est peut-être une bêtise, mais il me vient une idée formidable. Je crois que l'on peut se passer parfaitement de tout transformateur pour la liaison entre lampes amplificatrices. Vous m'avez dit, la dernière fois, que le courant, en traversant une résistance, crée aux extrémités de celle-ci une chute de tension. Si le courant est variable, la tension aux extrémités de la résistance le sera, je pense, également.

CUR. — C'est exact.

IG. — Or, que cherchions-nous pour la liaison entre lampes? Le moyen de transformer les variations de l'intensité du courant de plaque d'une première lampe en variations de tension à appliquer entre la grille et la cathode d'une deuxième lampe. Il suffit donc de placer une résistance dans le circuit de plaque de la première lampe. Les variations de tension que le courant produira dans cette résistance seront appliquées entre la grille et la cathode de la deuxième lampe (fig. 54).

CUR. — Doucement, mon cher. L'idée est, en principe, excellente. Mais on ne peut pas connecter directement la grille de la deuxième lampe à la résistance placée dans le circuit de plaque de la première.

IG. — Pourquoi pas?

CUR. — Parce que cette résistance est connectée au pôle positif de la source de haute tension. Et si nous y connectons la grille, comme vous l'avez fait, elle deviendra beaucoup trop positive. C'est là une liaison dangereuse...

IG. — En quoi donc?

CUR. — Malheureux ! Vous avez déjà oublié que la grille d'une lampe amplificatrice doit être polarisée négativement.

Le domaine des tensions positives est, pour la grille, une zone interdite. En l'occurrence, si vous portez la grille de la deuxième lampe à une tension positive aussi élevée que celle de l'anode de la première, la deuxième lampe travaillera à la saturation.

IG. — En effet. Trop positive, la grille appellera tous les électrons émis par la cathode.

CUR. — Vous voyez donc où nous emmène votre imprudent projet.

IG. — Alors il n'y a rien à faire?

CUR. — Mais si. Ce que nous voulons transmettre à la grille, ce sont les tensions variables. Nous les transmettrons aisément à travers la capacité d'un condensateur C placé entre la résistance R_1 (fig. 55) et la grille de la deuxième lampe. La grille sera ainsi isolée de la haute tension positive, mais les tensions alternatives auront vers elle libre accès.

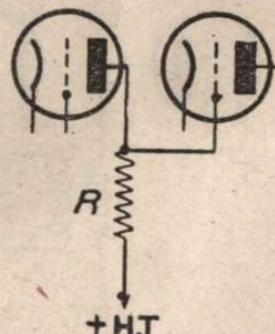
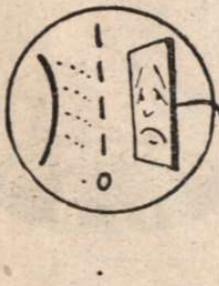
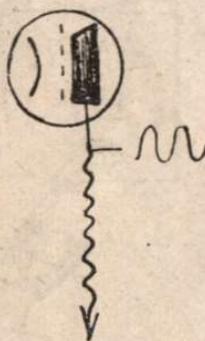


FIG. 54.— Les tensions développées dans R par le courant de plaque de la première lampe sont transmises à la grille de la deuxième.

IG. — Et à quoi sert la résistance R_2 ?

CUR. — Si elle n'existait pas, une partie, des électrons émis par la cathode s'accumulerait sur la grille qui, du point de vue du courant continu, serait tout à fait isolée ou, comme on dit, « en l'air ». Ces électrons rendraient vite la grille à tel point négative qu'elle ne laisserait plus passer aucun courant. La lampe serait alors « paralysée ». Pour permettre aux électrons de s'écouler librement de la grille, nous utilisons cette

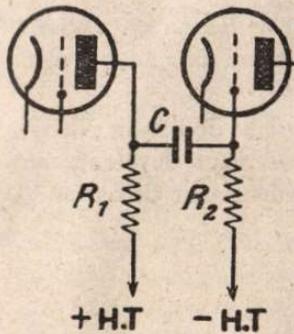


FIG. 55 (à gauche). — Liaison par résistances et capacité. — R_1 , résistance de plaque ; C , condensateur de liaison ; R_2 , résistance de fuite.

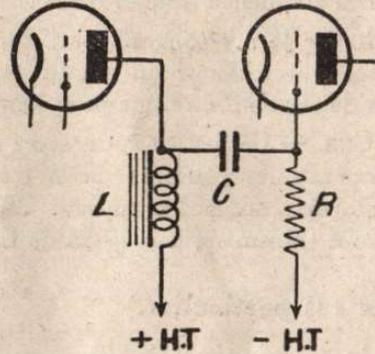


FIG. 56 (à droite). — Liaison par inductance L , à fer.

« résistance de fuite » R_2 qui fixe le potentiel de la grille en la reliant au pôle négatif de la source de haute tension.

IG. — Ainsi la tension alternative est amenée vers la grille de la deuxième lampe par le condensateur de liaison C , et la tension continue, qui fixe le point de fonctionnement, par la résistance R_2 ?

Dans le royaume des impédances.

CUR. — C'est exact. Ce système s'appelle « liaison par résistances et capacité ». Mais à la place de la résistance R_1 on pourrait utiliser toute autre impédance sur laquelle le courant variable développerait des tensions alternatives.

IG. — Pourrait-on par exemple utiliser une inductance?

CUR. — Bien entendu. Souvent, dans l'amplification à basse fréquence, on utilise la liaison à inductance (fig. 56). Dans ce cas, l'inductance L est constituée par un enroulement à noyau de fer.

IG. — Que vaut-il mieux utiliser parmi ces différents modes de liaison.

CUR. — Cela dépend... Chacun a ses inconvénients et avantages. La liaison par résistances a le défaut de la grande chute de tension continue qui se produit dans la résistance R_1 (fig. 55). Ainsi, il ne reste plus sur l'anode qu'une partie plus ou moins faible de la tension totale de la source. Par contre, la résistance en courant continu d'une inductance peut être assez réduite, et, par conséquent, la perte de tension y sera faible. Mais, d'autre part, la liaison par inductance a le défaut de ne pas amplifier dans la même mesure toutes les fréquences musicales.

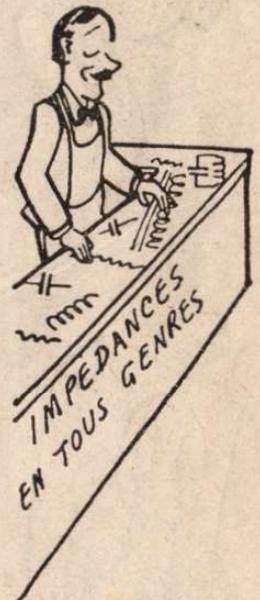
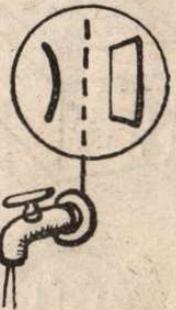
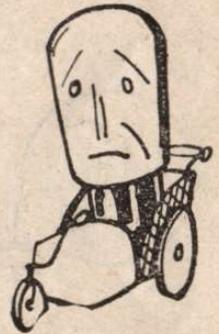
IG. — Comment cela?

CUR. — Vous n'ignorez pas que l'inductance d'un enroulement dépend de la fréquence du courant. Ainsi, pour les fréquences plus élevées, correspondant aux notes aiguës, l'inductance sera, elle aussi, plus élevée. Les tensions alternatives développées sur l'inductance seront donc plus fortes. Résultat : les notes aiguës seront amplifiées davantage.

IG. — Tandis que la résistance simple donnera l'amplification égale de toutes les fréquences. N'est-ce pas?

CUR. — Bien entendu. Il reste, enfin, encore une impédance souvent utilisée dans les circuits de liaison.

IG. — La capacitance?



CUR. — Non, mon ami. On ne peut pas insérer dans le circuit de plaque un condensateur tout seul, car la plaque ne pourra alors recevoir aucune tension continue.

IG. — Dans ce cas je ne sais pas de quelle impédance vous voulez parler et je donne ma langue au chat.

CUR. — Je vous rappelle que le circuit oscillant constitue, lui aussi, une impédance d'un ordre particulier : il n'oppose une grande résistance qu'au passage du courant sur la fréquence duquel il est accordé.

IG. — Je n'y songeais plus. On peut donc réaliser un circuit de liaison en utilisant comme impédance un circuit oscillant LC' (fig. 57). Evidemment, une telle liaison n'a de raison d'être que pour l'amplification à haute fréquence?

CUR. — Certes. Et vous voyez que c'est essentiellement un circuit de liaison sélectif, car seuls les courants de la fréquence d'accord du circuit oscillant développeront à ses extrémités des tensions alternatives qui, à travers le condensateur de liaison C, seront transmises à la grille de la deuxième lampe.

Un cas particulier.

IG. — Je crois avoir bien compris les différentes méthodes de liaison que vous m'avez expliquées, Curiosus. Cependant, j'ai peur de ne pas pouvoir les appliquer au cas de la détectrice diode où je ne distingue pas très bien l'entrée et la sortie.

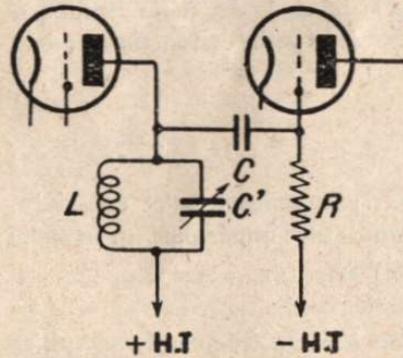
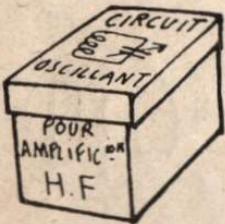
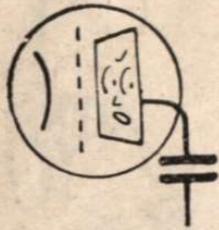


FIG. 57.

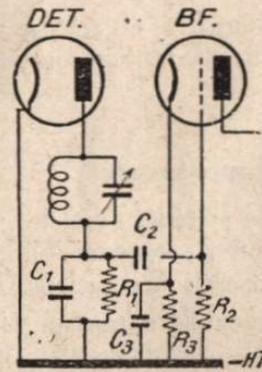


FIG. 58.

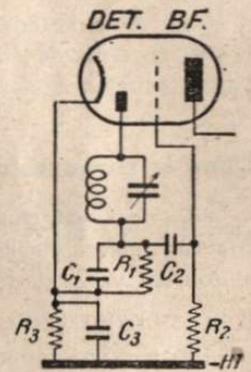


FIG. 59.

FIG. 57. — Liaison par circuit oscillant LC' avec condensateur de liaison C et résistance de fuite R.

FIG. 58. — Liaison entre diode et triode B.F. Les tensions développées dans C_1 , R_1 sont transmises à travers C_2 à la grille B.F. avec sa résistance de fuite R_2 . C_3 et R_3 assurent la polarisation de la lampe B.F.

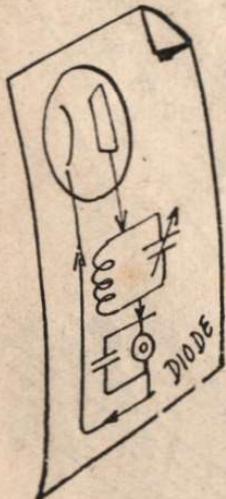
FIG. 59. — Les deux lampes de la fig. 58 sont réunies en une diode-triode. Le schéma demeure le même comme on constate en comparant les figures dont les éléments sont désignés par les mêmes lettres.

CUR. — C'est, en effet, un cas un peu spécial. Mais la solution est on ne peut plus simple. Vous vous souvenez que, grâce à la conductibilité unilatérale de la diode, nous obtenons dans le circuit cathode-anode des impulsions unilatérales qui sont accumulées par un petit condensateur, en sorte que l'écouteur est traversé par un courant de basse fréquence.

IG. — Oui, mais, puisqu'il s'agit d'amplifier ce courant, il n'y aura plus d'écouteur immédiatement après la diode.

CUR. — Bien entendu. A la place de l'écouteur, nous disposerons une résistance R_1 , tout en conservant le condensateur-réservoir C_1 (fig. 58). Le courant de basse fréquence qui traversera R_1 , développera aux extrémités de cette résistance une tension alternative que nous appliquerons, à travers le condensateur de liaison C_2 à la grille de la première lampe de basse fréquence.

IG. — Et la résistance R_2 ?...



CUR. — C'est la classique résistance de fuite que vous avez eu tort de ne pas identifier instantanément.

IG. — Par contre, je reconnais parfaitement en R_3 la résistance de polarisation de la lampe de basse fréquence.

CUR. — A la bonne heure !... Maintenant, je vous ferai remarquer que, fréquemment, à la place d'une lampe diode autonome et d'une amplificatrice à basse fréquence on utilise une lampe combinée, *diode-triode*, qui, sous la même ampoule, contient les deux systèmes d'électrodes. La simplification va, d'ailleurs, plus loin, puisque la diode et la triode utilisent une cathode commune.

IG. — Cette lampe permet donc de réaliser une économie d'encombrement et de courant de chauffage ! C'est une lampe-type pour notre époque de crise...

CUR. — Le montage utilisant la diode-triode (fig. 59) est absolument identique à celui de la diode avec la triode séparées. Vous remarquerez que la présence de la résistance R_3 permet de polariser négativement la grille, en rendant la cathode positive par rapport au pôle négatif de la haute tension. Mais l'anode de la diode se trouve, en l'absence d'oscillations, au même potentiel que la cathode, car le courant de la diode, après avoir traversé R_1 , revient directement à la cathode.

Une idée d'Ignotus.

IG. — Il me vient une idée...

CUR. — Je m'en méfie généralement ! Mais dites toujours.

IG. — Je me demande si l'on ne peut pas pousser la simplification encore plus loin en confondant tout bonnement l'anode de la diode avec la grille de la triode. Les tensions de haute fréquence appliquées ainsi entre la grille et la cathode (fig. 60) seront redressées par le procédé normal de la détection diode, la grille jouant en l'occurrence le rôle de l'anode de la diode. Les tensions de basse fréquence qui se trouveront, en conséquence, développées aux extrémités de la résistance R_1 (grâce à l'action accumulative du condensateur C_1), seront alors appliquées entre cette même grille et la cathode. La lampe fonctionnera donc en amplificatrice de basse fréquence... Pourquoi riez-vous Curiosus ? Ai-je encore dit des bêtises ?

CUR. — Bien au contraire ! Ce qui m'amuse, c'est que vous, Ignotus, venez de redécouvrir et d'expliquer très clairement un procédé jadis très usité que l'on appelait « détection par la grille ». Comme vous l'avez si bien dit, il ne s'agit pas d'une méthode de détection spéciale, mais de la détection diode combinée avec l'amplification à basse fréquence, en faisant jouer à la même électrode les rôles de l'anode de la diode et de la grille de la triode. Or, ce point de vue, cependant très logique, a échappé à tous les techniciens qui, pour expliquer cette fameuse « détection par la grille », se lançaient dans des élucubrations aussi complexes que parfaitement obscures.

IG. — Toujours à votre disposition pour éclaircir ainsi tous les problèmes de la radioélectricité.

CUR. — Ne devenez pas insolent, mon cher Ignotus, sinon je ne vous montrerai pas le véritable schéma de la « détection par la grille ».

IG. — Ce n'est donc pas le mien ?

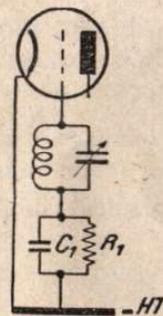
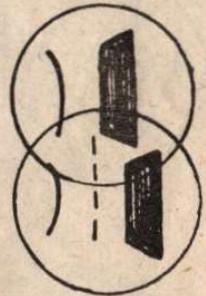


FIG. 60. — La soi-disant « détection par la grille ».

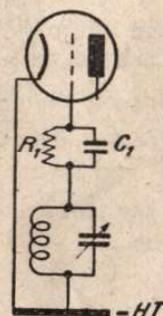


FIG. 61. — Modification du schéma de la fig. 60.

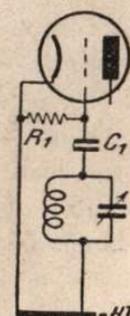


FIG. 62. — Variante du schéma de la fig. 61.



TREIZIÈME CAUSERIE

La réaction, qui faisait jadis les délices des premiers amateurs de la radio et qui continue à se manifester (sans qu'on le veuille) dans les récepteurs modernes, fait les frais de cette causerie. Dès différentes méthodes proposées pour son réglage, Curiosus n'explique que les principales... Ignotus a, enfin, la joie de faire la connaissance des lampes à plus de trois électrodes : les lampes à grille-écran et les trigrilles ou penthodes. Voulez-vous le suivre dans cette voie?

Propos réactionnaires.

IG. — Vous me faites subir un véritable régime de douche écossaise, Curiosus. Tantôt vous me chantez des louanges, tantôt votre ironie brise les plus beaux élans de ma pensée créatrice de radioélectricien...

CUR. — Soyez moins pathétique, Ignotus, et dites-moi en quoi je me suis montré injuste à votre égard.

IG. — La dernière fois, j'ai esquissé, non sans peine, le schéma d'un excellent récepteur. Après l'avoir analysé et m'en avoir fait des compliments, vous me déclarez froidement que « en raison de choses que l'on ne voit pas sur papier, mais qui n'en existent pas moins, ce récepteur ne fonctionnera pas ». C'est nébuleux... et vexant.

CUR. — Rassurez-vous, ami. Je voulais seulement mentionner les couplages parasites qui ne manqueraient pas de perturber le fonctionnement de votre montage. Il s'agit surtout des couplages entre les circuits de grille et de plaque de chaque lampe.

IG. — Quels sont la nature et les effets de ces pernicious couplages?

CUR. — Pour vous l'expliquer, revenons un moment en arrière au schéma de l'hétérodyne (fig. 63). Dans celle-ci, la bobine L' du circuit de plaque est couplée avec la bobine L faisant partie du circuit oscillant de grille. Vous souvenez-vous de ce qui résulte d'un tel couplage?

IG. — Bien entendu : des oscillations prennent naissance dans les circuits de grille et de plaque, et notre hétérodyne constitue un véritable petit émetteur.

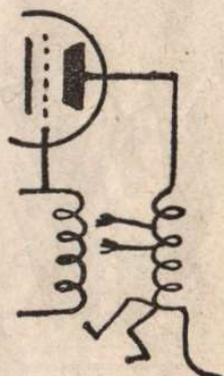
CUR. — C'est exact, du moins si le degré du couplage entre les deux bobines est suffisamment élevé. Si le couplage est faible, il n'y aura pas d'oscillations, mais le cas n'en sera pas moins intéressant, car nous aurons toujours une action inductive du circuit de plaque sur le circuit de grille, action du circuit de sortie sur celui d'entrée, que l'on appelle *réaction*.

IG. — C'est en somme le symbole de sagesse des antiques : le serpent qui se mord la queue?

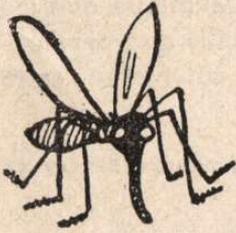
CUR. — Si vous voulez... Admettez qu'une telle lampe (fig. 63) avec réaction soit utilisée comme lampe amplificatrice dans un récepteur. Nous avons donc dans le circuit LC des tensions à amplifier et, dans la bobine L' des courants amplifiés. Mais ces courants amplifiés induiront dans la bobine de grille L des nouvelles tensions. Si la « bobine de réaction » L' est convenablement disposée par rapport à L , les tensions induites par L' dans L viendront renforcer les tensions qui y étaient primitivement produites.

IG. — Ainsi, la réaction de L' sur L , si j'ai bien compris, renforce les oscillations dans L . Mais, dans ce cas, ces oscillations renforcées seront, à leur tour, amplifiées par la lampe et donneront lieu, dans la bobine de réaction L' , à un courant encore plus fort. Ce courant, par induction, renforce encore davantage les oscillations dans L et ainsi de suite. L'amplification croîtra donc indéfiniment ! ? !

CUR. — Doucement, mon cher. Lorsque les oscillations se renforcent dans le circuit de grille, les pertes du courant (par l'effet de la résistance et aussi pour d'autres raisons) y augmentent également et finissent par équilibrer l'apport de l'énergie du circuit de



plaque. Néanmoins, le gain obtenu grâce à la réaction est très appréciable, surtout lorsque le couplage est suffisamment grand pour que les circuits soient à la limite de la naissance des oscillations hétérodynées.



Comment doser la réaction.

IG. — La réaction me fait penser aux piqûres des moustiques.

CUR. — Je vous avoue ne pas très bien saisir le rapport...

IG. — C'est pourtant clair. Quand vous êtes piqué par un moustique, vous frottez l'endroit piqué pour calmer la démangeaison. Celle-ci, bien entendu, ne fait qu'en augmenter. Vous vous grattez alors avec plus d'acharnement, et cela vous démange davantage... Alors, enragé, vous perdez toute prudence... et cela finit par une effusion de sang... De même, la faible oscillation du circuit de grille est, par induction, renforcée

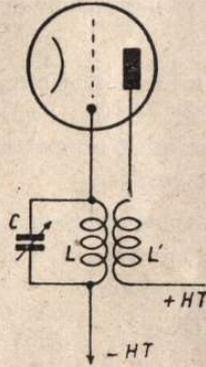
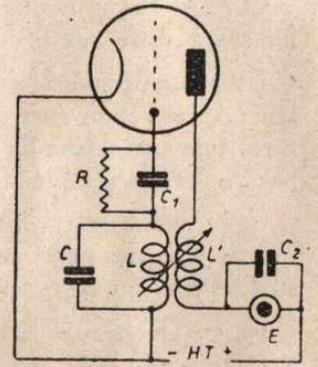


FIG. 63 (à gauche). — Schéma de l'hétérodyne. — L, bobine de grille; L', bobine de plaque.

FIG. 64 (à droite). — Détectrice à réaction réglable par variation du couplage entre L et L'.



par le courant amplifié de plaque. Elle produit alors, dans le circuit de plaque, un courant plus fort. Celui-ci excite davantage le circuit de grille, etc., mais, par contre, cela finit sans effusion de sang, car les pertes dans le circuit de grille jouent ce rôle modérateur, que notre raison aurait dû jouer quand un moustique nous a piqués.

CUR. — Voulez-vous que des moustiques nous revenions à nos moutons... Je vous ai donc dit que l'effet de la réaction est le plus efficace lorsque le couplage entre les circuits de plaque et de grille maintient la lampe au seuil de la naissance des oscillations sans toutefois le dépasser.

IG. — Il me semble que c'est très facile à obtenir. Il faut simplement disposer une fois pour toutes les deux bobines L et L' à une distance assurant le couplage le plus serré que la lampe supporte sans entrer en oscillation.

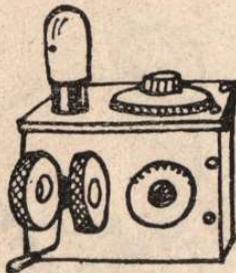
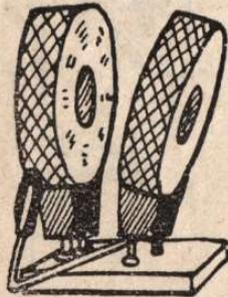
CUR. — Eh bien, ce couplage, qui sera parfait pour une émission, ne le sera plus pour les autres. Car, vous l'avez oublié, Ignotus, l'action de l'induction varie suivant la fréquence du courant et augmente avec elle. Ainsi la réaction qui sera optimum pour une émission donnée, sera trop énergique pour une émission de fréquence supérieure et pas assez forte pour une émission de fréquence inférieure.

IG. — Alors ça devient bougrement compliqué, et je ne vois pas le moyen d'arranger les choses.

CUR. — Il est cependant fort simple : il suffit de rendre le couplage des deux circuits variable, par exemple en rendant la bobine de plaque L' mobile par rapport à la bobine de grille L. Voici le schéma (fig. 64) de la détectrice à réaction qui faisait la joie de tous les amateurs, il y a plus de dix ans. C'est une lampe montée en détectrice dite « par la grille » comprenant dans son circuit de plaque une bobine L' mobile par rapport à la bobine de grille L (comme l'indique la flèche traversant ces deux bobines).

IG. — Je ne pense pas que ce soit très commode de déplacer ainsi la bobine.

CUR. — C'était pourtant un sport passionnant. Mais, bien entendu, on a trouvé



des moyens plus pratiques pour le réglage de la réaction. C'est ainsi que l'on jugea fort opportun de la régler à l'aide d'un condensateur variable.

IG. — J'avoue ne pas entrevoir en quoi consiste cette possibilité.

Le condensateur robinet.

CUR. — Voyez-vous, ami, le courant de plaque d'une détectrice dite « par la grille » se compose de trois choses bien différentes. Il y a tout d'abord le courant permanent, celui qui passe par la lampe au repos. Ensuite, nous y trouvons la composante de basse fréquence, c'est-à-dire l'ondulation qui résulte de la détection. Enfin, il y a également la composante de haute fréquence constituée par des impulsions unilatérales de courant dont l'accumulation donne précisément lieu au courant de basse fréquence. C'est cette composante de haute fréquence qui, seule, produit l'effet de réaction. Nous allons donc la séparer des deux autres composantes...

IG. — Par quel moyen ?

CUR. — Voici le schéma (fig. 65). Nous faisons bifurquer le courant de plaque sur deux voies différentes. Celle marquée H. F. comprend un condensateur de faible capacité. Ni le courant continu, ni la composante de basse fréquence ne pourront le traverser.

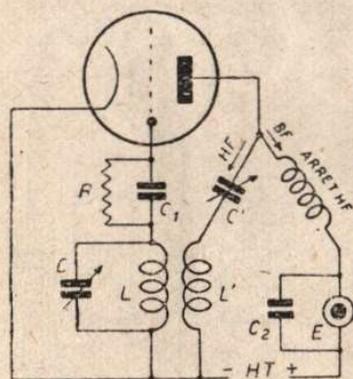
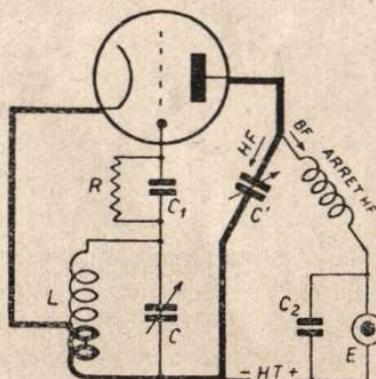


FIG. 65 (à gauche). — Réglage de la réaction à l'aide du condensateur variable C' .

FIG. 66 (à droite). — Montage dit Hartley. Le trajet de la haute fréquence est marqué en gros trait.



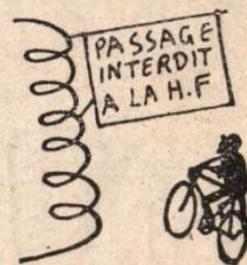
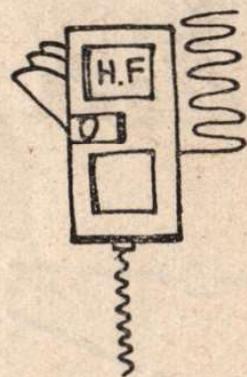
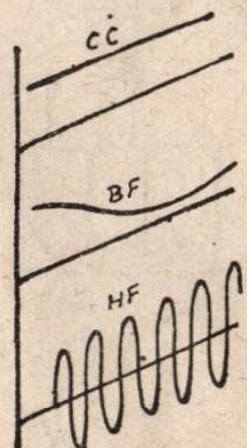
Seule la composante de haute fréquence pourra emprunter ce chemin qu'elle suivra plus ou moins facilement suivant la capacité du condensateur C' .

IG. — Ça y est ! J'ai compris ! Le condensateur C' est variable et, pour la haute fréquence, il constitue un véritable robinet qui peut être plus ou moins ouvert ou fermé. Nous réglons donc, à l'aide de ce condensateur, l'admission de la haute fréquence dans la bobine L' et, par conséquent, dosons ainsi l'effet de la réaction. Mais pourquoi la composante de haute fréquence n'emprunterait pas, avec la même facilité le deuxième chemin que vous avez désigné B. F. ?

CUR. — Parce que là nous avons placé une bobine d'arrêt, c'est-à-dire un enroulement de self-induction élevée. Cette bobine, comme vous le savez, offre au courant une résistance inductive d'autant plus élevée que la fréquence du courant est plus haute. Alors que le courant continu et la composante de basse fréquence passeront aisément à travers la bobine d'arrêt, pour la haute fréquence elle constituera un obstacle infranchissable.

IG. — Bien ingénieux cette nouvelle application du vieux principe *divide ut regne*.

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. 66), la même bobine L sert à l'accord du circuit de grille et à la réaction. Munie d'une prise médiane, dans sa totalité elle forme, avec le condensateur variable C , 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 puisse 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, elles viennent alors aussi dangereuses que la réaction faite exprès et réglable est utile.

IG. — J'avoue ne pas déceler 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 « accrochage spontané ». La lampe, au lieu de fonctionner en amplificatrice, devient alors émettrice, ce qui n'est pas

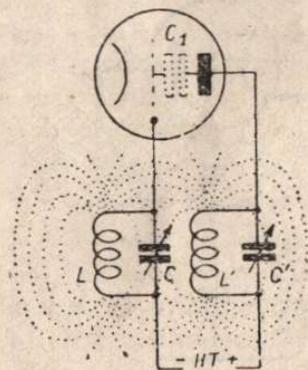
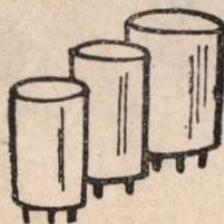
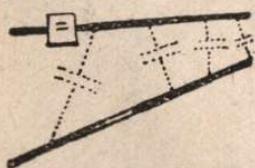
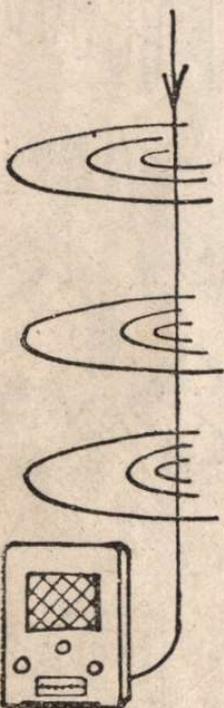
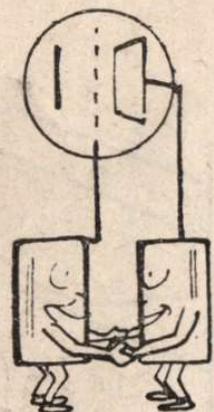
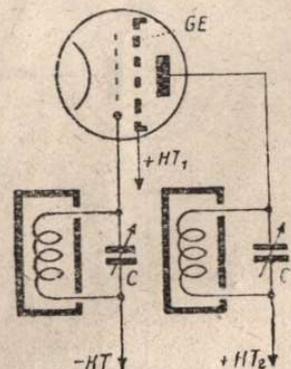


FIG. 67 (à gauche). — Couplages parasites par induction (champs magnétiques des bobinages en pointillé) et par capacité C_1 entre grille et plaque.

FIG. 68 (à droite). — Suppression des couplages par blindage des bobines et par la grille-écran.



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. 67). Les bobinages L et L', bien qu'éloignés, se trouvent l'un 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 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 cette très petite capacité que forment, à la manière d'armatures de condensateur, la grille et la plaque d'une lampe (C_1 dans la figure 67). 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 détruire 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. 68) 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, 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 porteront à un potentiel positif 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 la plaque. 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 »).

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

CUR. — Pas tant que cela, mon ami. Elle 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...

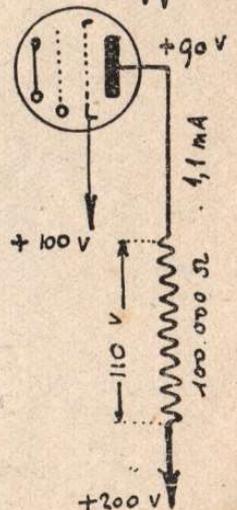
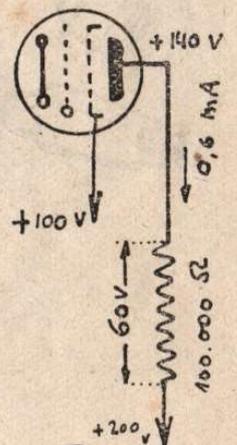
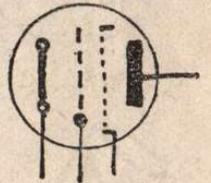
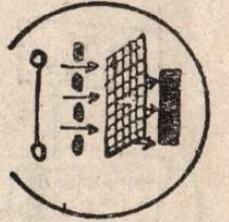
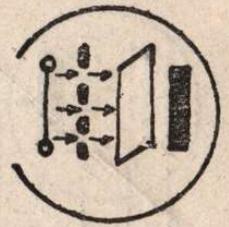
IG. — Attendez, Curiosus, un exemple numérique me ferait du bien.

CUR. — En voici un. Supposez que la source de haute tension vous donne 200 volts. Cette tension est appliquée entre la cathode (je néglige la polarisation) et l'impédance de plaque. Supposez, pour simplifier, que celle-ci soit représentée par une résistance de 100.000 ohms et que le courant de plaque 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 oscillera entre 190 et 90 volts. Vous voyez donc que, par instant, 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 des 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 la plaque à la grille-écran ? Et la plaque jouera, par rapport à la grille-écran, le rôle d'une 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.

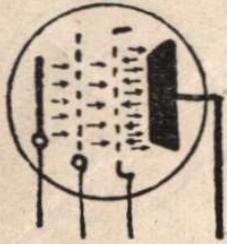
CUR. — Ce n'est pas difficile. Pour supprimer l'émission secondaire, nous interposerons entre la plaque et la grille-écran, une troisième grille (la grille *supprimeur*) à mailles très lâches qui sera portée au potentiel de la cathode (souvent elle y est reliée à l'intérieur même de la lampe). Cette 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 *penthode*.

CUR. — C'est exact. Vous voyez donc que la penthode est un perfectionnement de la tétrode et qu'elle a été créée pour éliminer les effets néfastes de l'émission secondaire. Voici comment (fig. 69) est monté un étage d'amplification avec penthode. Les résistances R_2 et R_3 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'égareront dans ses mailles.

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

CUR. — Vain espoir, *Ionotus* !



SENS
UNIQUE

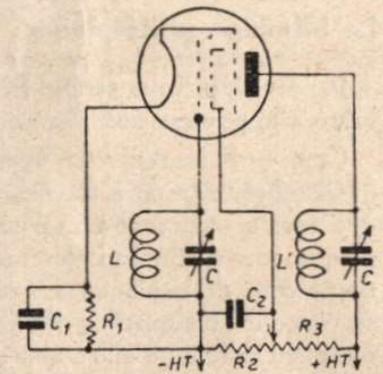
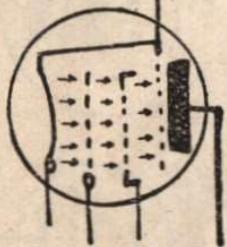


FIG. 69. — Montage d'une penthode. — R_1 et C_1 , polarisation ; R_2 , R_3 et C_2 , tension de la grille-écran.



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. 70), 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 lampes V_1 , V_2 et V_3 respectivement. Les circuits de grille et des grilles-écrans 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,

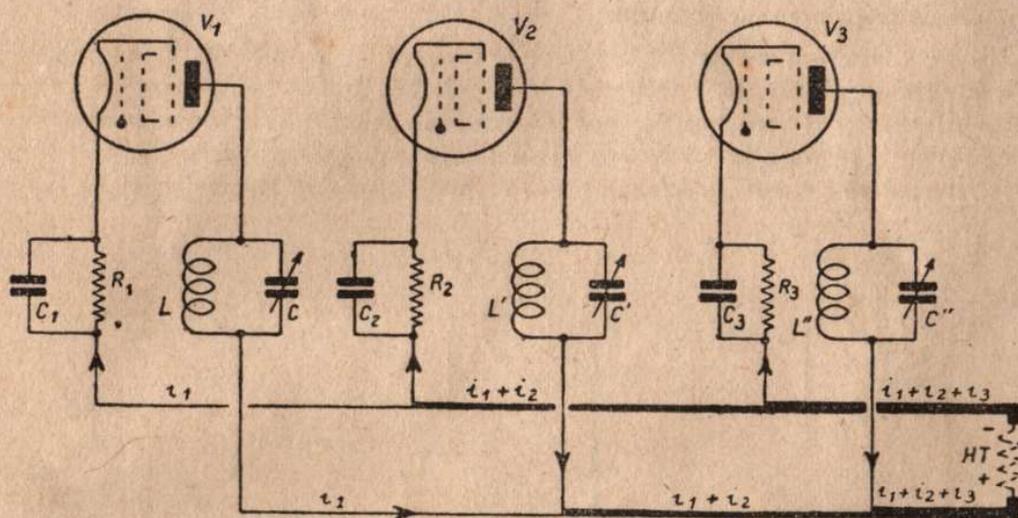
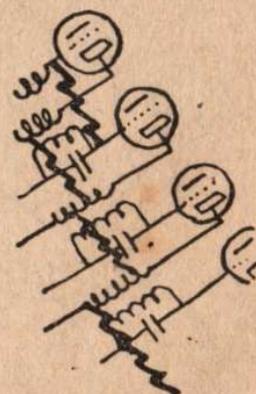
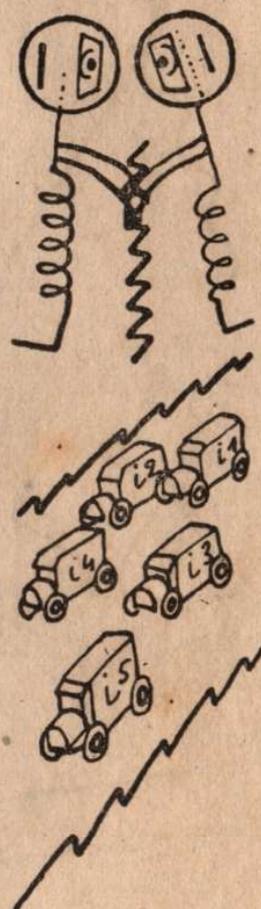


FIG. 70. — Dans ce montage, les courants de plaque de différentes lampes empruntent des trajets communs.

par des connexions marquées i_1 , par la source HT du courant de plaque et, par d'autres connexions marquées i_1 , 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 constantes des courants sont elles-mêmes 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 com-



munes 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_2 et de V_3 . 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 lampes. Cela doit donner sans doute 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 contraire aux oscillations de la lampe même), ou, souvent, 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 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 des connexions et la source HT communes.

Le triomphe de l'individualisme.

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

CUR. — C'est ce que l'on fait. Dès que le courant de plaque total i_1 est passé par l'impédance de plaque, en l'occurrence le circuit LC (fig. 71), on sépare ses composantes alternative et continue par une bifurcation analogue à celle que vous avez vu 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

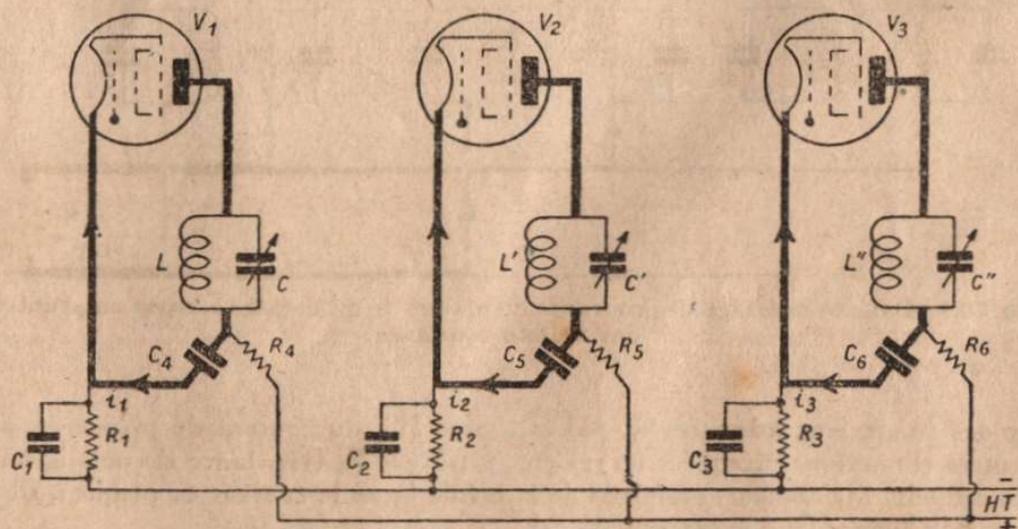


FIG. 71. — Ici, grâce au découplage, la composante alternative du courant de chaque lampe parcourt un chemin individuel marqué en gros trait.

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) propre à chaque lampe. Nulle part, la composante alternative d'une lampe 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. 72) 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 71.

IG. — Pas tout à fait, me semble-t-il. Dans la figure 71, les condensateurs de découplage C_4 , C_5 et C_6 reviennent directement aux cathodes des lampes correspondantes. Or, dans la fig. 72, 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 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

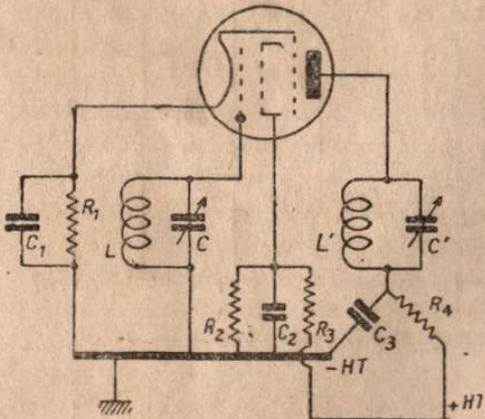
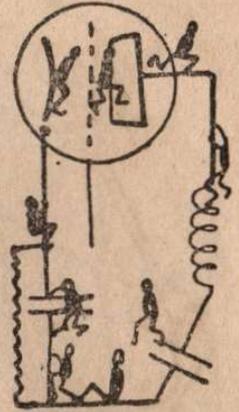


FIG. 72. — Montage découplé d'une pentode.

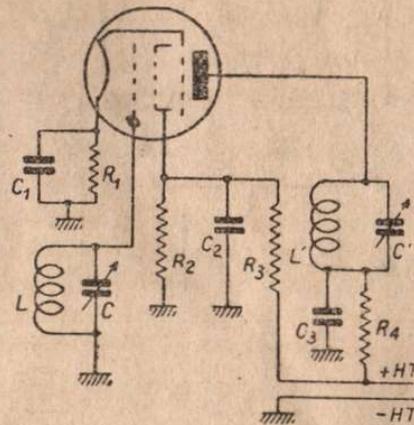


FIG. 73. — Même schéma que fig. 72 dessiné avec symbole « masse ».

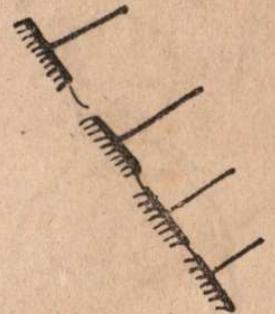
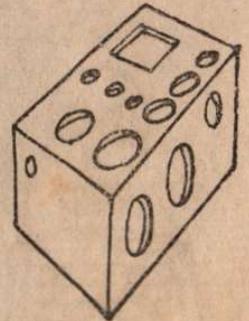
remarqué, sans doute, que nombre de connexions d'un récepteur aboutissent au pôle négatif de la haute tension. Afin d'avoir ce pôle négatif à la plus courte distance possible des différents éléments qui y sont reliés, on établit une connexion commune de — HT en fil très fort qui parcourt tout le récepteur. Ou, ce qui est plus fréquent, 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.

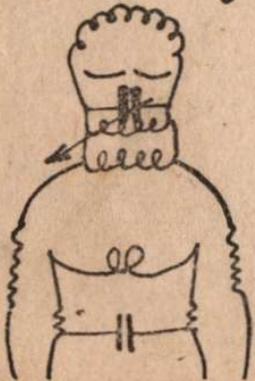
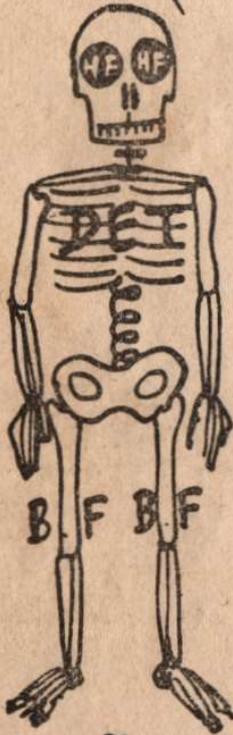
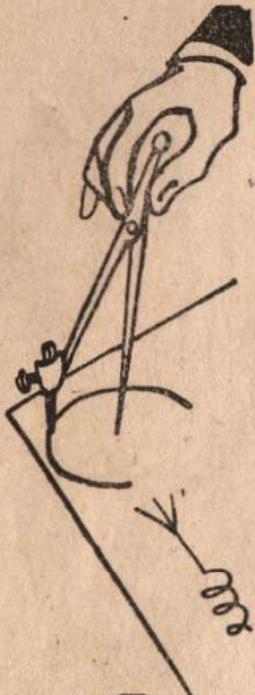
IG. — En somme, si j'ai bien compris, il est plus facile de connecter les condensateurs de découplage à la masse du châssis, que de conduire une connexion jusqu'à la cathode.

Du « schéma-squelette » au schéma complet.

CUR. — C'est bien cela. Ignote. 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 fig. 72 sera dessinée comme le schéma de la fig. 73. 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 d'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 de haute fréquence de penthodes.

CUR. — Comme vous pouvez le constater (fig. 74), je vais même plus loin, en utilisant également une penthode en premier étage de basse fréquence. Les penthodes sont, aujourd'hui, volontiers utilisées dans ce rôle, en raison de l'amplification très élevée qu'elles procurent. Vous voyez que, dans ce schéma, ne figurent que les circuits essentiels de liaison entre les lampes. Quant aux éléments de découplage,

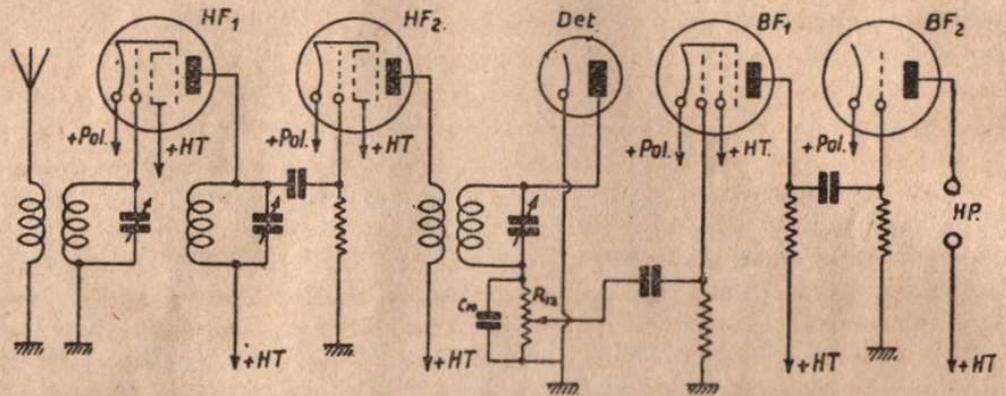


FIG. 74. — « Schéma-squelette » du récepteur à deux étages H. F.

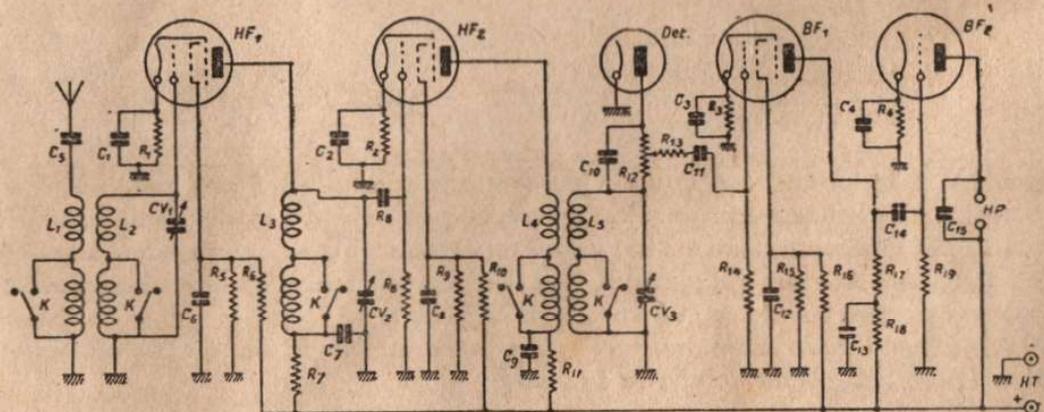


FIG. 75. — Schéma définitif du récepteur. La résistance R_{13} a pour but de barrer le chemin à la composante H. F. dont une trace demeure après détection.

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. 75) 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-écran R_5 et R_6 , R_9 et R_{10} , R_{15} et R_{16} ; les résistances de découplage R_7 , R_{11} et R_{18} ...

Il y a ondes et ondes...

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 divisés en deux parties.

CUR. — En effet. Chacun de ces bobinages se compose de deux parties. Toutes les parties inférieures peuvent être mises simultanément en court-circuit à l'aide des interrupteurs K . Cette manœuvre s'accomplit, d'ailleurs, simultanément par un seul bouton de commande, les interrupteurs étant disposés sur un seul axe et formant ainsi un commutateur.

IG. — Heureusement ! Sinon, pour régler vite un tel récepteur, il aurait fallu, tel une araignée, avoir plusieurs paires de bras...

CUR. — Quand les interrupteurs sont fermés, seules les parties supérieures des bobinages demeurent dans les circuits. Avec ces bobinages, la rotation complète des condensateurs variables permet d'accorder les circuits sur des longueurs d'onde allant de 200 à 550 mètres (ou, plus exactement, sur les fréquences correspondantes). C'est ce que nous appelons « gamme des petites ondes » (ou, en abrégé, P. O.). Mais, en Europe, les longueurs d'onde des émetteurs de radiodiffusion sont réparties en deux « bandes » ou « gammes ». En effet, en plus des émetteurs dont les longueurs d'onde sont comprises dans la gamme des P. O., plusieurs émetteurs fonctionnent sur des longueurs d'onde comprises entre 1.000 et 2.000 mètres qui constituent la « gamme des grandes ondes » (G. O.). Pour recevoir les G. O., on augmente la self-induction des circuits à l'aide de bobinages additionnels que l'on place en série avec les bobinages servant à la réception des P. O. Sur notre schéma, les bobinages supplémentaires sont placés au-dessous des bobinages pour P. O. et, à l'aide du commutateur k , ils sont mis en court-circuit (soit, pratiquement, éliminés) lors de la réception des P. O. Pour la réception des G. O., le commutateur k s'ouvre et la self-induction de tous les circuits augmente en conséquence, puisque, dès lors, elle se compose de deux enroulements mis en série.

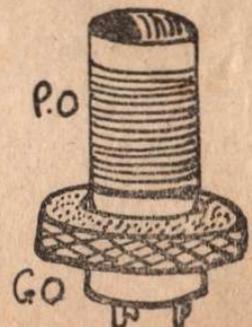
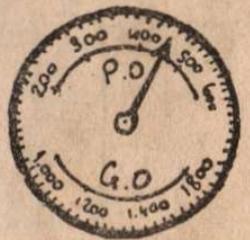
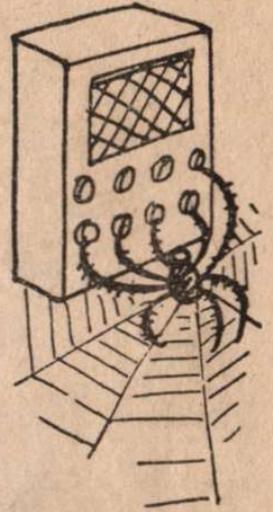
IG. — Heureusement qu'il n'y a que deux gammes, sinon cela deviendrait bougrement compliqué.

CUR. — Mais, Ignotus, je ne vous ai pas encore dit qu'il y a également des émetteurs fonctionnant sur des longueurs d'onde inférieures à 200 mètres. Ce sont les ondes courtes (O. C.). Certains émetteurs, surtout utilisés en télévision, fonctionnent même sur des longueurs d'onde au-dessous de 10 mètres, c'est-à-dire sur ondes ultra-courtes (O. U. C.). Pour recevoir toutes les gammes, ou, du moins, les O. C., les P. O. et les G. O., il faut disposer de plusieurs valeurs de self-induction. Ainsi, pour parcourir sans interruption l'intervalle allant de 12 à 2.000 mètres avec un condensateur variable de $0,0005 \mu F$, il faut disposer de 5 valeurs croissantes de self-induction.

IG. — Je pense que la commutation devient alors diablement compliquée.

CUR. — Pas tant que cela. Un commutateur à cinq positions, qui n'est qu'une extension de celui que nous avons étudié, permet d'assurer de la même façon (fig. 76a) la mise en série successive de cinq enroulements. On peut également (fig. 76b) utiliser pour chaque gamme un enroulement indépendant, en laissant alors les autres inutilisés. Actuellement, certains récepteurs sont destinés à la réception des P. O. et G. O. seulement. D'autres reçoivent également une ou plusieurs gammes des O. C. On les appelle « récepteur toutes ondes ».

IG. — Je regarde à nouveau le schéma du récepteur (fig. 75) 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

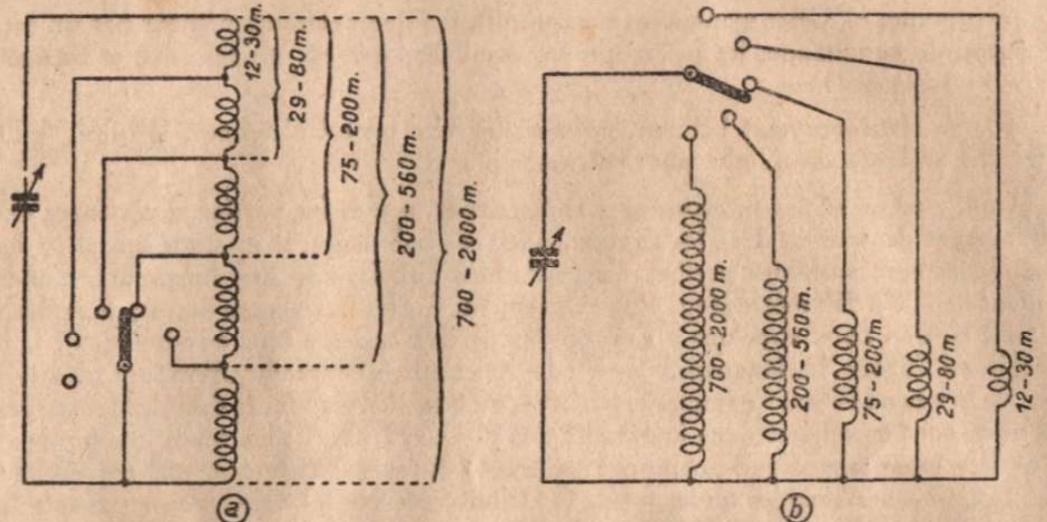
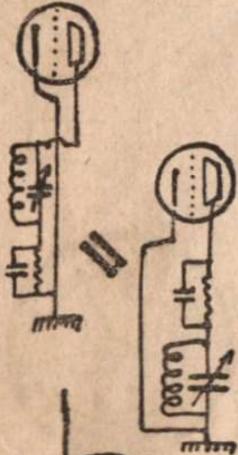
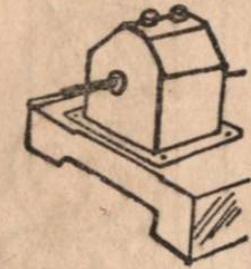


FIG. 76. — Deux méthodes de commutation pour 5 gammes d'ondes : a, commutation série ; b, commutation à bobinages indépendants.

donc séparer CV_2 de L_3 au point de vue tension continu, 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_{12} et C_{10} qui, dans le schéma-squelette se trouvaient entre le circuit L_5CV_3 et la masse, sont maintenant placés entre ce circuit et l'anode de la diode. Je pense que vous l'avez fait dans le même but de laisser les armatures de CV_3 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.

IG. — Dites encore, pourquoi cette flèche qui s'appuie sur la résistance de détection R_{12} ?

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

IG. — Serait-ce 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 sur le schéma 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_{12} , 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_{12} dont le curseur intercepte une partie plus ou moins grande de la tension développée. Ainsi R_{12} 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.

QUINZIÈME CAUSERIE

Jusqu'à présent, Curiosus 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 composition. 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 pour l'alimentation des récepteurs. Celle-ci est assurée par le courant du secteur. Comme disent les annonces, « une prise de courant — et c'est tout ». Mais 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 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 ».

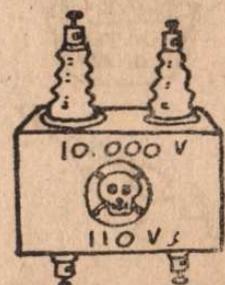
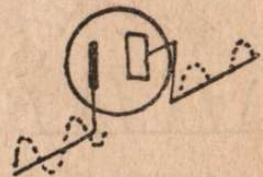
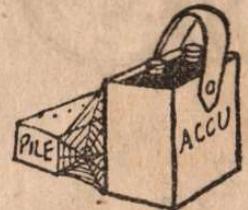
IG. — Il suffit donc, en somme, de disposer une telle valve sur le trajet du courant du secteur pour lui imposer un sens unique, car les électrons ne peuvent aller que de la cathode à l'anode et non inversement.

CUR. — C'est bien cela. Cette valve (fig. 77) 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 lampes, 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 les mêmes nombres des spires dans les enroulements primaire et secondaire. Si vous appliquez 110 volts au primaire, quelle tension apparaîtra aux extrémités du secondaire ?

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

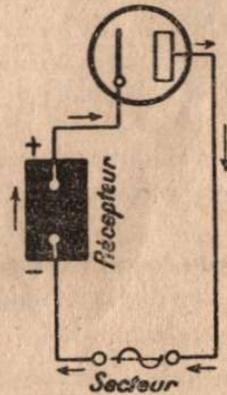
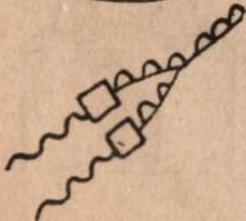
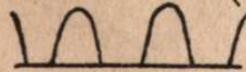
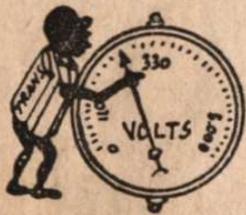
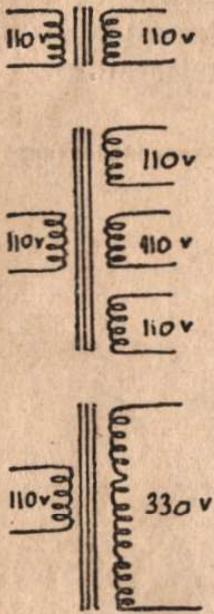


FIG. 78. — Schéma du redresseur le plus simple.

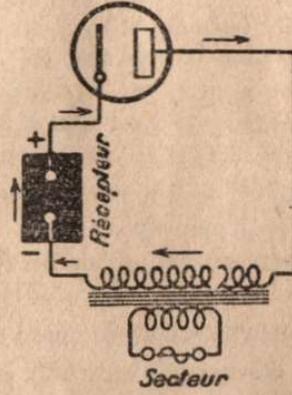


FIG. 79. — Redresseur avec transformateur élevant la tension.

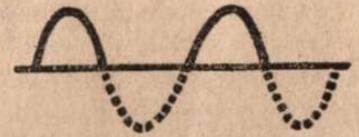


FIG. 80. — En trait plein, forme du courant redressé par les dispositifs des fig. 78 et 79. — En pointillé, alternances arrêtées par la valve et non utilisées.

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. 79). Nous choisirons le rapport des nombres des spires (ou *rapport de transformation*) suivant la tension que nous voulons obtenir.

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. 80). 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 ?

L'art d'utiliser les alternances de rebut.

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 79. En les disposant côte à côte (fig. 81), nous voyons que, dans les deux, le courant parcourt le récepteur dans le même sens. Nous pouvons donc alimenter ainsi un seul récepteur (fig. 82). Chacune des valves redressera l'une des deux alternances. Vous pourrez d'ailleurs facilement suivre le chemin du courant pour chaque alternance.

16. — 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 V_2 leur est interdit. Lors de l'alternance suivante, allant dans les secondaires de droite à gauche, ils se heurteront,

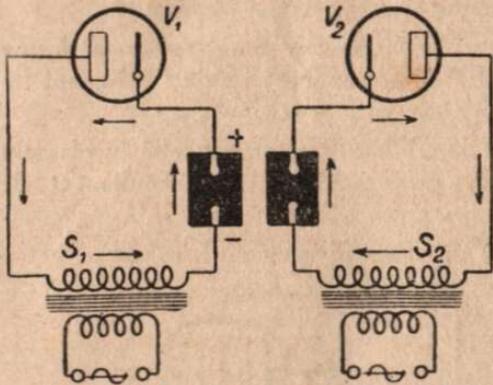


FIG. 81. — Ces deux redresseurs sont identiques à celui de la figure 79, chacun redresse une alternance.

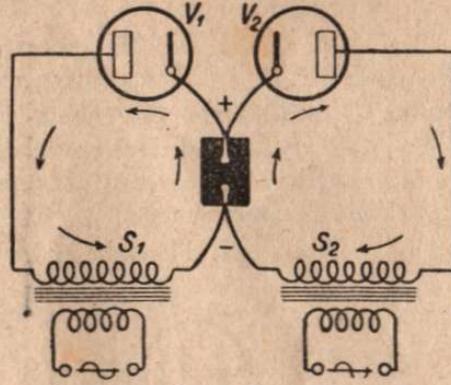


FIG. 82. — Les deux redresseurs de la figure 81 alimentent le même récepteur en redressant les deux alternances.

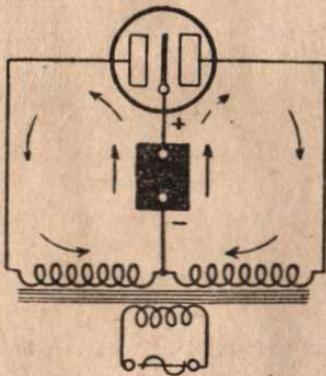


FIG. 83. — On peut remplacer les deux valves de la figure 82 par une seule valve biplaque.

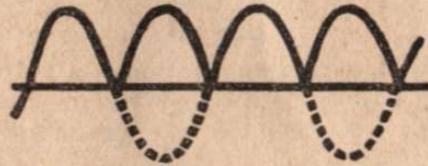
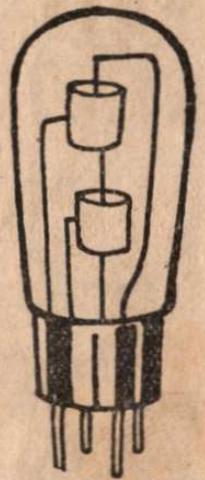


FIG. 84. — En trait plein, forme du courant obtenu par le redressement des deux alternances. — En pointillé, alternance arrêtée par une plaque, mais redressée par l'autre.



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 traversent le récepteur dans le même sens.

CUR. — Vous voyez donc que nous utilisons les deux alternances du courant (fig. 84). 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 83.

Problèmes d'équilibre.

16. — 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 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 le plus souvent à chauffage direct : c'est le filament lui-même qui sert de cathode émettrice d'électrons.

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

CUR. — Bien entendu. Ainsi, pratiquement, nos dispositifs de redressement à une alternance (fig. 79) ou à deux alternances (fig. 83) se présentent comme l'indiquent les figures 85 et 86 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 direct avait le même potentiel

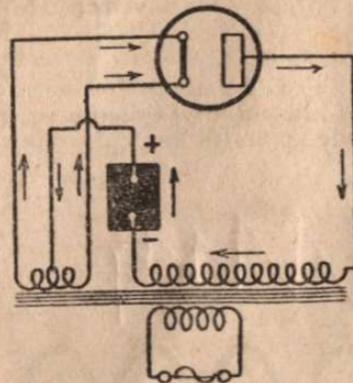
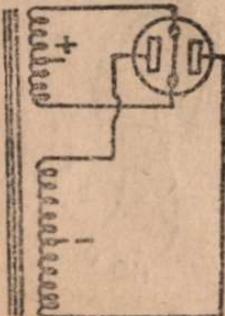
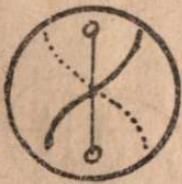


FIG. 85. — Schéma pratique du redresseur de la figure 79.

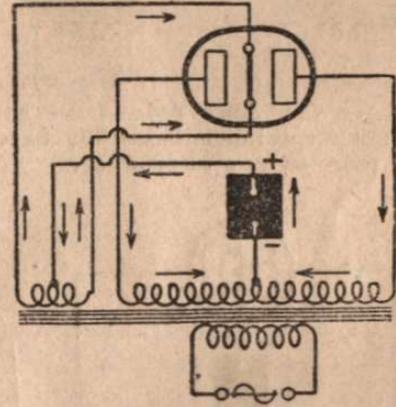


FIG. 86. — Schéma pratique du redresseur de la figure 83.

LES FLÈCHES INDIQUENT LE SENS DU COURANT REDRESSÉ.

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 $+2$ et -2 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.

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 former des objections... Mais, dis-je, le courant que fournit le redresseur (fig. 80 ou 84) 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 cru 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 cru 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 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 placerons-nous une bobine à noyau de fer (ne sommes-nous pas en très basse fréquence ?) de self-induction élevée.

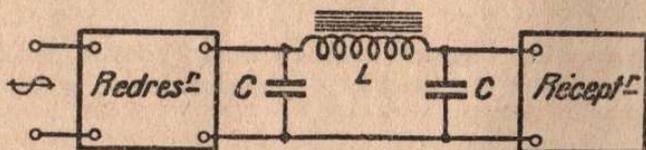
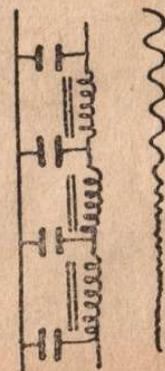
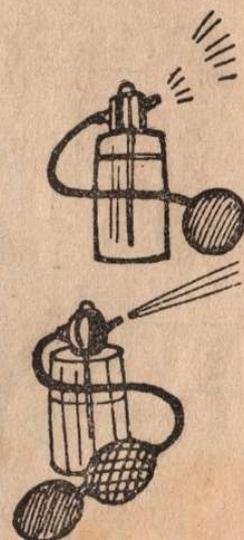
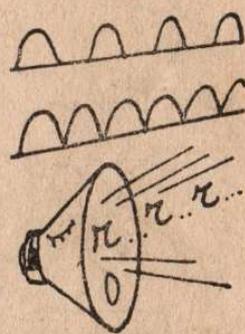


FIG. 87. — Une cellule de filtrage CLC, placée entre le redresseur et le récepteur, sert au « nivellement » du courant.

Enfin, nous fermerons notre filtre (fig. 87) par un deuxième condensateur qui servira 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 87. 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 (fig. 88), on dispose un troisième secondaire de basse tension qui sert au chauffage des filaments des lampes. Généralement, toutes les lampes sont à chauffage indirect, sauf la dernière (ou *lampe de sortie*). Cette lampe doit fournir au haut-parleur un courant relativement important, et, pour obtenir une émission électronique élevée, comme c'était le cas pour la valve, on préfère souvent utiliser, comme cathode, le filament même.

IG. — Mais comment polarise-t-on une telle lampe ?

CUR. — D'après le même principe que les lampes à chauffage indirect : en rendant la cathode positive par rapport à la grille à l'aide d'une résistance intercalée entre la cathode et le pôle négatif de la haute tension. Seulement, ici la cathode est à potentiel variable. Et, de même que dans le cas des valves à chauffage direct, ce n'est pas au

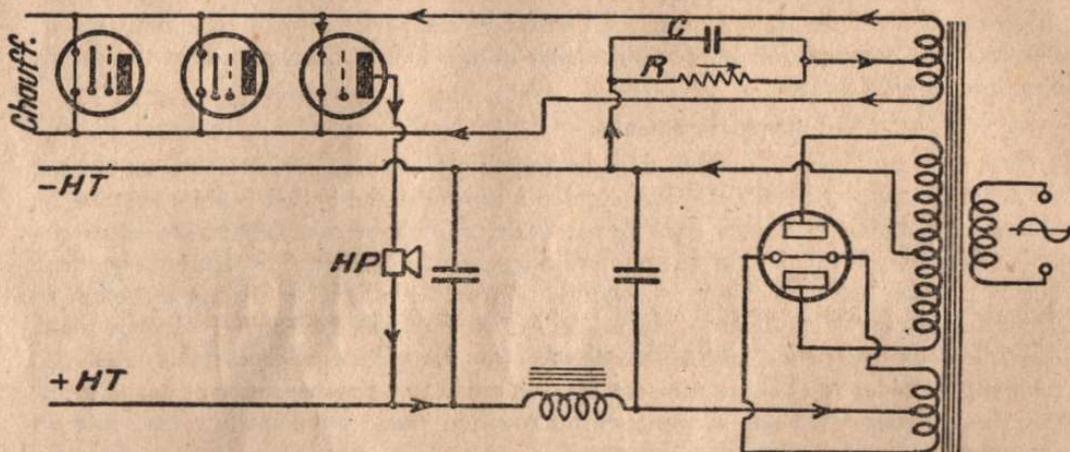


FIG. 88. — Alimentation complète d'un récepteur sur courant alternatif du secteur : chauffage, redressement HT et filtrage HT. La résistance R avec son condensateur de découplage C sert à polariser la lampe de sortie qui est à chauffage direct. Les flèches indiquent le trajet du courant de plaque de cette lampe.

filament lui-même, mais au point médian de son enroulement de chauffage que nous connecterons la résistance de polarisation dont l'autre extrémité sera reliée au pôle négatif de la haute tension... Et voilà, Ignotus, vous connaissez maintenant tout ce qu'il faut savoir sur l'alimentation des récepteurs.

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.

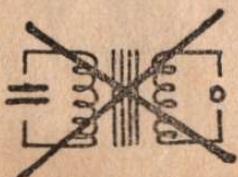
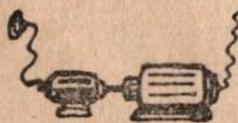
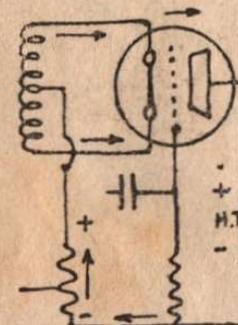
CUR. — « Desservi », c'est bien le mot !... Car, dans le cas du courant continu, à moins d'utiliser un moteur électrique entraînant une machine génératrice de courant, il ne faut pas songer à élever la tension.

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 du 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, en en dissipant 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.

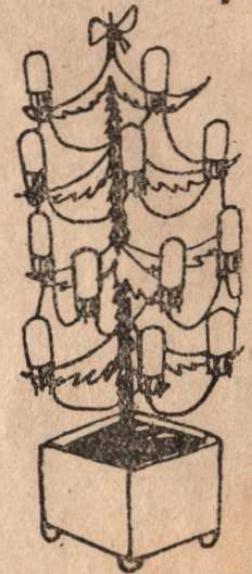
CUR. — Si vous aviez quelques notions rudimentaires sur les machines électriques, vous m'auriez compris. Mais ces notions ne sont nullement nécessaires pour notre étude de la radio. Il suffit que vous sachiez que, en raison de sa légère ondulation, le courant continu du secteur doit être filtré, par un filtre analogue à celui de la figure 87, avant d'être admis aux lampes du récepteur.

IG. — Et le chauffage?

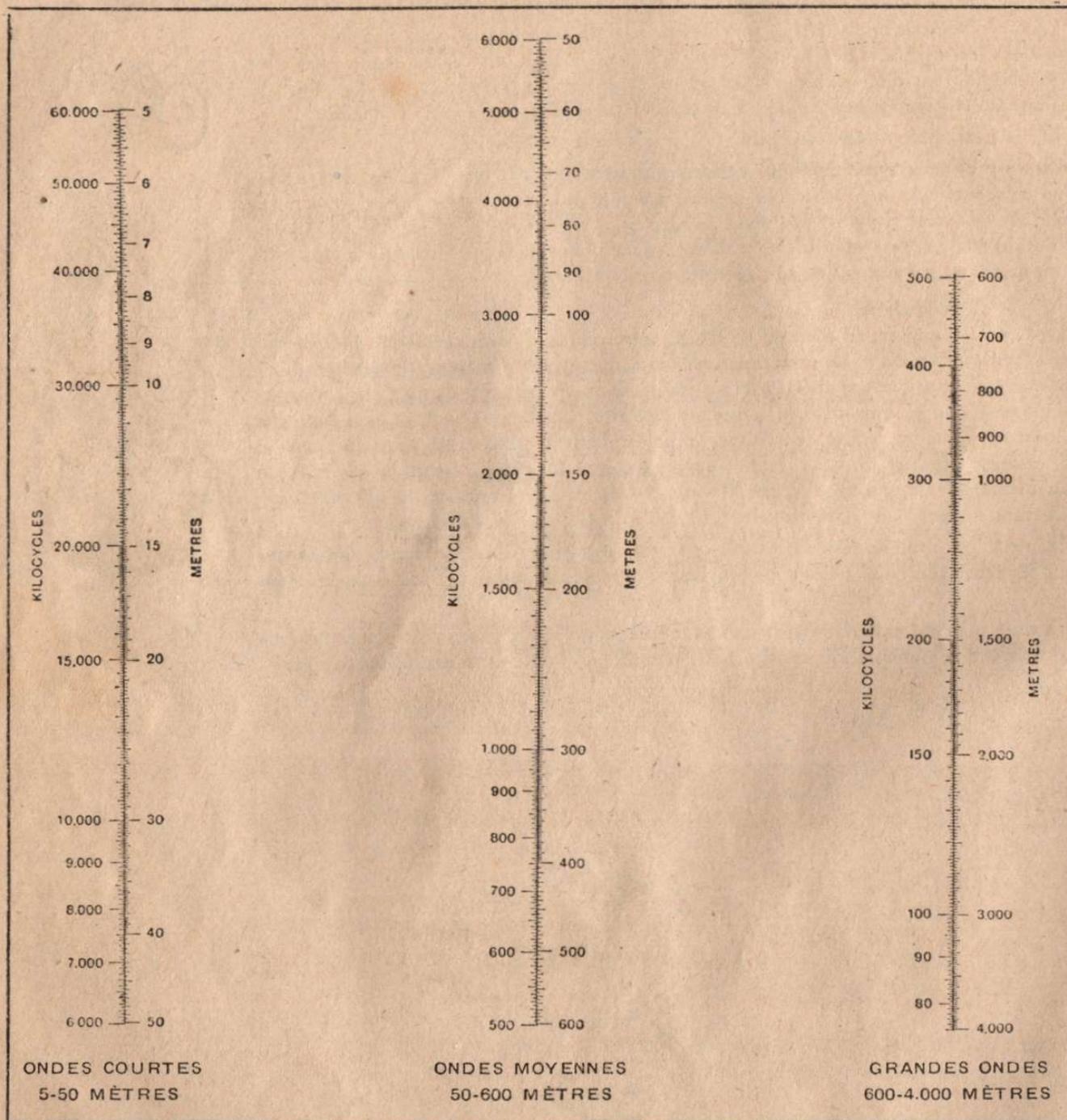
CUR. — Là encore, le continu se manie avec moins de souplesse que l'alternatif. Dans l'impossibilité d'abaisser sa tension à l'aide d'un transformateur, on peut produire une chute de tension dans une résistance judicieusement calculée, de manière à n'appliquer aux filaments que juste la tension nécessaire. 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?..



CORRESPONDANCE ENTRE FRÉQUENCES ET LONGUEURS D'ONDE



Pour trouver une longueur d'onde correspondant à une fréquence (ou inversement), on détermine le point correspondant sur l'échelle de fréquences, et ce même point permet de lire la longueur d'onde sur l'échelle en regard. — Les fréquences sont exprimées en *kilocycles*, c'est-à-dire en milliers de per/sec.

EXEMPLES : 20.000 kilocycles correspond à 15 mètres
 1.200 kilocycles correspond à 250 mètres.
 400 kilocycles correspond à 750 mètres

SEIZIÈME CAUSERIE

Dans cette causerie, nos amis abordent, enfin, le principe de changement de fréquence sur lequel sont basés les récepteurs connus sous le nom de « superhétérodyne ». 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 et 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 petit 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.

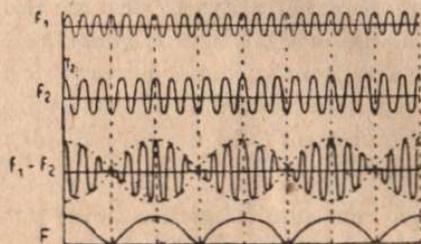
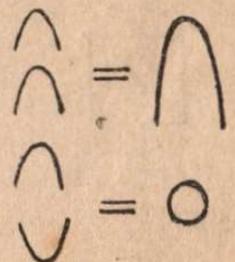
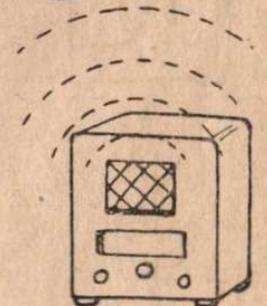
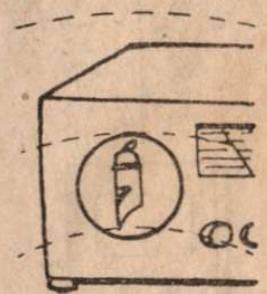
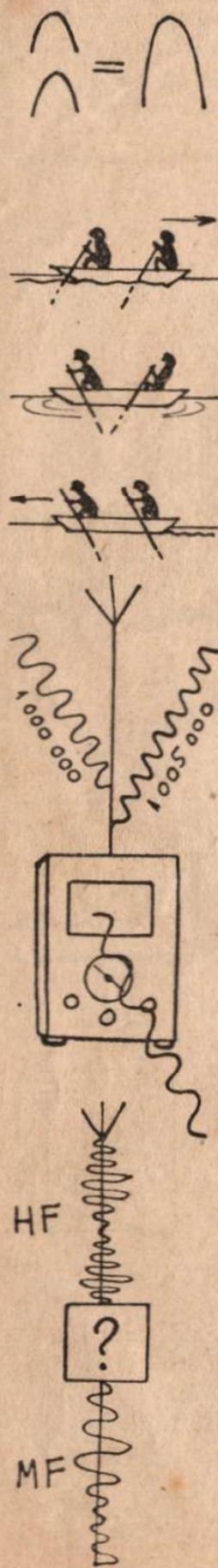


FIG. 89. — Deux oscillations f_1 et f_2 , en se superposant, donnent lieu à une oscillation composée $f_1 - f_2$ qui, après détection, donne lieu au courant F

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 , figure 89) 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 les sens opposés, s'affaiblissent au point de s'annuler pendant le court 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 de pulsations dont l'amplitude augmente et diminue périodiquement ($f_1 - f_2$ dans la figure 89) et avec une fréquence bien inférieure à celle de nos deux courants composants. Si vous détectez ce courant résultant, vous obtenez un courant (fig. 89) 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, 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 périodes par seconde et que, avec votre sacrée petite détectrice à réaction, vous émettiez sur 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 $1 005 000 - 1 000 000 = 5 000$ 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, le récepteur qui est 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 comprise 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 pour lui. Nous l'amplifions donc dans les étages d'amplification à moyenne fréquence, puis nous le détectons, comme tout courant de haute fréquence, et puis, 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 hétérodyne locale, un changeur de fréquence, des étages M. F., une détectrice et des étages B. F.

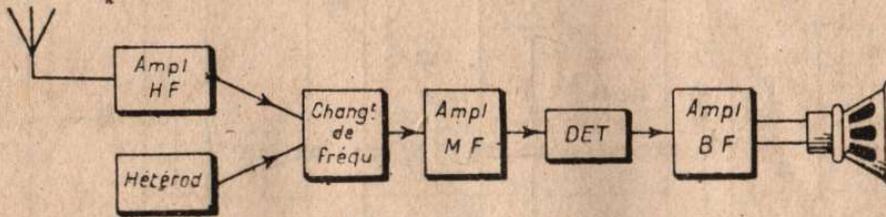


FIG. 90. — Composition schématisée d'un superhétérodyne

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. sont accordés sur 125 000 p/s. Pour recevoir une émission de 600 000 p/s (longueur d'onde : 500 mètres), il suffit d'accorder l'hétérodyne sur 725 000 p/s. En effet, la fréquence résultante sera égale à la différence des fréquences composantes, soit :

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

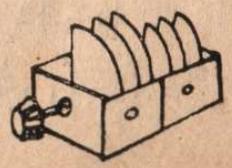
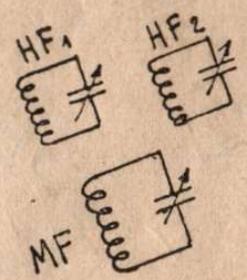
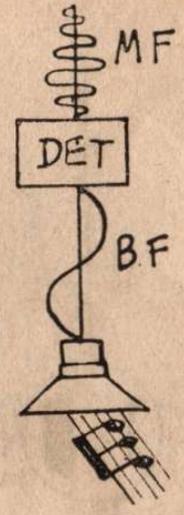
Pour recevoir une autre émission faite sur 850.000 p/s, nous accorderons l'hétérodyne sur 975.000 p/s et nous obtiendrons de nouveau :

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

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

CUR. — Encore plus que vous ne pensez. Les deux condensateurs sont commandés, généralement, par le même bouton. On s'arrange de manière que les deux fréquences d'accord aient une différence constante dans toutes les positions.

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



CUR. — Il existe mille et un systèmes de changement de fréquence. Leur principe est sensiblement le même, et il suffira que je vous en décrive les principaux et — surtout — les plus usuels. Le système le plus ancien est celui qui, en quelque sorte, schématise le principe même du superhétérodyne (fig. 91). Une hétérodyne (ou, comme on dit, une oscillatrice) séparée V_2 comprend, dans son circuit oscillant $L_2 C_2$, un petit enroulement « de liaison » L_3 qui est couplé par induction avec le bobinage L_1 du circuit d'entrée. Grâce à ce couplage, l'oscillateur « injecte » ses oscillations dans le circuit $L_1 C_1$. Ainsi,

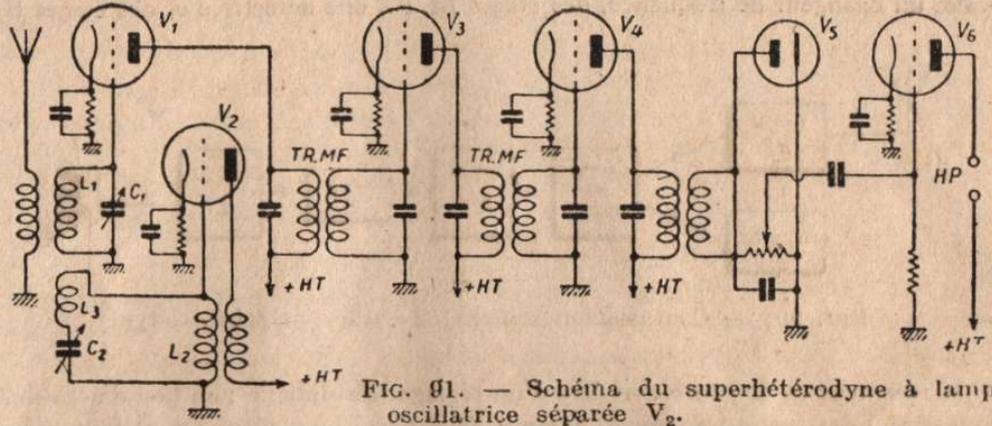


FIG. 91. — Schéma du superhétérodyne à lampe oscillatrice séparée V_2 .

à la grille de la lampe V_1 , se trouvent simultanément appliquées deux tensions alternatives : celle provenant de l'antenne et celle de l'oscillatrice. Aussi, le courant de plaque représentera-t-il l'oscillation résultant de la superposition des deux oscillations appliquées à la grille : ce sera le courant de moyenne fréquence. Tel que j'ai dessiné le récepteur, il comprend ensuite deux étages d'amplification à moyenne fréquence (V_3 et V_4) à liaison par transformateurs à primaire et secondaire accordés. Ensuite vient la détectrice diode (V_5) et l'amplificatrice B. F. (V_6).

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

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

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

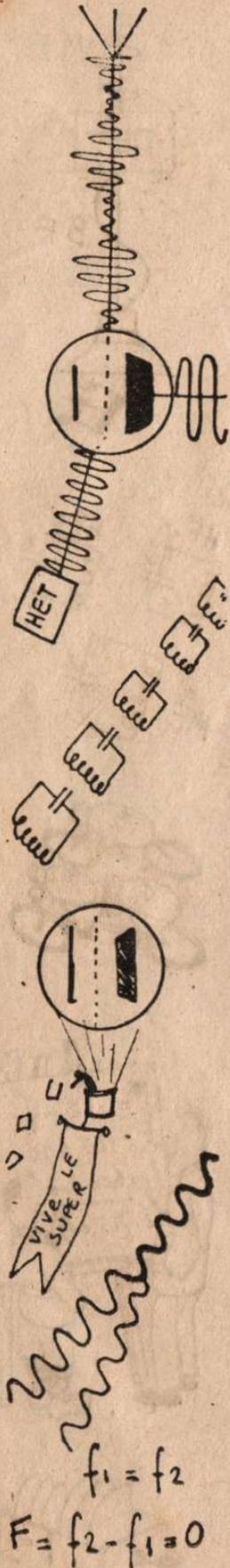
Les grilles se multiplient.

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

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

CUR. — Oui, et un grave. Leurs accords n'étant pas très différents, l'hétérodyne peut se mettre à osciller non pas sur la fréquence de son circuit $L_2 C_2$, mais sur celle du circuit d'entrée $L_1 C_1$; et nous n'aurons alors aucun changement de fréquence. On appelle cela « blocage » des oscillations.

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



CUR. — Le moyen est offert par les lampes à plusieurs grilles, ne serait-ce que par la lampe à deux grilles ou *bigrille*. L'oscillation de l'hétérodyne est appliquée (fig. 92) à la première grille et l'oscillation de l'émission captée à la deuxième grille. Ainsi, simultanément, les deux oscillations agissent sur le courant de plaque qui sera leur résultante. Vous voyez que, dans ce montage, il n'y a pas de couplage magnétique entre les circuits L_1C_1 et L_2C_2 .

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

CUR. — D'ailleurs, on peut réaliser ce montage à l'aide d'une seule lampe bigrille qui fonctionnera simultanément comme changeuse de fréquence et comme oscillatrice

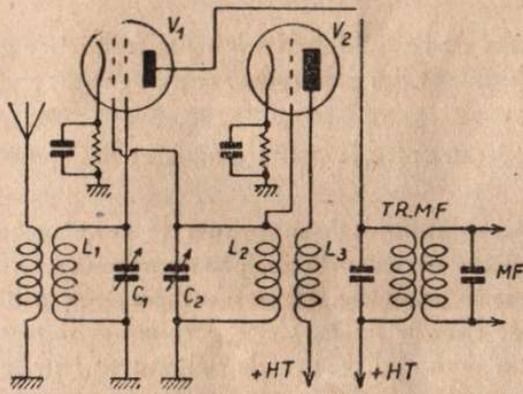


FIG. 92. — Changement de fréquence par modulatrice bigrille V_1 et oscillatrice triode V_2 .

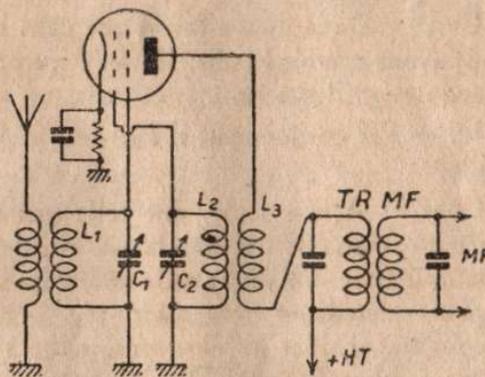


FIG. 93. — Schéma classique du changeur de fréquence par bigrille oscillatrice-modulatrice.

(fig. 93). Vous remarquerez que le courant de plaque sert alors à produire la réaction nécessaire à la création des oscillations dans l'hétérodyne

IG. — Ce montage ne me plaît pas beaucoup. Il n'est pas normal que le même courant de plaque représente la moyenne fréquence et en même temps, serve de réaction pour l'hétérodyne de haute fréquence.

CUR. — Cela n'a rien d'extraordinaire, puisqu'il y existe des composantes de chacune des fréquences qui viennent se superposer. Mais, puisque vous tenez à sauvegarder

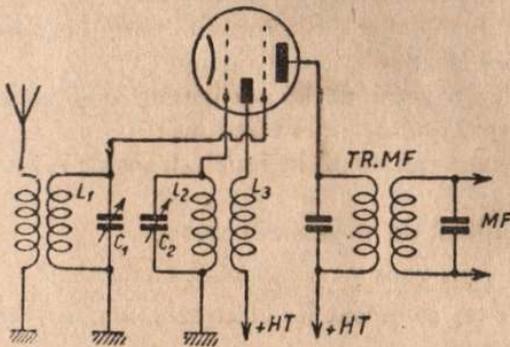


FIG. 94. — Changement de fréquence par une lampe bigrille-biplaque qui n'existe que dans l'esprit inventif de Curiosus.

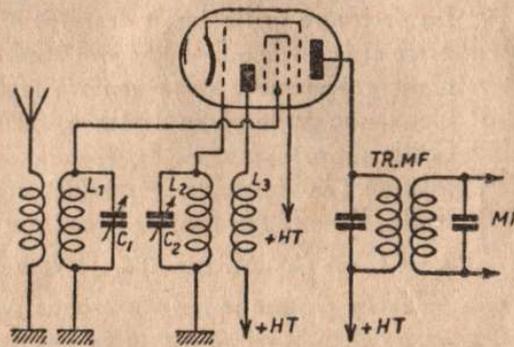
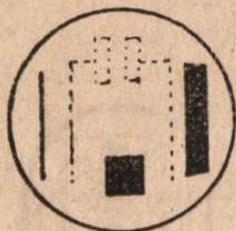


FIG. 95. — Montage de l'octode changeuse de fréquence. (La lampe heptode ne possède pas la dernière grille.)



l'indépendance de courants de plaque de haute et de moyenne fréquence, je puis vous proposer la lampe à cinq électrodes de la figure 94. La première grille et la première anode (qui est toute petite et n'empêche pas le passage de la majorité des électrons) sont affectées à l'hétérodyne. Les oscillations d'antenne sont appliquées à la deuxième



grille et, dans le circuit de la plaque finale, nous trouvons le courant de moyenne fréquence.

IG. — Cela me plaît davantage.

CUR. — Cependant, tel que je vous l'ai décrit, ce montage n'existe pas. Car, en raison des capacités entre les électrodes de la lampe, il y a un couplage entre les deux circuits L_1C_1 et L_2C_2 qui est suffisant, parfois (surtout sur ondes courtes), pour provoquer des blocages.

IG. — Encore ces capacités parasites ! Comment y remédier ?

Dans le royaume des grilles.

CUR. — De la même façon que dans le cas de l'amplification à haute fréquence que nous avons examiné jadis. Il faut faire un blindage des électrodes, autrement dit interposer des grilles-écrans.

IG. — Par conséquent, il faut une grille-écran entre la petite plaque et la deuxième grille ?

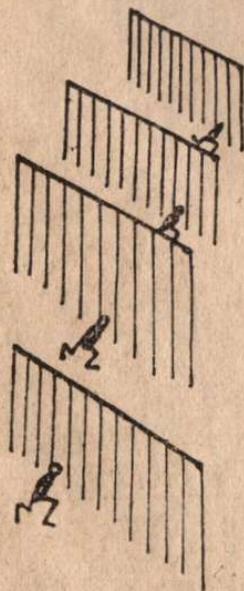
CUR. — A elle seule, une telle grille-écran suffirait à supprimer le couplage par capacité ; mais elle attirerait la majorité des électrons, en sorte que peu nombreux seraient ceux qui atteindraient l'anode finale. La vraie solution (fig. 95) est d'utiliser deux grilles-écran, la deuxième étant placée plus près de l'anode finale. Cette dernière grille-écran a pour but d'aider les électrons, grâce à son potentiel positif, de poursuivre leur long parcours vers l'anode. D'ailleurs, les deux grilles-écran sont au même potentiel et, de ce fait, sont réunies à l'intérieur même de la lampe. Pour éviter l'émission secondaire, cette plaie des lampes à grille-écran, on peut encore utiliser une grille supprimeuse placée tout près de l'anode finale et réunie à la cathode. Nous obtenons ainsi une lampe à huit électrodes ou *octode*. Si la lampe ne possède pas de grille-supprimeuse, elle n'a que sept électrodes et s'appelle alors *heptode*.

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 supprimeuse de l'émission secondaire qui empêche les électrons de revenir de la plaque vers la deuxième grille-écran ;
- 8° Enfin, l'anode qui fournit le courant résultant de moyenne fréquence.

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

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



DIX-SEPTIÈME CAUSERIE

Ignotus a longuement réfléchi au sujet du superhétérodyne et lui a trouvé un défaut redhibitoire. 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 sentiment 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 locale, 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 locale. 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. A cet effet, on utilise, à l'entrée du récepteur, un circuit d'accord suffisamment sélectif, appelé « présélecteur ». Une autre solution consiste à éliminer la fréquence gênante par une amplification préalable (on dit : *préamplification*) du courant d'antenne.

IG. — Je préfère cette dernière méthode. Il me semble qu'il est bon, avant de lui faire subir l'épreuve de changement de fréquence, de renforcer un peu le courant de haute fréquence qui arrive à l'antenne affaibli par un long voyage... Il me semble que, maintenant que nous connaissons le superhétérodyne, il est temps de songer sérieusement

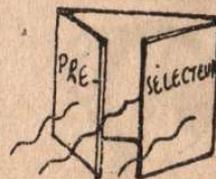


$$\begin{array}{l} 1.000.000 - 900.000 \\ = 100.000 \\ 900.000 - 800.000 \\ = 100.000 \end{array}$$

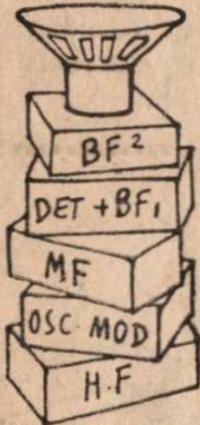
★



ENTRÉE INTERDITE
AUX
FRÉQUENCES IMAGES



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. 96). Vous voyez que, *grosso modo*, il se compose d'un étage de préamplification à haute fréquence, d'une octode changeuse de fréquence, d'une penthode amplificatrice à moyenne fréquence, d'une diode-triode combinée qui assure la détection et la préamplification de la basse fréquence et, enfin, d'une penthode 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.

IG. — En effet, il n'y a, pour moi, rien de mystérieux dans ce montage. La seule chose qui me rend un peu malaisée la lecture du schéma, c'est l'utilisation du symbole de « masse ».

CUR. — Comme je vous l'ai déjà dit, il suffit de se souvenir que tout ce qui est connecté

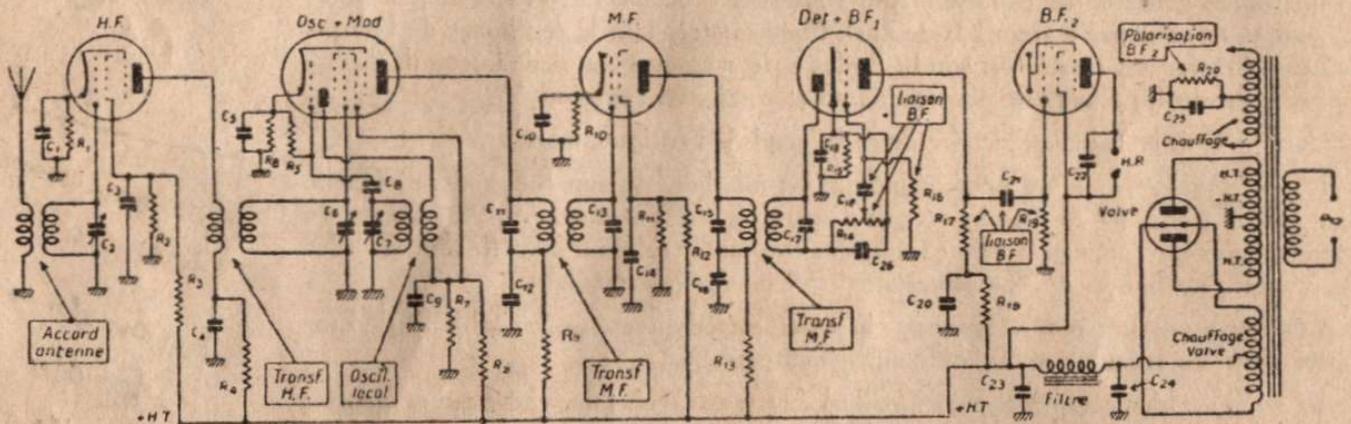


FIG. 96. — Schéma d'un superhétérodyne avec préamplification H. F. et changement de fréquence par octode :

$R_1, R_5, R_{10}, R_{15}, R_{20}$. — Résistances de polarisation.

R_2 et R_3, R_7 et R_8, R_{11} et R_{12} . — Résistances fixant les tensions des grilles-écrans.

R_4, R_9, R_{13}, R_{18} . — Résistances de découplage des circuits de plaque.

R_5, R_{16}, R_{19} . — Résistances de fuite de grille.

R_{14} . — Résistance de détection ; étant constituée par un potentiomètre, elle sert au réglage de l'intensité sonore.

R_{17} . — Résistance de plaque pour liaison.

C_2, C_6, C_7 . — Condensateurs variables d'accord du circuit d'entrée, du transformateur H. F. et de l'oscillateur local.

$C_1, C_3, C_4, C_5, C_8, C_{10}, C_{12}, C_{14}, C_{16}, C_{18}, C_{20}, C_{25}$. — Condensateurs de découplage.

$C_{11}, C_{13}, C_{15}, C_{17}$. — Condensateurs d'accord des transformateurs M. F.

C_8, C_{19}, C_{21} . — Condensateurs de liaison.

C_{23}, C_{24} . — Condensateurs de filtre.

C_{22} . — Condensateur atténuant les notes aigües.

C_{26} . — Condensateur de détection.

à la « masse » aboutit toujours au même point : le pôle négatif de la haute tension, en l'occurrence, c'est le point-milieu de l'enroulement H. T. du transformateur d'alimentation.

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.

Le haut-parleur à travers les âges.

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...

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.

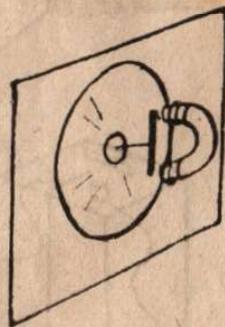
CUR. — C'est ce que les techniciens ont dû constater. On procéda alors à une séparation des fonctions. La membrane à tout faire a été remplacée d'une part par une palette de fer élastique qui vibrait sous l'influence du champ variable de l'électro-aimant ; d'autre part, une large membrane conique en papier ou en une matière pareil-



FIG. 97 (à gauche). — Coupe d'un haut-parleur électromagnétique à pavillon.



FIG. 98 (à droite). — Haut-parleur électromagnétique à palette vibrante et à diffusion de son par membrane conique.



lement 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 ?

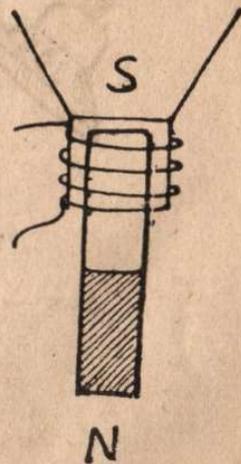


Un haut-parleur moderne.

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 plongé dans un champ magnétique constant et très puissant, créé par un aimant A (fig. 99). 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.

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 què 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 utilise souvent 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 prend-on le courant d'aimantation ?

CUR. — Pour des gros haut-parleurs, on se sert, à cet effet, d'un redresseur séparé avec filtre. Mais, pour les haut-parleurs normaux des récepteurs radio, on utilise,

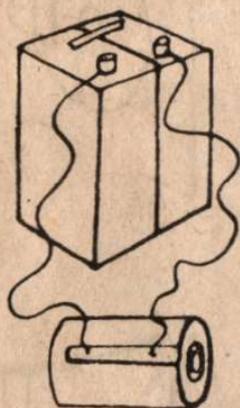
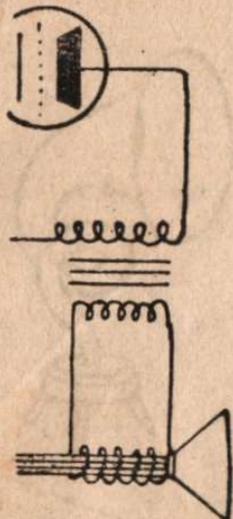


FIG. 99. — Coupe du haut-parleur électrodynamique. — A, aimant ; B, bobine mobile ; M, membrane.

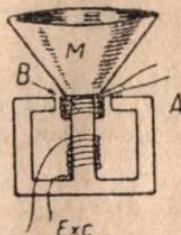


FIG. 100. — Haut-parleur à excitation (courant magnétisant).

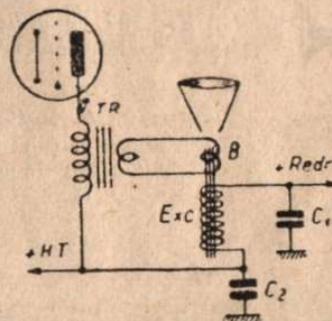


FIG. 101. — Le bobinage d'excitation utilisé comme impédance de filtre.

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 radioélectrique, je n'ai plus rien à apprendre en radio.

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.

~~FIN~~

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... Curiosus exposera le mécanisme de ce néfaste problème 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, tels que, par exemple, *antifading*. Je suppose que c'est encore 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, pendant 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.

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.

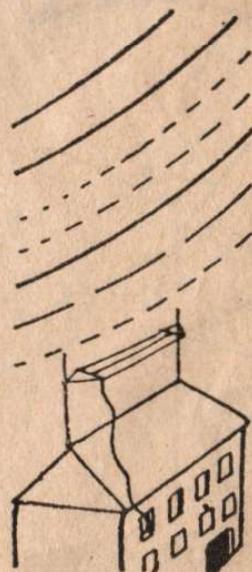
IG. — Le fading serait donc une anomalie de la propagation des ondes hertziennes ?

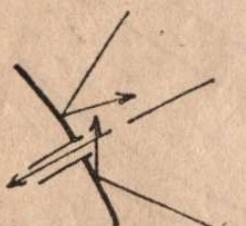
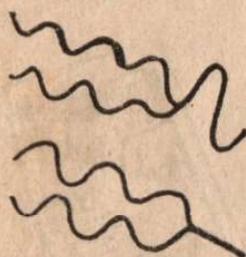


FIG. 102. — L'onde de l'émetteur E parvient à l'antenne de réception R par deux chemins différents : en suivant la surface du globe et après réflexion dans les hautes couches de l'atmosphère.

CUR. — 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 cognent 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, émirent l'hypothèse de son existence. — « couche de Kenelly-Heaviside » (fig. 102).

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 sur 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 en contre-temps (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 donneront lieu à une réception plus ou moins forte ou faible, mais dont l'intensité n'aura 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 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 a 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.

G. — Si c'est cela que l'on appelle 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 constamment 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 elles 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, s'il s'agit d'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 lampe soit, autour du point de fonctionnement, approximativement rectiligne. On fait donc

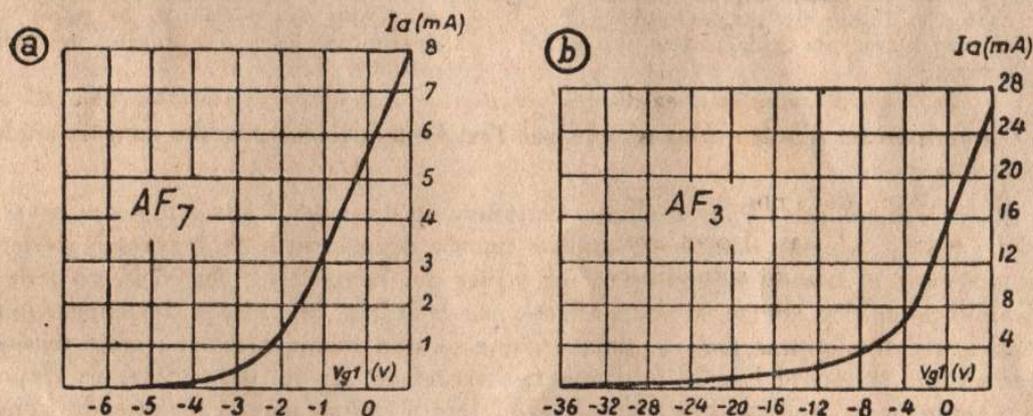
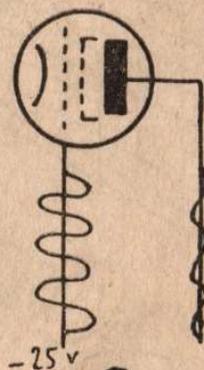
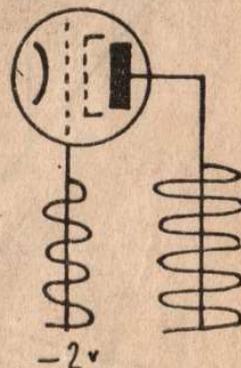
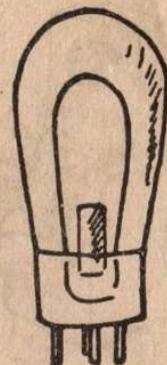


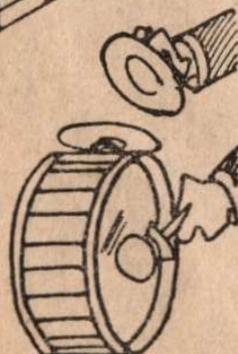
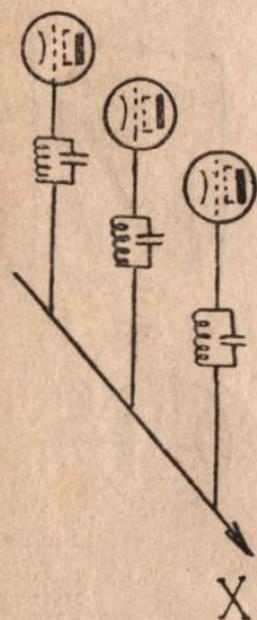
FIG. 103. — Courbes d'une lampe « à pente fixe » en a et « à pente variable » en b.

des lampes spéciales dont la pente varie très progressivement, en sorte que leur caractéristique ne présente pas de coudes prononcés. 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 je connaissais 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 la grille, non seulement elle n'amplifiera pas, mais même affaiblira grandement les oscillations soumises à sa 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. 104), 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 entendre 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. 105) 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.

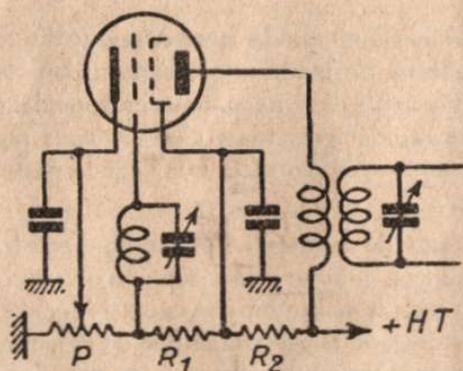


FIG. 104. — Réglage de l'amplification à l'aide du potentiomètre P faisant varier la polarisation de la lampe.

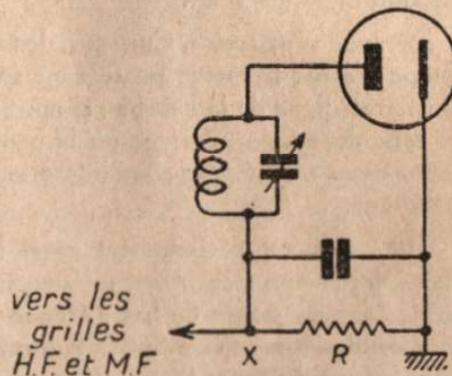


FIG. 105. — Suivant l'intensité moyenne des signaux, le point X deviendra plus ou moins négatif.

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, en réduit l'amplification. Par contre, lorsque, affectés par le fading, les signaux deviennent plus faibles, ils développent dans le 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 importe à l'auditeur.

CUR. — Je vois que vous avez parfaitement saisi le fonctionnement du régulateur antifading. Vous remarquez 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, Curiosus. 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, Ignotus. Aussi, afin d'éviter l'action des variations *instantanées* du courant détect. par la diode et de ne faire agir sur les lampes H F

et MF 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. 106)

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. 107).

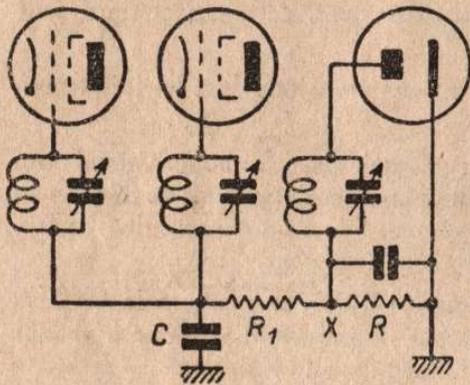


FIG. 106. — Deux lampes H. F. soumises à l'action de l'antifading commandé de X à travers R_1

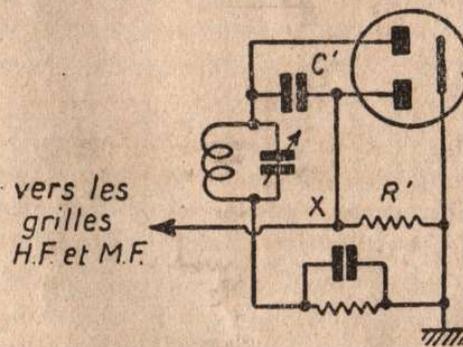


FIG. 107. — La double diode permet de séparer les fonctions de détection et de régulation antifading.

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 plus nette des fonctions de la détection et de la régulation.

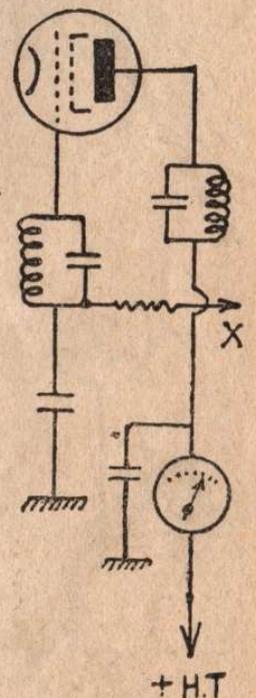
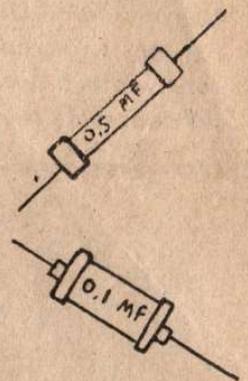
CUR. — Pourriez-vous, Ignotus, répondre à une question qui est une « colle ». Savez-vous comment varie le courant moyen de plaque d'une lampe H F ou M F commandée par l'antifading, suivant l'intensité des signaux.

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 milliampermètre dans le circuit de plaque de la 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 milliampermètre, même un sourd pourrait accorder le récepteur avec précision ?

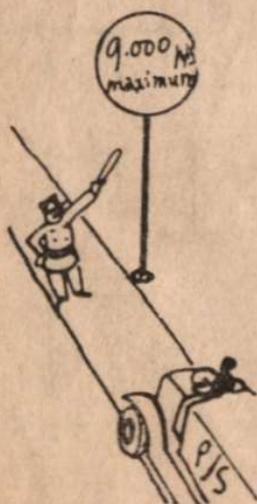
CUR. — Bien entendu, car ce milliampermètre constitue un indicateur visuel d'accord. mais à quoi cela servirait-il à un sourd ?..



DIX-NEUVIÈME CAUSERIE

Tous les efforts des techniciens de la radio tendent vers l'amélioration de la fidélité de la reproduction. Or, longtemps, sélectivité et musicalité semblaient être des qualités incompatibles : un récepteur musical n'était pas sélectif et inversement... Mais les filtres de bande sont venus à temps pour concilier les sœurs ennemies. Curiosus conte avec sa verve habituelle les causes de leur conflit. Plus ébahi que d'habitude, Ignotus opte pour la sélectivité variable

Match : sélectivité contre musicalité.



IG. — Hier soir j'ai été chez un ami qui possède un récepteur très sensible. Nous avons entendu une quantité d'émissions. Malheureusement, certaines stations sont entendues avec un sifflement. D'où vient-il?

CUR. — C'est un sifflement d'interférence entre deux émissions dont les fréquences sont trop rapprochées.

IG. — C'est donc le même phénomène que celui qui, dans les superhétérodynes, permet le changement de fréquence? Autrement dit, entre deux émissions de fréquences trop voisines se produisent des battements qui donnent lieu à un courant dont la fréquence est égale à la différence des fréquences des deux émissions.

CUR. — C'est bien cela. Et c'est pour cette raison que l'écart réglementaire de 9.000 p/s entre les émissions voisines paraît à peine suffisant. Il permet d'accorder à chaque station une largeur de 4.500 p/s seulement pour la modulation musicale.

IG. — Je ne vois pas le rapport entre l'écart entre les fréquences des émetteurs et la modulation musicale.

CUR. — Il est cependant d'importance capitale. Tant qu'un émetteur n'est pas modulé par un son, il n'émet qu'une seule fréquence qui est celle de son « onde porteuse ». Mais la modulation par un son crée aussitôt deux autres fréquences symétriquement disposées par rapport à la fréquence de l'onde porteuse. Ainsi un émetteur fonctionnant sur 1 000 000 p/s et modulé par un son de 400 p/s émettra, en plus de l'onde porteuse, deux ondes de fréquences 1 000 400 p/s et 999 600 p/s (fig. 108). Vous voyez que ces ondes résultent de l'addition et de la soustraction des fréquences de l'onde porteuse et du courant musical.

IG. — En somme, en modulant la haute fréquence, le courant de basse fréquence opère un véritable changement de fréquence?

CUR. — Parfaitement. Maintenant, si chaque fréquence musicale crée, autour de celle de l'onde porteuse, deux fréquences symétriquement disposées, l'ensemble des sons de la musique qui peut aller jusqu'à 10 000 p/s (et même davantage) crée autour de l'onde porteuse deux bandes de fréquences symétriques dites *bandes latérales de modulation*.

IG. — Si je vous ai bien compris, les fréquences émises par une station transmettant de la musique s'étendent de part et d'autre de la fréquence de l'onde porteuse, sur 10.000 p/s de chaque côté. Par exemple, pour l'émetteur fonctionnant sur 1 000 000 p/s, les bandes de modulation vont de 9 990 000 à 1 010 000 p/s.

CUR. — C'est tout à fait exact. Mais si chaque émetteur occupait dans la gamme des fréquences disponibles un encombrement de 20 000 p/s, il n'y aurait pas de place pour tous les émetteurs existants. Aussi, par une convention internationale, a-t-on limité à 4 500 p/s la largeur de chaque bande de fréquences musicales. De la sorte, un émetteur n'occupe, dans l'éther, qu'une bande de 9 000 p/s. Et il suffit qu'il existe, entre deux ondes porteuses, un écart de 9 000 p/s, pour que deux émetteurs ne se gênent plus

mutuellement... à condition, bien entendu, que le récepteur soit suffisamment sélectif pour séparer 9 000 p/s...

IG. — Je pense que l'on peut, avec un nombre suffisant de bons circuits oscillants, faire un récepteur assez sélectif pour ne recevoir qu'une seule fréquence.

CUR. — Ce serait du beau travail! Vous rendez-vous compte, Ignotus, qu'un tel récepteur ne vous ferait entendre qu'une seule note musicale. Goûteriez-vous le charme de la *Symphonie Pastorale* si, de toute sa richesse de sons, vous n'entendiez que le mi-bémol de la troisième octave, par exemple?

IG. — Certes non. Il faut donc, je vois, que le récepteur fasse passer intégralement les 9 000 p/s des bandes de modulation, pour reproduire toute la musique émise.

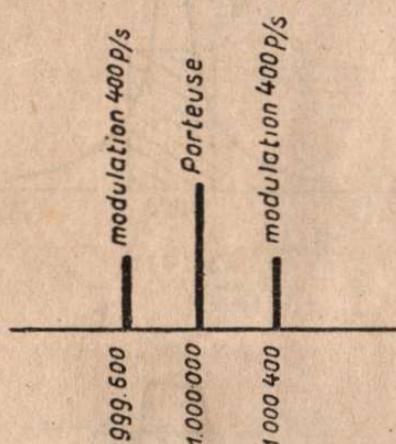


Fig. 108. — Modulation par 400 p/s d'une onde de 1.000.000 p/s.

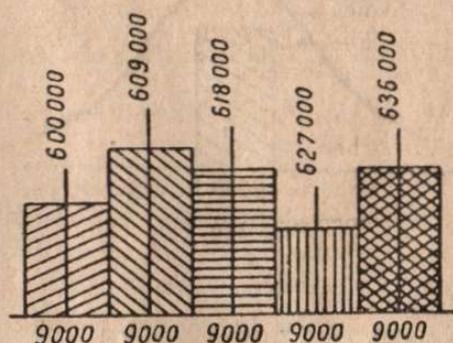


Fig. 109. — Répartition des fréquences des émetteurs. Les ondes porteuses sont écartées de 9.000 p/s. La bande de modulation ne dépasse pas 4.500 p/s.

CUR. — Mais il ne faut pas qu'il laisse passer une bande de fréquences plus large. Sinon, il y aura des interférences entre émissions voisines en fréquences. Et vous voilà en face de ce problème terrible qui oppose la musicalité à la sélectivité : moins le récepteur est sélectif, et plus il est musical.

IG. — De la sélectivité et de la musicalité, j'opte pour cette dernière.

Le filtre de bande réconcilie les adversaires.

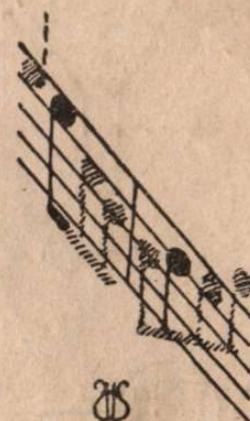
CUR. — A quoi vous servira la reproduction fidèle de toutes les fréquences musicales, si l'audition doit être couverte par des sifflements d'interférence?

IG. — Mais voyons. Est-ce qu'il n'existe pas la possibilité de laisser passer une bande de 9 000 p/s intégralement à l'exclusion de toute autre fréquence en dehors de cette bande?

CUR. — Si. Du moins, on parvient à le réaliser d'une façon approximative. Un seul circuit oscillant ne permet pas de le faire. Sa *courbe de résonance*...

IG. — Qu'est-ce? Vous ne m'en avez jamais parlé.

CUR. — On appelle ainsi la courbe qui montre comment varie, dans un circuit oscillant, l'intensité du courant suivant sa fréquence. L'intensité est, évidemment, au maximum pour la résonance. Puis, elle tombe plus ou moins brusquement suivant que le circuit est plus ou moins résistant pour le courant de haute fréquence. Si le circuit est résistant ou, comme on dit, *amorti*, sa courbe est très large (fig. 110); il laisse passer une grande bande de fréquences, mais il n'est pas suffisamment sélectif. Si, par contre,





le circuit est très peu amorti (fig. 111), il ne laisse passer qu'une bande étroite de fréquences : suffisamment sélectif, il ne laisse pas passer la totalité des bandes de modulation. La courbe de résonance idéale serait rectangulaire, avec une largeur de 9000 p/s, ce qui indiquerait qu'elle laisse passer une bande de 9000 p/s et rien d'autre !

IG. — Puisque vous dites qu'une telle courbe est idéale, c'est qu'il est impossible de l'obtenir.

CUR. — En effet. Mais on peut s'en approcher en utilisant des *filtres de bande*. Les filtres de bande les plus simples se composent de deux circuits oscillants faiblement

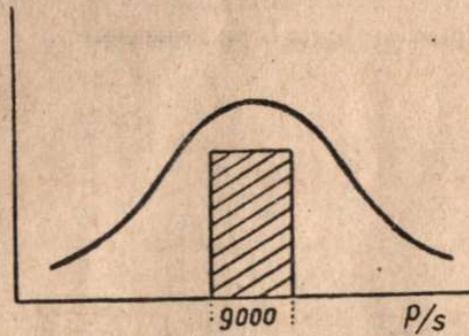
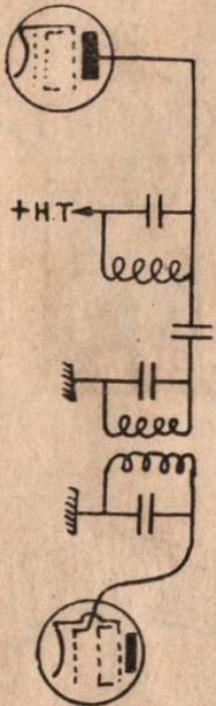


FIG. 110.

FIG. 110. — Circuit amorti : mauvaise sélectivité, bonne musicalité

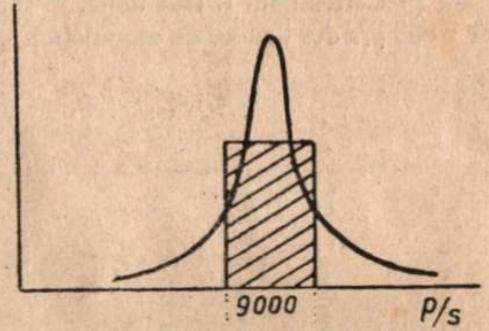


FIG. 111.

FIG. 111. — Circuit peu amorti : bonne sélectivité, mauvaise musicalité

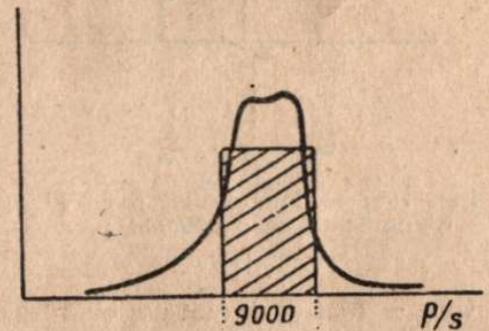


FIG. 112.

FIG. 112. — Filtre de bande alliant une bonne sélectivité à une bonne musicalité

amortis, accordés tous les deux sur la fréquence de l'onde porteuse. En les couplant plus ou moins, on obtient une courbe de résonance plus ou moins large (fig. 112) dont la forme s'approche de celle de la courbe idéale.

IG. — Et comment fait-on le couplage entre les deux circuits oscillants composant le filtre de bande ?

CUR. — La façon la plus simple est de les coupler par induction (fig. 113), ce qui constitue un transformateur à primaire et secondaire accordés, ou par faible capacité (fig. 114). Dans les filtres plus compliqués, on se sert d'un couplage par impédance commune I.

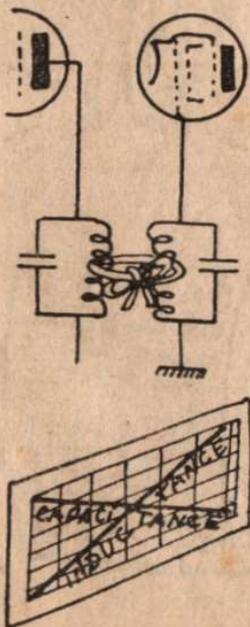
IG. — De quelle manière une telle impédance peut-elle produire le couplage ?

CUR. — Le courant circulant dans le premier circuit (fig. 115) développe dans cette impédance une tension alternative qui se trouve ainsi appliquée au deuxième circuit et excite en lui un courant. Si l'impédance est faible, la tension qui y sera développée sera faible aussi : cela équivaudra à un couplage lâche.

IG. — Quel genre d'impédances utilise-t-on habituellement ?

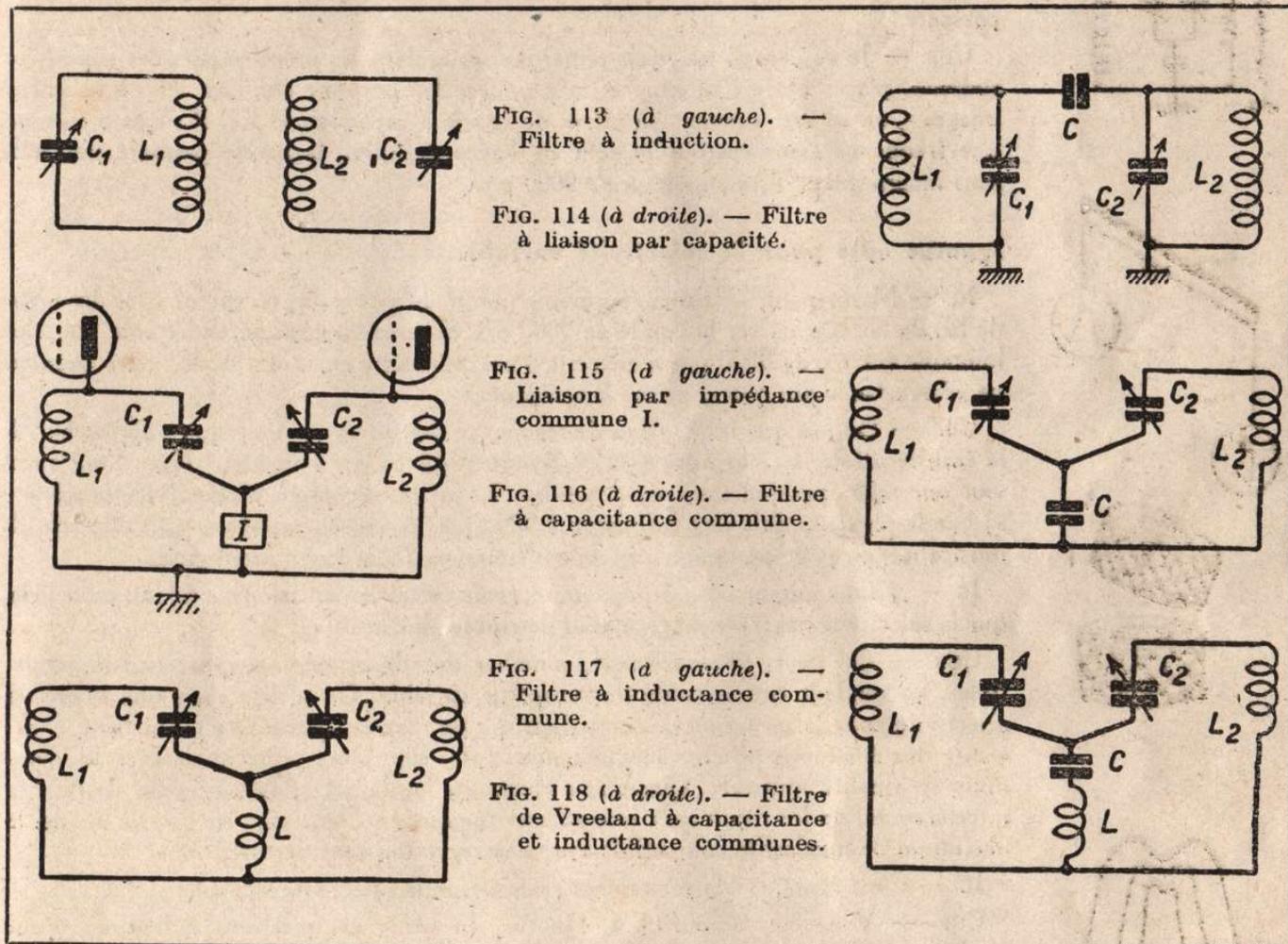
CUR. — Des capacitances (fig. 116) ou, moins souvent, des inductances (fig. 117). Pour obtenir une capacitance faible, il faut utiliser un condensateur de valeur assez élevée, l'autant plus élevée que la fréquence du courant est plus faible.

IG. — Je me souviens, en effet, que la capacitance diminue quand la capacité et la fréquence augmentent. Et, comme l'inductance se conduit de la manière inverse, je



suppose que, dans les filtres à inductance, pour obtenir un couplage faible, il faut prendre un enroulement de self-induction faible, d'autant plus faible que la fréquence est plus élevée.

CUR. — Vous commencez à raisonner logiquement, mon ami. Tâchez-donc de résoudre ce petit problème : nous avons deux filtres, un à couplage par capacitance, l'autre par inductance ; nous changeons l'accord de leurs circuits allant de fréquences

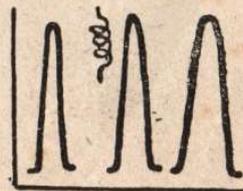
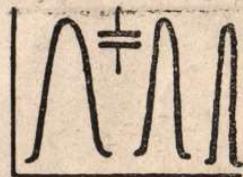


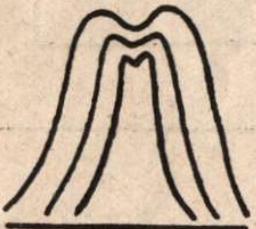
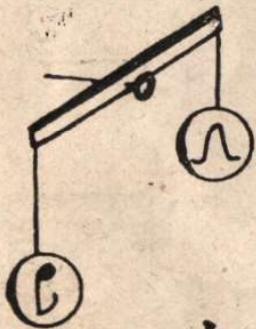
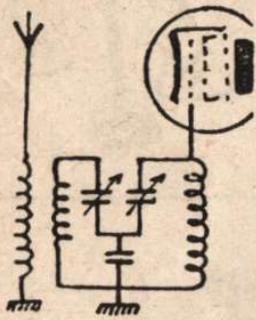
plus basses vers les fréquences plus élevées. La largeur de la bande passante de chacun de ces filtres restera-t-elle constante ?

IG. — Certes non. Dans le filtre à capacitance, en augmentant la fréquence, vous diminuez la capacitance ; le couplage diminue et la bande passante devient plus étroite. Dans le filtre à inductance, celle-ci croît avec la fréquence et, par conséquent, la bande passante s'élargit.

CUR. — Bravo ! Remarquez qu'il s'agit là d'un phénomène bien ennuyeux. Imaginez un tel filtre à capacitance utilisé comme liaison entre deux étages HF d'un récepteur. Supposez que pour les ondes d'une fréquence déterminée, il laisse passer la bande de fréquences réglementaires de 9000 p/s. Mais lorsque vous accordez le récepteur sur une émission de fréquence plus élevée, la bande passante devient trop étroite : trop sélectif, le récepteur ne sera plus assez musical.

IG. — Eh bien, je crois qu'il y a un moyen très simple de maintenir constante la largeur de la bande passante pour toutes les fréquences d'accord. Il suffit de constituer l'impédance commune du filtre par un condensateur et une bobine de self-induction mis en série (fig. 118). Leurs effets opposés se compensent mutuellement.





CUR. — Avant vous, un savant du nom de Vreeland a expérimenté de tels filtres. Malheureusement, les choses ne sont pas aussi simples, car il faut tenir compte des déphasages du courant dans L et C. Il y a, grâce à Dieu, une autre manière de tourner la difficulté : c'est d'utiliser les filtres de bande dans les étages d'amplification à moyenne fréquence des superhétérodynes.

IG. — C'est vrai, nom d'une impédance ! Là nous sommes toujours accordés sur la même fréquence et n'avons donc pas à redouter une variation de la largeur de la bande passante.

CUR. — Je vous ferai toutefois remarquer que, dans les présélecteurs des superhétérodynes, placés entre l'antenne et la première lampe pour éliminer les « fréquences-images », on se sert souvent de filtres de bande à capacitance. Là, il s'agit d'éliminer une fréquence assez écartée de celle de l'accord. Aussi, la bande passante peut-elle, sans inconvénient, être supérieure à 9000 p/s.

Ignotus opte pour la sélectivité variable.

IG. — Maintenant, Curiosus, supposez que nous ayons un récepteur avec des filtres de bande laissant passer la bande de 9000 p/s. Si nous voulons entendre une émission lointaine écartée de 9000 p/s seulement d'une puissante émission locale, cette dernière ne gênera-t-elle pas quand même la réception ?

CUR. — Du fait que les courbes de résonance des filtres ne font que s'approcher de la courbe idéale, la réception sera évidemment gênée par l'émetteur local. Pour recevoir une telle émission sans perturbations, il faut un récepteur à sélectivité exagérée : sa bande passante doit être inférieure à 9000 p/s. Ainsi, en sacrifiant partiellement la musicalité, on peut néanmoins recevoir l'émission d'une façon intelligible.

IG. — J'aime autant ne pas pouvoir recevoir certaines émissions, s'il faut, pour cela, que la sélectivité exagérée du récepteur détruise la musicalité.

CUR. — On peut, heureusement, concilier des propriétés en apparence incompatibles, en rendant la sélectivité du récepteur variable. On utilise alors une mauvaise sélectivité pour la réception des émissions qui ne risquent pas d'être perturbées, c'est-à-dire des émissions proches et puissantes. Elles sont alors reproduites avec le maximum de qualité musicale. Quant aux émissions lointaines et faibles, pour éviter des interférences, on les reçoit avec une sélectivité poussée. Dans tous les cas, on a ainsi le maximum de musicalité compatible avec une réception sans perturbations.

IG. — C'est épatant. Mais comment réalise-t-on la sélectivité variable.

CUR. — Vous êtes aujourd'hui, Ignotus, en veine de questions enfantines. Pour rendre variable la largeur de la bande passante d'un filtre, il suffit d'en rendre réglable le couplage. Ainsi, dans les filtres à couplage par induction mutuelle, on rend le couplage variable à l'aide de bobinages mobiles. Dans les filtres à impédance, on utilise des condensateurs ou des self-inductions variables. Certaines précautions sont prises pour éviter le désaccord des circuits qui pourrait être entraîné par la variation du couplage.

IG. — Eh bien, mon récepteur à moi sera à sélectivité variable !



VINGTIÈME ET DERNIÈRE CAUSERIE

Nous voici au terme de notre beau voyage à travers le pittoresque pays de la radio que vous ont fait accomplir les causeries de nos amis. Si vous les avez suivies attentivement, la radio n'a plus de secrets pour vous, du moins dans ses grandes lignes. Mais, avant de vous quitter, Curiosus et Ignotus, bénéficiant des connaissances acquises, vont tracer et analyser le schéma d'un récepteur moderne dont ils entreprendront le montage.

A l'œuvre !

IG. — Nom d'une penthode ! Que vois-je ! Avez-vous dévalisé un magasin d'accessoires de T. S. F., mon cher Curiosus ?

CUR. — Il s'en faut de peu, Ignotus. Nous allons, maintenant, entrer dans la phase active de notre collaboration technique qui, je l'espère, se révélera aussi féconde que...

IG. — Pitié ! Ne m'écrasez pas sous ce style ampoulé digne du Palais-Bourbon.. Dites-moi à quoi sert cette quantité de bobinages blindés, de lampes, de résistances et de condensateurs ?

CUR. — Mais tout simplement à commencer, enfin, le montage du récepteur depuis si longtemps promis à marraine. J'estime, en effet, que vous connaissez maintenant, tout ce qu'il faut savoir sur le fonctionnement des récepteurs pour pouvoir sans crainte en aborder la construction

IG. — Vous me voyez très flatté de cette marque de confiance, pour adopter le style qui, aujourd'hui, vous est cher... Encore voudrais-je savoir quel est le schéma que vous désirez m'imposer

CUR. — Je ne veux rien vous imposer, ami. Dites-moi vous-même vos desiderata, et je tâcherai de composer un schéma suivant vos vœux

IG. — Parfait. Eh bien, ce sera, évidemment, un superhétérodyne. Pour commencer, plaçons à l'entrée un filtre de bande présélecteur. Puisqu'il s'agit d'une bande passante assez large, juste suffisante pour éliminer la fréquence image, nous pourrions peut-être adopter un filtre à capacitance commune.

CUR. — Vos désirs sont exaucés, Ignotus. Voici le filtre en question. Le bobinage d'antenne L_1 est couplé par induction avec le premier circuit oscillant L_2C_1 qui, par la capacitance commune du condensateur C_3 est, à son tour, couplé au deuxième circuit L_3C_2

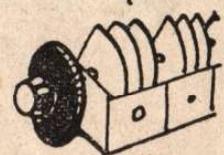
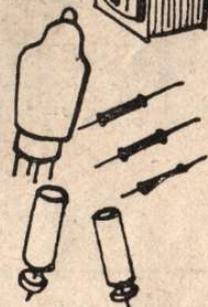
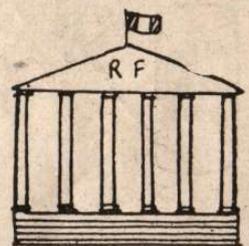
IG. — Merci. Maintenant, il serait bon d'assurer une préamplification de haute fréquence à l'aide d'une penthode

CUR. — Rien de plus facile. Nous la polarisons par la résistance R_1 (découplée par C_4) et fixons le potentiel de sa grille-écran à l'aide de R_2 et R_3 (découplage par C_5). Sa liaison avec la lampe suivante sera assurée par un transformateur L_4L_5 à secondaire accordé par C_7 . Enfin, le circuit de plaque est découplé par R_4 et C_6 .

IG. — C'est très bien. Je pense qu'une octode pourra utilement être placée à la suite de la penthode, pour changer la fréquence du courant amplifié

CUR. — C'est mon avis. L'octode sera polarisée par R_5 . Le circuit oscillant de l'hétérodyne locale sera composé de L_6 et C_8 , et la bobine de réaction sera représentée par L_7 . Le circuit L_6C_8 est relié à la première grille à travers C_{10} . Le potentiel de cette grille est fixé par R_6 . L'oscillation de haute fréquence sera appliquée au circuit L_5C_7 à la grille protégée par la double grille-écran. Le potentiel de cette dernière est fixé par R_7 et R_8 .

IG. — A voir tout cela de près, ce n'est pas bougrement compliqué. Maintenant, permettez-moi de réclamer l'adoption du principe de la sélectivité variable



CUR. — Ça tombe à pic. Nous allons placer à l'entrée et à la sortie de la penthode M. F. deux filtres de bande $Tr1$ et $Tr2$ à couplage variable par induction. Et maintenant ?...

IG. — Détectons notre courant de moyenne fréquence. Voulez-vous que nous utilisions à cet effet une diode combinée avec une triode, de manière à confier à cette dernière la préamplification à basse fréquence.

CUR. — Adopté. La résistance R_{15} et le condensateur C_{18} nous permettront de recueillir les tensions de basse fréquence que développe la détection par la diode. En l'occurrence, R_{15} est un potentiomètre, en sorte qu'une partie plus ou moins grande de cette tension sera, à travers le condensateur de liaison C_{17} , appliquée à la grille de la triode dont R_{16} fixera le potentiel. Ce potentiel est négatif par rapport à celui de la cathode qui, elle, est plus positive que la masse grâce à la résistance de polarisation R_{14} .

IG. — Voulons-nous faire un récepteur moderne. Curiosus ? Alors, il faut le munir d'un régulateur antifading. Ne pourriez-vous pas, à cette fin, utiliser les tensions développées à l'extrémité X de la résistance de détection R_{15} ?

CUR. — Bien entendu. Nous appliquerons ces tensions, à travers le système retardateur R_{17} et C_{19} aux grilles des penthodes de haute et de moyenne fréquence.

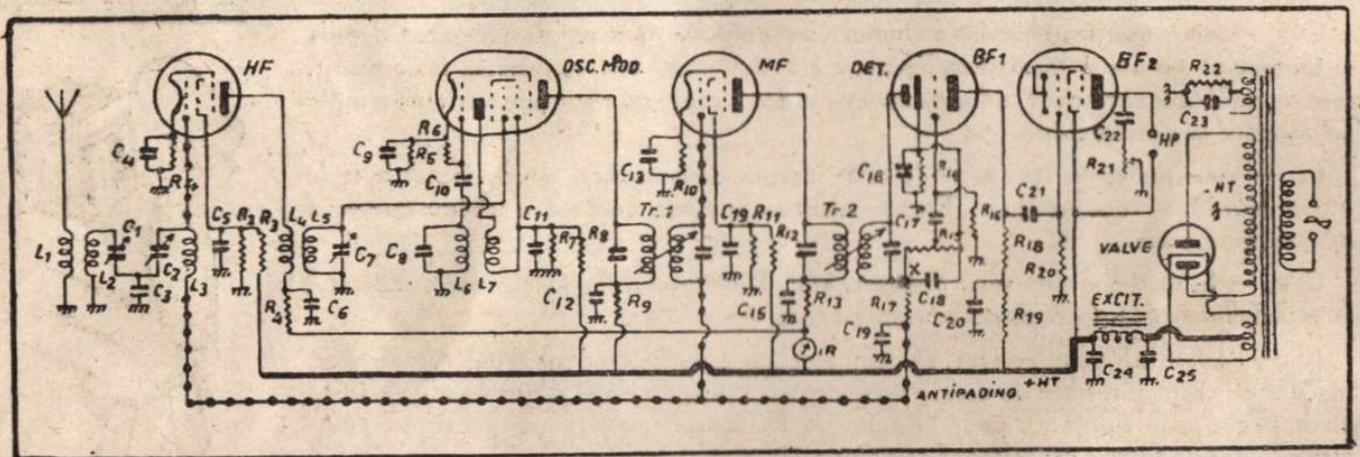


Fig. 119. — Et voici — après combien de modifications — le schéma définitif du récepteur dont Ignotus entreprendra la construction.

IG. — Et puisque nous avons ainsi un régulateur antifading, vous serait-il difficile de placer un indicateur visuel d'accord ?

CUR. — Rien de plus simple. Au lieu de faire aboutir directement au + H. T. les résistances de découplage R_4 et R_{13} des circuits de plaque de nos deux penthodes asservies à l'action de l'antifading, nous intercalerons entre elles et le + H. T. un milliampèremètre IR. En marquant la diminution maximum du courant, il précisera la position de l'accord exact.

IG. — Je vous remercie de satisfaire ainsi mes vœux à peine formulés. N'auriez-vous pas ce début de moustache, que je vous aurais pris pour une bonne fée... Mais continuons à bâtir notre futur récepteur. Restent encore la lampe de sortie et l'alimentation. Pour la liaison avec la lampe de sortie, j'envisage le système à résistance et capacité.

CUR. — Ainsi soit-il. Dans la plaque de la préamplificatrice, plaçons R_{18} et découplons par R_{19} et C_{20} . Le condensateur C_{21} assurera la liaison. Le potentiel de la grille de la penthode de sortie sera fixé par R_{20} . Et, comme c'est une lampe à chauffage direct, nous la polariserons en plaçant une résistance R_{22} entre le point médian de l'enroulement de chauffage et le - H. T. (masse). Quant à l'alimentation, elle sera classique sous tous les rapports. Le courant, dont les deux alternances sont redressées par une



valve biplaque, est filtré à l'aide d'un filtre composé des gros condensateurs C_{24} et C_{25} et de la self-induction de l'enroulement d'excitation du haut-parleur électrodynamique.

IG. — Je constate toutefois, entre la plaque de la lampe de sortie et la masse, la présence insolite d'un condensateur C_{22} en série avec une résistance variable R_{21} . A quoi servent-ils ?

CUR. — A dévier du haut-parleur les fréquences élevées du courant musical. Voyez-vous, Ignotus, les penthodes employées en basse fréquence ont la mauvaise habitude d'amplifier davantage les fréquences élevées, en favorisant ainsi les notes aiguës de la musique. Pour éviter que l'audition en devienne criarde, on atténue l'intensité des fréquences élevées en le faisant dévier à travers C_{22} et R_{21} . Plus la fréquence des courants est élevée, plus ils passent facilement à travers un condensateur, comme vous le savez. Pour régler la quantité du courant ainsi enlevé, par déviation, au haut-parleur, on rend le chemin de fuite plus ou moins facile en réglant à volonté la résistance R_{21} . Nous obtenons ainsi un *régulateur de tonalité* qui permet d'atténuer plus ou moins l'intensité des notes aiguës.

IG. — En somme, en plus du bouton d'accord du groupe des condensateurs variables (C_1 C_2 C_7 C_8), notre récepteur aura encore un bouton de commande de l'intensité (R_{15}) et un bouton de commande de la tonalité (R_{21}).

CUR. — Vous oubliez le bouton du commutateur des gammes d'ondes... Et, maintenant, cher ami, il ne vous reste plus qu'à vous armer d'une pince, d'un tourne-vis et d'un fer à souder, et à commencer le travail.

Derniers conseils.

IG. — Croyez-vous vraiment que je puisse me passer maintenant de vos conseils ?

CUR. — Certes, au cours des vingt soirées que nous avons si agréablement passées à bavarder, je ne vous ai pas exposé tous les petits détails de la théorie. Mais, aujourd'hui, vous en savez assez pour aisément comprendre n'importe quel schéma. Les montages les plus complexes peuvent être disséqués en un certain nombre d'éléments simples que vous connaissez parfaitement. Le temps et l'expérience vous apprendront à reconnaître du premier coup d'œil ces éléments qui vous sont familiers. En lisant les schémas, adoptez la bonne habitude de suivre, crayon en main, les parcours du courant dans différents circuits et, principalement, dans les circuits cathode-anode des lampes. N'oubliez pas que le courant, parti de la cathode, doit y retourner finalement. Exercez-vous aussi souvent que possible à ce jeu de lecture intelligente des schémas. Ce n'est qu'en pleine connaissance de cause, conscient du rôle de chacun des organes, que vous pourrez mener à bien le travail pratique de construction... N'oubliez pas non plus que la radioélectricité est une science jeune, en plein développement, et que, seule, la lecture de bons livres et revues vous permettra de vous tenir constamment au courant de ses progrès.

Vous m'avez, au cours de nos causeries, posé tant de questions, que je pense pouvoir, pour les conclure, vous en poser une à mon tour : estimez-vous toujours que la radio est « bougrement compliquée ? »

IG. — La radio?... Mais c'est très simple !

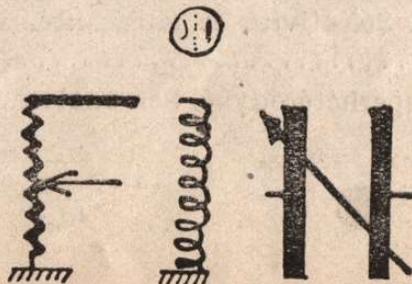
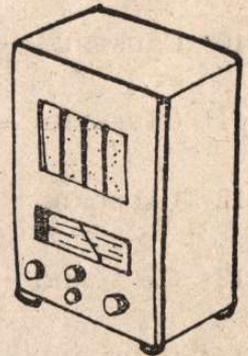


TABLE DES MATIÈRES

DES CAUSERIES

A QUI S'ADRESSE CE VOLUME?.....	5
1 ^{re} CAUSERIE. — Electrons et protons. Le courant. Tension. Intensité. Résistance. Loi d'Ohm	7
2 ^e CAUSERIE. — Courant alternatif. Champ magnétique. Induction	13
3 ^e CAUSERIE. — Self-induction. Inductance. Capacité. Condensateurs.....	17
4 ^e CAUSERIE. — Charge et décharge. Capacitance. Impédances	21
5 ^e CAUSERIE. — Déphasage. Résonance. Circuit oscillant. Oscillations	24
6 ^e CAUSERIE. — Accord. Sélectivité. Circuit d'accord	29
7 ^e CAUSERIE. — Les lampes. Cathode. Anode. Diode. Grille. Triode. Caractéristiques.	31
8 ^e CAUSERIE. — Courbes d'une lampe. Point de fonctionnement. Polarisation	37
9 ^e CAUSERIE. — Microphone. Courant de basse fréquence. Hétérodyne. Emetteur radiotélégraphique. Modulation	41
10 ^e CAUSERIE. — Détection. Détection par diode, par contact, par la courbure de plaque	45
11 ^e CAUSERIE. — Amplification H F et B F. Liaison par transformateur. Alimentation et polarisation des lampes	49
12 ^e CAUSERIE. — Amplificateurs à impédances : résistances, inductances et circuits oscillants. Détection « par la grille ».....	54
13 ^e CAUSERIE. — La réaction. Montage Hartley. Couplages parasites. Blindage. Tétrode. Penthode	59
14 ^e CAUSERIE. — Autres couplages. Découplage. « Schéma-squelette » et schéma complet. Gammes d'ondes. Commutation	65
15 ^e CAUSERIE. — Alimentation. Redressement. Valve biplaque. Filtrage. Chauffage Polarisation. Cas du courant continu.....	71
16 ^e CAUSERIE. — Interférence. Principe du superhétérodyne. Montages de changement de fréquence. Bigrille. Heptode. Octode	79
17 ^e CAUSERIE. — Fréquences-images. Présélection. Schéma d'un superhétérodyne. Haut-parleurs électromagnétiques et électrodynamiques.....	85
18 ^e CAUSERIE. — Fading. Réglage de l'intensité. Lampes à pente variable. Régulateurs antifading. Indicateur d'accord	89
19 ^e CAUSERIE. — Bandes de modulation. Sélectivité et musicalité. Filtres de bande. Sélectivité variable	94
20 ^e CAUSERIE. — Schéma complet d'un superhétérodyne. Son analyse. Derniers conseils	99

Commentaires & Compléments

AVERTISSEMENT



Il n'est pas interdit de s'imaginer que les Commentaires et Compléments qui suivent sont dus à la plume de l'Oncle de Curiosus, l'ingénieur Radiol, qui lui a jadis enseigné les éléments de radioélectricité. En quoi consistent-ils?

Quelques-uns ne sont que des résumés des causeries correspondantes, résumés présentés toutefois de manière à faire mieux comprendre les questions traitées. Et puisque, suivant un vieil adage, repetitio mater studiorum est, cette façon de réétudier un problème sera certainement utile.

Dans certains cas, des précisions ont été apportées pour fixer les ordres de grandeur des éléments entrant dans tel ou tel montage. Ou encore, sans faire appel à des connaissances mathématiques dépassant les premiers éléments d'algèbre, quelques formules sont données pour préciser certaines relations entre grandeurs électriques et permettre ainsi au lecteur d'effectuer quelques calculs très simples.

Par endroits, des questions se rapportant à la construction des appareils ont été traitées d'une manière plus concrète qu'il n'a été possible de le faire dans le corps des causeries.

Enfin, plusieurs questions qui ont été passées sous silence dans les entretiens de Curiosus et d'Ignotus et qui, sans être primordiales, n'en sont pas moins utiles à connaître, ont eu leur place tout indiquée dans les Commentaires et Compléments. Tel est le cas du montage push-pull, des différents régimes d'amplification B.F., de l'alimentation des récepteurs « tous courants », de l'antifading retardé, de la contre-réaction, du réglage unique, etc...

Ainsi complété et mis à jour des progrès les plus récents, l'ouvrage constitue un cours à la fois détaillé et explicite. Présenté d'une façon austère, il aurait pu être intitulé « Traité élémentaire de radioélectricité ». Mais à quoi bon exposer d'une façon ennuyeuse des questions qui ne le sont point par elles-mêmes?...

On notera que les indications des figures en chiffres arabes renvoient aux figures de la partie « Causeries »; les chiffres romains se rapportent aux illustrations propres de la partie « Commentaires et Compléments ».

Commentaires à la Première Causerie

Potentiel. Conducteurs et isolants.

Dans cette première causerie, Curiosus a réussi à exposer à Ignotus une quantité de notions indispensables d'électricité que nous tâcherons de résumer ici.

Les atomes de tous les corps se composent d'un certain nombre d'électrons et de protons. Les premiers représentent des charges élémentaires d'électricité négative; les protons sont des charges élémentaires positives. Le rapport entre les nombres de ces charges détermine l'état électrique ou le potentiel de l'atome. Celui-ci est neutre s'il contient autant d'électrons que de protons. Il est négatif si le nombre d'électrons est supérieur au nombre de protons et positif dans le cas contraire.

Il faut noter que, dans un atome donné, le nombre de protons demeure constant; seuls, certains électrons peuvent migrer d'un atome à l'autre, en s'échappant de la force d'attraction qui existe entre les protons et les électrons. Et encore, de tels électrons « libres » n'existent que dans certains corps dits conducteurs. Les corps dont les atomes ne comportent pas d'électrons libres appartiennent à la catégorie des isolants.

Courant électrique.

Quand entre les atomes d'un conducteur existe une différence d'état électrique ou différence de potentiel, l'équilibre se rétablit grâce au passage des électrons en excédent à l'extrémité négative (ou pôle négatif) vers l'extrémité (ou pôle) positive du conducteur où ils manquent. Ce passage d'électrons du pôle négatif vers le pôle positif constitue le courant électrique. Son sens réel est opposé au sens conventionnel (du positif au négatif) arbitrairement choisi à une époque où l'on ignorait encore la nature intime du courant.

Il convient de remarquer que le cheminement des électrons le long d'un conducteur s'effectue avec moins de simplicité que ne le laissent supposer les explications de Curiosus. Ce n'est pas le même électron qui parcourt le conducteur d'un bout à l'autre. Le plus souvent, il ne fait que passer d'un atome à l'atome voisin d'où, à son tour, un autre électron saute vers l'atome suivant et ainsi de suite. La vitesse individuelle de l'électron est relativement faible, mais le mouvement général se propage avec une vitesse constante voisine de 300.000 kilomètres par seconde qui est la vitesse du courant électrique.

- Si rien ne vient maintenir aux extrémités

du conducteur une différence de potentiel (ou tension), une fois l'équilibre électrique rétabli le courant cessera. Pour que le courant circule sans arrêt, il faut constamment ajouter des électrons aux atomes du pôle négatif et en retirer des atomes du pôle positif. C'est en cela que consiste le rôle de toute source d'électricité qui produit de l'énergie électrique, qu'il s'agisse d'une pile électrique (où l'énergie chimique se transforme en énergie électrique), d'une pile thermo-électrique (transformant la chaleur en électricité) ou d'une dynamo installée dans une centrale électrique et qui transforme l'énergie mécanique d'un moteur en courant électrique.

Volt. Ampère. Ohm.

La différence de potentiel ou tension existant entre deux points d'un conducteur est mesurée et exprimée en volts.

Le nombre d'électrons traversant une section d'un conducteur en une seconde peut être plus ou moins élevé. C'est lui qui détermine l'intensité du courant mesurée en ampères.

Suivant sa longueur, sa section et la nature même de sa matière, un conducteur oppose au passage du courant une résistance plus ou moins élevée. La résistance est mesurée en ohms.

Plus un conducteur est long, plus sa résistance est élevée. Par contre, plus sa section est grande, moins grande est sa résistance.

Loi d'Ohm.

En augmentant la tension appliquée aux extrémités d'un conducteur donné, nous augmentons dans la même proportion le nombre d'électrons mis en mouvement, c'est-à-dire l'intensité du courant. Ainsi constatons-nous que *l'intensité du courant est directement proportionnelle à la tension.*

En appliquant la même tension à des conducteurs de résistances différentes, on s'aperçoit que les conducteurs plus résistants laissent passer un courant plus faible. D'où il résulte que *l'intensité du courant est inversement proportionnelle à la résistance.*

Les deux constatations ci-dessus se trouvent résumées dans la loi d'Ohm: *l'intensité du courant est directement proportionnelle à la tension et inversement proportionnelle à la résistance.*

Ainsi, lorsqu'on connaît la valeur de la tension (en volts) appliquée aux extrémités d'un conducteur d'une résistance connue (et expri-

mée en ohms), en divisant la première valeur par la seconde on calcule l'intensité (en ampères) du courant qui parcourt le conducteur. Ainsi, en appliquant 10 volts à un conducteur de 5 ohms, nous aurons un courant de 2 ampères. De même, une tension de 1 volt appliquée à un conducteur de 1 ohm donnera lieu à un courant de 1 ampère.

Les trois expressions de la loi d'Ohm.

Puisque, dans la formule de la loi d'Ohm

$$I = \frac{E}{R}$$

la tension E figure le dividende, la résistance R le diviseur et l'intensité I le quotient, rappelons-nous que le dividende est égal au produit du diviseur par le quotient. Et nous pouvons alors exprimer la même loi sous une forme nouvelle:

$$E = I \times R$$

Qu'est-ce à dire? Que la tension est égale au produit de l'intensité par la résistance.

Ainsi, en connaissant l'intensité du courant qui traverse un conducteur de résistance donnée, pouvons-nous, en multipliant ces deux va-

leurs, déterminer la valeur de la tension qui provoque le courant en question.

Enfin, partant de cette deuxième expression de la loi d'Ohm et nous rappelant que le produit (E) divisé par l'un des multiplicateurs (I) doit nous donner l'autre (R), nous pouvons écrire:

$$R = \frac{E}{I}$$

ce qui est une troisième expression de la loi d'Ohm. Nous voyons que la résistance est égale à la tension divisée par l'intensité.

Si nous connaissons la valeur de la tension aux extrémités d'un conducteur et l'intensité du courant qu'elle provoque, en divisant la première valeur par la seconde nous obtenons la valeur de la résistance du conducteur.

C'est sur cette loi que sont basés les « ohmmètres », instruments servant à mesurer la résistance des conducteurs. Ils contiennent une pile dont la tension est connue et un ampèremètre (instrument mesurant l'intensité du courant). La tension de la pile étant appliquée au conducteur à mesurer, l'ampèremètre indique l'intensité du courant qui s'établit. Il suffit alors de diviser la tension connue de la pile par l'intensité indiquée par l'ampèremètre pour trouver la valeur de la résistance mesurée.

Commentaires à la 2^{me} Causerie

Courant alternatif.

Si, dans la première causerie, Curiosus a réussi à exposer les propriétés fondamentales du courant continu, c'est-à-dire d'un courant produit par une tension de valeur et de polarité constantes, il a, dans la deuxième, hardiment abordé l'étude du courant alternatif.

Celui-ci est produit par une tension alternative; on appelle ainsi une tension variable telle que chaque extrémité d'un conducteur se trouve par rapport à l'autre à des potentiels alternativement positifs et négatifs en passant par tous les potentiels intermédiaires (y compris le potentiel nul). Il en résulte un courant qui change constamment de sens: allant dans un sens il augmente, atteint une valeur maximum (appelée amplitude) diminue, s'annule pendant un instant, puis augmente, mais dans le sens contraire, là encore atteint la même valeur maximum, diminue ensuite pour repasser par zéro et reprendre le cycle de ses variations.

Le temps pendant lequel s'effectue un tel cycle (qui comprend un aller et retour du courant) s'appelle période du courant alternatif.

Le nombre de périodes que le courant accomplit en une seconde porte le nom de fréquence du courant. On conçoit aisément que plus la période est courte, plus il y en a en une seconde, plus la fréquence est élevée.

C'est le courant alternatif qui est utilisé dans la plupart des distributions actuelles d'électricité dans les villes et les campagnes. Il est produit par des machines appelées « alternateurs ». La fréquence usuelle est, en Europe, de 50 périodes par seconde, et, en Amérique, de 60 périodes par seconde.

Ondes électromagnétiques.

Ce sont là des fréquences « industrielles » qui, pour un radiotechnicien, sont très « basses ». Car, en radio, pour engendrer les ondes servant à la transmission, on utilise des courants de haute fréquence, soit au moins de 10.000 per/sec, autrement dit d'une période égale ou inférieure à 0,0001 sec. Chaque période d'un tel courant lancé dans un fil vertical (antenne d'émission) donne naissance à une onde électromagnétique qui se propage dans l'espace à la manière d'un anneau s'élargissant constamment autour de l'antenne. Cet

élargissement s'effectue à une vitesse prodigieuse qui éloigne l'onde de l'antenne à raison de 300.000.000 de mètres par seconde, vitesse égale à celle de la lumière. Ce fait n'a rien d'étonnant, puisque les ondes de la radio et les ondes lumineuses sont de nature identique: dans les deux cas, il s'agit des ondes électromagnétiques. Seules, diffèrent les fréquences qui, pour les ondes lumineuses, sont beaucoup plus élevées.

La distance entre deux ondes successivement émises par une antenne s'appelle **longueur d'onde**. Plus la période est courte (ou la fréquence élevée), plus cette distance est faible, les ondes se suivant à des intervalles plus courts. On distingue, en radio, plusieurs catégories ou « gammes » d'ondes fixées d'une façon un peu arbitraire:

Les ondes **longues** (ou « grandes ondes »): plus de 600 mètres de longueur d'onde.

Les ondes **moyennes** (ou « petites ondes »): entre 200 et 600 mètres.

Les ondes **courtes**: de 10 à 200 mètres.

Les ondes **ultra-courtes**: de 1 à 10 mètres.

Les ondes **décimétriques**: de 10 centimètres à 1 mètre.

Les ondes **centimétriques**: de 1 à 10 centimètres. Ces dernières rejoignent presque les plus longues des radiations infra-rouges.

Notons encore qu'en radioélectricité, au lieu du mot « période » on emploie souvent « cycle ». Et les expressions « période par seconde » ou « cycle par seconde » peuvent être remplacées par **hertz** (du nom du physicien qui a démontré expérimentalement l'existence des ondes électromagnétiques ou ondes hertziennes). Comme en radio on a souvent affaire à des fréquences élevées, on se sert de multiples de cette unité:

kilohertz = 1.000 hertz (ou périodes par seconde);

mégahertz = 1.000.000 de hertz (ou périodes par seconde).

Champ magnétique.

La création par le courant électrique des ondes électromagnétiques est une des multiples manifestations de la parenté étroite — pour ne pas dire plus — qui unit les phénomènes électriques et magnétiques. Tout déplacement d'électrons engendre dans le voisinage un état particulier de l'espace que l'on appelle **champ magnétique**. L'aiguille aimantée d'une boussole décèle la présence du champ magnétique créé autour d'un conducteur parcouru par un cou-

rant, en s'orientant perpendiculairement par rapport au conducteur. Si l'on inverse le sens du courant, l'aiguille décrit un demi-tour, ce qui démontre que le champ magnétique a une polarité déterminée par le sens du courant.

Le champ magnétique d'un conducteur peut être rendu plus intense en enroulant ce conducteur (fil métallique) de manière à former une bobine. Les champs magnétiques de toutes les spires s'additionnent alors. Et la bobine parcourue par le courant agit à la manière d'un véritable aimant linéaire.

L'action d'un tel aimant sera renforcée en introduisant à l'intérieur du bobinage une barre de fer. Le fer offre aux forces magnétiques une plus grande perméabilité que l'air. Aussi le champ magnétique se concentre-t-il dans un noyau magnétique ainsi constitué, et nous obtenons un électro-aimant. Si le noyau est en fer doux, il perd son aimantation lorsque le courant est coupé (ou n'en conserve qu'une faible partie). S'il est en acier, il demeure aimanté. C'est par ce procédé que l'on fabrique actuellement des aimants artificiels.

Induction.

Si des variations de courant électrique entraînent des variations correspondantes du champ magnétique qu'il crée, inversement, *des variations de champ magnétique engendrent des courants variables dans les conducteurs*. C'est ainsi qu'en approchant ou en éloignant un aimant d'une bobine, nous faisons apparaître dans celle-ci un courant qui ne durera que pendant le mouvement de l'aimant, c'est-à-dire pendant la variation du champ.

Au lieu d'un aimant, on peut approcher un électro-aimant formé par une bobine parcourue par un courant continu; le résultat sera le même. On peut encore fixer cette bobine à demeure au voisinage de l'autre et la faire parcourir par un courant variable; celui-ci engendrera un champ magnétique variable qui, à son tour, donnera, dans la deuxième bobine, naissance à un courant variable. Ainsi, un courant alternatif parcourant la première bobine donnera naissance à un courant alternatif dans la deuxième. Nous sommes en présence du phénomène de l'**induction**. Sans qu'un contact matériel soit pour ceci nécessaire, il y a un couplage magnétique entre les deux bobines dont l'ensemble constitue un **transformateur** électrique. Nous verrons plus loin la raison de cette appellation.

Commentaires à la 3^{me} Causerie

Loi de Lentz.

Poursuivant l'étude de l'induction magnétique, nos jeunes amis, sans la nommer, redécouvrent la loi de **Lentz**. Ils constatent, en effet, que *le courant induit semble s'opposer à chaque instant aux variations du courant conducteur*. Quand celui-ci augmente, le courant induit circule dans le sens opposé. Et quand le courant inducteur diminue, le courant induit circule dans le même sens.

Les phénomènes de l'induction obéissent, nous le voyons, à une loi très générale de la nature: la loi de l'action et de la réaction.

Le courant induit dépend de la vitesse de la variation du courant inducteur ainsi que de son intensité

Self-induction.

Si le courant circulant dans un bobinage induit des courants dans des bobinages se trouvant dans son voisinage, à plus forte raison en induit-il dans les propres spires de la bobine où il circule. Ce phénomène de self-induction est soumis aux mêmes lois que celles qui régissent l'induction. Par conséquent, lorsque l'intensité du courant circulant dans une bobine tend à augmenter, un courant de self-induction prend naissance en sens opposé et ralentit l'augmentation du courant inducteur. Pour cette raison, lorsqu'on applique une tension à un bobinage, le courant qui s'y établit ne peut pas atteindre instantanément son intensité normale (telle qu'elle est déterminée par la loi d'Ohm); il lui faut pour cela un certain temps, d'autant plus long que la self-induction de la bobine est plus marquée. De même, lorsque nous augmentons progressivement la tension aux extrémités d'une bobine, l'intensité du courant suivra cette augmentation avec un certain retard, le courant de self-induction agissant en sens opposé.

Si, par contre, nous diminuons la tension appliquée à la bobine, là encore la diminution de l'intensité se produira avec un certain retard, le courant de self-induction allant alors dans le même sens que le courant inducteur et le prolongeant en quelque sorte. Dans le cas extrême, lorsqu'on produit une brusque annulation de la tension appliquée à une bobine (en ouvrant, par exemple, un interrupteur), la très rapide variation du courant inducteur provoque une tension induite qui peut être de valeur élevée et donne naissance à une étincelle qui jaillit entre les contacts de l'interrupteur.

Inductance.

Lorsqu'une tension alternative est appliquée à une bobine de self-induction, le courant alternatif qu'elle crée entretient un champ magnétique alternatif qui, à son tour, maintient un courant de self-induction s'opposant constamment aux variations du courant inducteur et, de ce fait, l'empêchant d'atteindre l'intensité maximum qu'il aurait pu avoir en l'absence de la self-induction. (N'oublions pas, en effet, que lorsque le courant inducteur augmente, le courant induit va en sens inverse et, par conséquent, doit en être retranché). Tout se produit donc comme si à la résistance normale (on dit « ohmique ») du conducteur venait s'ajouter une autre résistance due à la self-induction. Cette *résistance de self-induction* ou **inductance** est d'autant plus élevée que la fréquence du courant est plus grande (puisque les variations plus rapides du courant inducteur suscitent des courants de self-induction plus intenses) et que la self-induction elle-même est plus élevée.

La self-induction d'un bobinage dépend uniquement de ses propriétés géométriques: nombre et diamètre des spires et leur disposition. Elle croît vite avec l'augmentation du nombre des spires. L'introduction d'un noyau en fer, en intensifiant le champ magnétique, l'élève dans des proportions considérables. La self-induction d'un bobinage est exprimée en henrys ou en sous-multiple de cette unité: millihenry (mH) qui est le millième du henry et microhenry (μ H), millionième du henry.

Si l'on désigne par L la self-induction d'une bobine exprimée en henrys, un courant de fréquence f y rencontrera une inductance de $6,28 \times L \times f$ ohms. (On remarquera que $6,28$ est pris ici comme valeur rapprochée de 2π .)

Condensateur.

Ayant ainsi passé en revue les principaux phénomènes d'induction et de self-induction, Curious et Ignotus se sont lancés à corps perdu dans l'étude des condensateurs qui ont la... **capacité** d'accumuler des charges électriques. Le condensateur se compose de deux conducteurs (qui en forment les **armatures**) séparés par un corps isolant ou, en « style ingénieur », par un **diélectrique**. Si l'on connecte les deux armatures à une source de courant électrique, des électrons s'accumulent dans celle qui est connectée au pôle négatif et, au contraire, quittent celle connectée au pôle positif. Cette charge est intensifiée par le phénomène de répulsion entre électrons des deux arma-

tures rapprochées. Si les mêmes armatures se trouvaient écartées, elles ne pourraient pas emmagasiner les mêmes charges d'électricité.

Au moment où la source est connectée au condensateur, il s'établit un **courant de charge**, d'abord intense, puis de plus en plus faible au fur et à mesure que les armatures sont portées aux potentiels des pôles de la source. Le courant cesse lorsque ces potentiels sont atteints. Sa durée totale est très courte.

Capacité.

Suivant que la quantité d'électricité qu'un condensateur peut emmagasiner est plus ou moins grande, on dit que sa capacité l'est plus ou moins. La capacité est mesurée en **farads** ou en sous-multiples de cette unité: **microfarad** (μF), millionième de farad, **millimicrofarad** ($m\mu\text{F}$) égal à 0,000.000.001 F et même **micro-**

microfarad ou **picofarad** ($\mu\mu\text{F}$) égal à 0,000.000.000.001 F!...

La capacité dépend, évidemment, de la surface des armatures en regard et augmente avec elle. Elle est d'autant plus élevée que les armatures sont plus rapprochées, sans qu'il soit toutefois possible d'aller très loin dans cette voie, puisqu'une épaisseur trop faible de diélectrique risque d'être transpercée par une étincelle sous l'effet d'une tension tant soit peu élevée (le condensateur « claque », dit-on en argot d'électricien). Enfin, la capacité dépend aussi de la nature du diélectrique. Le meilleur (et aussi le moins coûteux) des diélectriques est l'air sec. Si on lui substitue tout autre diélectrique, la capacité du condensateur augmente.

Notons que, par contre, la capacité du condensateur est indépendante de la nature et de l'épaisseur des armatures.

Commentaires à la 4^{me} Causerie

Passage du courant alternatif à travers un condensateur.

Dans la précédente causerie, nous avons abandonné notre condensateur chargé. En le déconnectant de la source d'électricité et en connectant ses armatures à une résistance, nous provoquerons sa **décharge**. Les électrons en excédent sur l'armature négative viendront, à travers la résistance, combler le déficit de l'armature positive. Le courant de décharge, intense au début, deviendra plus faible au fur et à mesure que la différence de potentiel entre les armatures diminuera et cessera finalement lorsque les deux armatures seront au même potentiel.

On peut produire une suite ininterrompue de charges et de décharges du condensateur en le connectant à une source de courant alternatif. Les armatures se chargent, déchargent et rechargent alors au rythme de la tension alternative et, dans le circuit (on appelle ainsi l'ensemble des éléments parcourus par le courant), s'établit une véritable circulation de courant. Cela permet de dire que le condensateur est **traversé** par le courant alternatif, sans que, toutefois, des électrons passent pour cela à travers son diélectrique d'une armature à l'autre.

Capacitance.

Bien entendu, le passage du courant alternatif à travers un condensateur ne s'effectue pas avec la même aisance qu'à travers un bon conducteur; le condensateur oppose au courant

une certaine résistance « capacitive » que l'on appelle **capacitance**. Celle-ci est *d'autant plus faible que la capacité est plus élevée et que la fréquence du courant est plus grande*; car plus il y a de variations par seconde, plus sera grand le nombre d'électrons traversant en une seconde une section des conducteurs du circuit.

Si l'on désigne par C la capacité mesurée en farads d'un condensateur traversé par un courant de fréquence f , la capacitance est égale à

$$\frac{1}{6,28 C f} \text{ ohms.}$$

On voit, en les comparant, que *l'inductance et la capacitance ont des propriétés nettement opposées*: alors que l'inductance croît avec la self-induction et la fréquence, la capacitance, elle, diminue lorsque la capacité ou la fréquence augmentent.

Déphasage.

L'opposition entre la self-induction et la capacité se manifeste aussi d'une autre manière, bien curieuse celle-là. Rappelons-nous que, du fait de la self-induction, l'intensité du courant suit les variations de la tension alternative avec un certain *retard*. Ce décalage entre courant et tension porte le nom de **déphasage**. On dit aussi que courant et tension « ne sont pas en phase ».

En étudiant la circulation du courant alternatif dans un circuit comportant un condensa-

teur (fig. 12), on remarquera que le mouvement des électrons s'arrête (le courant devient nul), au moment où la tension devient maximum; puis, quand la tension décroît, l'intensité du courant monte; elle est la plus grande lorsque la tension passe par zéro pour changer de sens; ensuite, au fur et à mesure que le condensateur se recharge, c'est-à-dire que la tension monte dans l'autre sens, l'intensité diminue pour devenir nulle au moment où la tension atteint sa valeur maximum. Ce déroulement des phénomènes devient particulièrement évident lorsque, en se rapportant à la figure 12, on se souvient que les maxima de tension correspondent aux positions extrêmes du piston (ou incurvations maxima de la membrane) et que la tension passe par zéro lorsque le piston est dans la position moyenne (et la membrane est plane). Nous voyons qu'ici l'intensité du courant varie *en avance* sur les variations de la tension, car, lorsque celle-ci est encore nulle, le courant est déjà maximum. Nous sommes donc, comme dans le cas de la self-induction, en présence d'un déphasage, mais dans le sens opposé.

Si le circuit ne comprend qu'une self-induction pure ou qu'une capacité pure, le déphasage atteint un quart de période. Ce cas est graphiquement représenté dans les figures 16 et 17 qui méritent de retenir longtemps l'attention du lecteur.

En réalité, la self-induction ou la capacité n'existent pas à l'état « pur »: il est obligatoire que le circuit comprenne également une certaine résistance ohmique. Aussi, le déphasage n'atteint-il jamais la valeur maximum de $1/4$ de période que lui assigne la théorie.

Associations d'impédances.

Bien mieux, dans tout circuit, un examen attentif décèle la présence des trois sortes d'impédances que sont l'inductance, la capacité et la résistance ohmique. N'oublions pas, en effet, que même un conducteur rectiligne possède une certaine self-induction; et des effets de capacité peuvent être constatés entre ses différents points. Toutefois, en pratique, on ne tient compte que des valeurs dominantes; ainsi, dans un bobinage offrant à un courant de fréquence donnée une inductance de 10.000 ohms, on négligera volontiers les 10 ohms de sa résistance ohmique. (Mais, si ce bobinage est soumis à une tension *continue*, ce sont ces 10 ohms qui seront *seuls* à considérer, puisque la self-induction ne se manifeste que pour des tensions variables.)

Les impédances peuvent s'associer dans un circuit de manières diverses plus ou moins complexes. On dit qu'elles sont connectées en

série si le courant les traverse successivement, elles sont associées **en parallèle** (ou **en dérivation**, ou **en shunt**) si le courant, en bifurquant, les parcourt simultanément.

Quand les impédances sont disposées *en série*, les effets de ces obstacles successifs s'ajoutent. Ainsi, *plusieurs résistances en série sont-elles équivalentes à une résistance égale à leur somme*. Inductances et capacités en série s'ajoutent également, mais point de la façon élémentaire telle que la conçoit Ignotus. En songeant aux effets contraires que self-induction et capacité exercent sur le courant, on imaginera sans peine qu'ils doivent se neutraliser dans une certaine mesure. De la sorte, l'impédance d'un circuit formé par une self-induction et une capacité en série, sera-t-elle plus faible que leurs inductance et capacité séparément envisagées. L'addition pure et simple des impédances en série n'est valable que lorsque le circuit se compose uniquement de résistances ohmiques, ou uniquement de capacités, ou uniquement d'inductances. Encore faut-il, dans ce dernier cas, qu'il n'y ait pas d'induction mutuelle entre les différents bobinages.

Impédances en série.

Puisque les inductances en série s'additionnent, il faut conclure que les self-inductions (auxquelles elles sont, ne l'oublions pas, proportionnelles), doivent, elles aussi, s'additionner. Autrement dit, *plusieurs bobinages placés en série sont, par leurs effets électriques, équivalents à un seul bobinage dont la self-induction est égale à la somme de leurs self-inductions*.

En serait-il de même des condensateurs? On devine que non, car les capacités sont inversement proportionnelles aux inductances. Et puisque les capacités de plusieurs condensateurs en série s'additionnent, ce sont *les inverses de leurs capacités qui doivent être additionnés pour donner l'inverse de la capacité équivalente*. Si nous appelons C_1, C_2, C_3 , etc., les capacités des condensateurs placés en série, la capacité C du condensateur unique pouvant les remplacer tous sera donc déterminée par l'expression:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \text{ etc..}$$

Dans le cas particulier où il ne s'agit que de deux condensateurs C_1 et C_2 :

$$C = \frac{C_1 \times C_2}{C_1 + C_2}$$

On notera que la capacité équivalente est toujours inférieure à la plus faible des capacités composantes. C'était, d'ailleurs, à prévoir.

puisque c'est la condition de l'accroissement de la capacitance résultant de la mise en série de plusieurs condensateurs.

Impédances en parallèle.

Étudions maintenant le comportement des impédances branchées *en parallèle*. Ainsi placées, elles offrent au courant plusieurs chemins au lieu d'un chemin unique et facilitent d'autant son passage. Contrairement à ce qui a lieu dans le cas de l'association en série, ce ne sont plus leurs résistances, mais leurs **conductibilités** qui s'additionnent. *La conductibilité, il est aisé de le deviner, est l'inverse de la résistance.*

Ainsi, lorsque plusieurs résistances ohmiques R_1, R_2, R_3 , etc... sont associées en parallèle, la résistance R équivalente de cet ensemble sera aisément déterminée par la somme de leurs conductibilités à laquelle doit être égale sa propre conductibilité:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}, \text{ etc...}$$

Dans le cas particulier de deux résistances R_1 et R_2 , la résistance équivalente

$$R = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$$

Et si nous associons en parallèle deux résistances de valeur égale, la résistance équivalente est égale à la moitié de cette valeur.

Un raisonnement analogue nous permettrait d'obtenir des résultats identiques pour les inductances et pour les self-inductions de bobines associées en parallèle (mais non couplées par induction).

Nous trouverions de même que, dans le cas de condensateurs branchés en parallèle, l'inverse de la capacitance équivalente est égale à la somme des inverses des capacitances composantes. Mais quant aux capacités, il serait imprudent de leur faire subir le même traitement mathématique. Déjà dans le cas des associations en série, nous avons vu que les capacités se distinguent par leur caractère bizarre. Et la cause de leur conduite particulière réside dans le fait que la capacitance est inversement proportionnelle à la capacité.

Aussi, sans effort concluons-nous que, si ce sont les inverses des capacitances qu'il convient d'additionner, *ce sont les valeurs mêmes des capacités que nous totaliserons pour calculer la capacité équivalente de plusieurs condensateurs en parallèle.*

Peut-être toutes ces notions de résistance, self-induction, capacité d'une part, et de leurs impédances respectives d'autre part, associées tantôt en série, tantôt en parallèle, créeront-elles quelque confusion dans l'esprit du lecteur. Et il en sera bien excusable. Mais Curiosus veillera à mettre bon ordre dès le début de la prochaine causerie dont le présent exposé a, d'ailleurs, préparé grandement la compréhension aisée.

Commentaires à la 5^{me} Causerie

Résonance électrique.

Devançant les explications de Curiosus, nous avons, dans nos commentaires, exposé la notion du déphasage et montré que, en passant dans une self-induction, le courant est en retard sur la tension, alors qu'il est en avance lorsqu'il passe dans une capacité. De même, nous appuyant sur le fait que self-induction et capacité possèdent des propriétés opposées, nous avons dit que, associées en série, inductance et capacitance se neutralisent plus ou moins.

Examinons de plus près l'impédance d'un tel ensemble (fig. 18) où aux bornes d'une source de tension alternative sont branchés un bobinage et un condensateur en série. Admettons, en outre, que nous pouvons à volonté modifier la fréquence de la tension alternative

Si, pour une fréquence donnée, l'inductance est inférieure à la capacitance, c'est donc l'effet de la capacité qui va dominer: le courant ira en avance sur la tension et l'impédance

de l'ensemble sera égale à la capacitance moins l'inductance (en négligeant la résistance ohmique).

Maintenant, augmentons progressivement la fréquence. Que se produira-t-il? L'augmentation de la fréquence aura pour effet d'augmenter la valeur de l'inductance et de diminuer celle de la capacitance. Il viendra donc un moment où, *pour une certaine fréquence, l'inductance sera égale à la capacitance.* Ces deux valeurs égales, se retranchant l'une de l'autre, feront que *l'impédance de l'ensemble sera nulle. Le déphasage, lui aussi, sera nul*, c'est-à-dire le courant sera en phase avec la tension. Et, du fait que l'impédance du circuit est nulle, l'intensité du courant deviendra, en théorie du moins, infiniment élevée. En réalité, le circuit possède toujours une certaine résistance ohmique, en sorte que son impédance ne peut pas devenir nulle et que le courant sera, de la sorte, limité.

Si nous continuons à augmenter la fréquence, c'est l'inductance qui deviendra supérieure à la

capacitance, le courant sera en retard sur la tension et l'impédance croîtra de nouveau.

Nous voyons donc qu'il y a une seule fréquence pour laquelle l'impédance devient, sinon nulle, du moins la plus faible, et le courant maximum. C'est la fréquence de résonance. On dit aussi que, pour cette fréquence, le courant est en résonance avec le circuit.

Décharge oscillante.

On peut observer le même phénomène de résonance en connectant un bobinage aux armatures d'un condensateur chargé (fig. 19). Alors que, dans une résistance ohmique le courant se décharge, s'affaiblit et s'annule au bout d'un temps très court, ici nous observerons une « décharge oscillante ». La self-induction, on s'en souvient, s'oppose à la diminution d'un courant en le prolongeant en quelque sorte par un courant de self-induction allant dans le même sens. Ce courant recharge le condensateur en inversant les polarités des armatures. Le condensateur se décharge de nouveau (le courant allant alors dans le sens contraire), se recharge encore sous l'effet de la self-induction et ainsi de suite. Un courant alternatif circule dans notre circuit sans aucun apport extérieur d'énergie; et il n'y aurait aucune raison pour que ce mouvement s'arrêtât... si notre circuit n'avait pas une résistance ohmique où se dissipe peu à peu l'énergie initiale qui était contenue dans la charge du condensateur.

Du fait de cette perte progressive d'énergie, chaque oscillation suivante est plus faible que la précédente et, finalement, toute l'énergie étant dissipée, l'oscillation s'arrête. Telle est l'allure des oscillations amorties (fig. 21 A) jadis utilisées en radiotélégraphie, alors que chaque décharge excitante était provoquée par le jaillissement d'une étincelle. A cette méthode primitive des ondes amorties est, plus tard, venu se substituer l'emploi des ondes entretenues (fig. 21 B). Le courant qui les engendre est encore un courant alternatif prenant naissance dans un circuit oscillant, comme on appelle le circuit composé d'un condensateur branché aux bornes d'un bobinage. Pour éviter l'affaiblissement progressif des oscillations, tel qu'il a lieu dans les oscillations amorties, il suffit de compenser les pertes d'énergie en apportant de l'extérieur au circuit oscillant des doses d'énergie nécessaires et suffisantes pour maintenir constante leur amplitude.

Il faut que cet apport, ce « réapprovisionnement » s'effectue à la même cadence que les oscillations propres du circuit qui, bien entendu, s'effectuent à sa fréquence de résonance (pour laquelle l'impédance est la plus faible). Si les

impulsions extérieures sont injectées dans le circuit oscillant à une fréquence différente de sa fréquence de résonance, loin de les maintenir constantes, elles vont contrarier les oscillations et, en fin de compte, nous n'obtiendrons dans le circuit qu'un courant bien faible.

Résonance en série et en parallèle.

La source de tension alternative ayant pour fonction le réapprovisionnement en énergie du circuit oscillant, peut communiquer avec celui-ci soit par induction (fig. 22 a), soit directement (fig. 22 b). Si le circuit oscillant dissipe peu d'énergie (résistance ohmique et autres causes de pertes étant réduites), on dit qu'il est peu amorti. Dans ce cas, l'énergie qu'il empruntera à la source de tension alternative sera, elle aussi, faible (puisque'elle est égale à l'énergie perdue qu'elle doit compenser). Ainsi, moins le circuit oscillant est amorti, moins il emprunte d'énergie au circuit extérieur qui l'alimente. Et nous sommes en présence d'une situation quasi-paradoxe. Alors qu'à l'intérieur du circuit oscillant le courant alternatif atteint une grande intensité (d'autant plus grande qu'il est moins amorti), dans le circuit extérieur (en trait fin dans la figure 22 b) le courant est faible (et d'autant plus faible que le circuit oscillant est moins amorti). Ou encore, — et ceci est un autre aspect du même phénomène, — l'impédance du circuit oscillant est très faible pour le courant qui circule dedans; mais au courant du circuit extérieur il oppose une impédance élevée. Tout cela, évidemment, pour la fréquence de résonance.

Si Curiosus voulait mieux faire comprendre les choses à Ignotus, il irait chercher une comparaison opportune... à la cuisine, en assimilant le circuit oscillant à une casserole pleine d'eau amenée à l'ébullition. Si la casserole perd peu de chaleur dans l'air environnant, la température d'ébullition peut être maintenue avec une flamme très faible (cas d'un circuit à faibles pertes où les oscillations sont entretenues par un faible apport d'énergie). Mais si la casserole perd beaucoup de chaleur, par exemple du fait que sa surface de réfrigération est étendue, il faudra une flamme intense pour maintenir l'ébullition. C'est le cas du circuit oscillant fortement amorti.

Impédance d'un circuit oscillant.

Résumons maintenant les notions que nous avons acquises sur la résonance. Dans le cas de la figure 18, nous sommes en présence d'un condensateur et d'un bobinage branchés en série avec la source de tension. Pour la fré-

quence de résonance, ce circuit série offre le minimum d'impédance et l'intensité du courant atteint le maximum.

Dans le cas de la figure 22 b, le condensateur et le bobinage sont branchés en **parallèle** avec la source de tension alternative. Le circuit oscillant oppose alors à la source l'impédance maximum et laisse passer un courant d'intensité très faible; mais ce faible courant suffit

pour entretenir dans le circuit oscillant un courant de grande intensité.

On comprend, en examinant ce dernier cas, que les tensions de fréquences autres que la fréquence de résonance ne jouiront plus des mêmes propriétés. Les oscillations forcées qu'elles engendreront dans le circuit oscillant seront faibles, et faible sera également l'impédance que leur opposera le circuit oscillant.

Commentaires à la 6^{me} Causerie

Formule de Thomson.

La période propre ou la période de résonance d'un circuit augmente avec l'augmentation de la self-induction ou de la capacité. Cela est parfaitement logique, car tout ce que nous avons appris au sujet de ces deux grandeurs montre que leur accroissement ne peut que ralentir les oscillations.

Bien mieux, le peu de formules que nous avons établies dans nos résumés nous permettront de déduire la formule de la résonance sans nous livrer à des acrobaties périlleuses.

La résonance a lieu, nous l'avons vu, lorsque l'inductance devient égale à la capacitance pour une certaine fréquence. Essayons de déterminer cette fréquence en établissant l'égalité énoncée.

L'inductance, cela a déjà été dit, est égale à

$6,28 f L$ où f est la fréquence et L la self-induction (en henrys).

De même, la capacitance est égale à

$\frac{1}{6,28 f C}$ où C est la capacité (en farads).

Notre égalité sera donc exprimée comme suit:

$$6,28 f L = \frac{1}{6,28 f C}$$

Nous avons ce que l'on appelle une équation. Il ne sera guère difficile de déterminer à quoi est égal f , la fréquence que nous cherchons. A cet effet, multiplions les deux termes (valeurs égales réunies par le signe =) par f et divisons-les par $6,28 L$. Nous obtenons:

$$f^2 = \frac{1}{6,28^2 L C}$$

Et, pour terminer, extrayons la racine carrée des deux termes:

Comme la période T est l'inverse de la fréquence f , nous pouvons également écrire:

$$T = 6,28 \sqrt{LC}$$

Et voilà la formule de Thomson établie avec toute la rigueur mathématique désirée... ou presque. Car nous avons négligé la résistance ohmique qui, cependant, intervient, surtout si elle est de valeur relativement importante. Mais dans les circuits employés en radio, on s'efforce à réduire la résistance ohmique au minimum. Aussi, la formule que nous avons établie y demeure-t-elle parfaitement valable.

Elle nous montre, entre autre, que si nous augmentons la capacité (ou la self-induction), 4 ou 9 ou 16 ou 25 fois, la période n'augmentera respectivement que 2 ou 3 ou 4 ou 5 fois (et la fréquence diminuera autant de fois).

Sélectivité.

Le phénomène de la résonance offre, en radio, la précieuse possibilité de sélectionner, parmi les nombreuses émissions faites sur des fréquences différentes, celle que nous désirons recevoir. C'est grâce à leur sélectivité que les récepteurs ne reproduisent pas simultanément toutes les émissions dont les ondes agitent l'éther et engendrent des courants de haute fréquence dans l'antenne de réception.

Des circuits oscillants en nombre plus ou moins élevé (un récepteur de modèle courant en comporte cinq), disposés aux points appropriés des circuits électriques d'un récepteur, permettent de ne laisser passer que la fréquence caractéristique d'un émetteur à l'exclusion de toutes les autres.

C'est ainsi qu'un circuit oscillant placé dans l'antenne laissera aisément passer vers la terre tous les courants de fréquences diverses, sauf celui de sa fréquence de résonance. En opposant à celui-ci une impédance élevée, le circuit oscillant verra donc se former à ses bornes une tension alternative qui sera transmise à la suite des circuits d'utilisation du récepteur.

De même, si le circuit oscillant est, comme dans la figure 23, couplé à l'antenne par induction, seuls les courants de la fréquence de résonance susciteront un courant important dans le circuit oscillant et feront apparaître une tension alternative à ses bornes A et B.

Accord des circuits.

Pour pouvoir choisir l'émission, il faut pouvoir varier la fréquence de résonance des circuits oscillants ou, comme on dit, les **accorder** sur différentes fréquences. (On dit, de même, **circuit d'accord** pour désigner un circuit oscillant accordé sur la fréquence de l'émetteur.)

L'accord des circuits est effectué en variant la valeur de l'une de leurs composantes: self-induction ou capacité. Pour pouvoir parcourir toute une « gamme » de différentes fréquences sans aucun trou, c'est-à-dire pour changer progressivement l'accord sur une certaine étendue de fréquences, il est plus commode de changer la capacité; c'est réalisé à l'aide des **condensateurs variables** comportant une armature fixe et une armature mobile. Chacune de ces armatures se compose de plusieurs lames, les lames mobiles étant intercalées entre les fixes et étant toutes montées sur un axe. La rotation de ce dernier fait sortir les lames mobiles plus ou moins d'entre les lames fixes, ce qui a

pour effet de diminuer plus ou moins la surface en regard des armatures et, par conséquent, la capacité même du condensateur.

Pour que l'accord puisse être effectué avec précision, le mouvement du bouton de manœuvre est démultiplié à l'aide d'un mécanisme approprié appelé **démultipliateur** (par exemple, système d'engrenages), en sorte que plusieurs tours du bouton sont nécessaires pour faire parcourir à l'armature mobile sa course utile.

L'axe du condensateur variable commande en même temps le mouvement d'une aiguille se déplaçant devant un **cadran** étalonné en fréquences (ou en longueurs d'onde) et portant l'indication des positions d'accord correspondant aux principales stations de radiodiffusion.

Les condensateurs variables les plus usuels sont de $0,5 \text{ m}\mu\text{F}$ ou de capacité plus faible.

Dans la position extrême où les lames mobiles sortent des lames fixes, il demeure cependant une certaine capacité entre les armatures. On l'appelle **capacité résiduelle**. Suivant la construction elle varie entre 10 et $25 \mu\mu\text{F}$.

Nous verrons plus loin que, pour l'accord, on se sert également de la variation de la self-induction; celle-ci n'est pas variée progressivement, comme la capacité, mais par bonds, et ses variations servent à passer d'une gamme d'ondes à une autre.

Commentaires à la 7^{me} Causerie

Lampes électroniques.

Jusqu'à présent, nos jeunes amis évoluaient, non sans aisance, dans le domaine de l'électricité générale. Reconnaissons que, parmi les diverses lois qui le régissent, Curiosus a opéré une sélection savante pour ne pas encombrer le cerveau d'Ignotus de notions qui ne lui seront pas d'utilité immédiate dans l'étude de la radio.

En abordant l'étude des lampes électroniques, nos amis sont entrés de plein-pied dans le domaine de la radio proprement dite, car toute la technique des communications sans fil est actuellement basée sur l'emploi de ces lampes. Par contre, leurs applications sont loin de se limiter à la radio: on les retrouve aujourd'hui dans toutes les branches de la science et de la technique, et le champ de leur emploi s'étend de jour en jour.

De quoi se compose donc une lampe (ou un tube) électronique?

Extérieurement, c'est une ampoule fixée sur un culot isolant muni de plusieurs contacts en forme de fiches ou d'ergots ou, plus rarement, de bornes. L'ampoule même est faite en verre ou, dans des lampes de construction plus récente, en acier (lampes métalliques). Sa qualité essentielle est d'être parfaitement étanche aux gaz, car à l'intérieur on pratique le vide aussi poussé que possible. Ce vide est indispensable pour assurer aux électrons un passage aisé à l'intérieur de l'ampoule. En présence de l'air, les électrons se heurteraient constamment aux molécules, leur élan serait brisé; et, ce qui est encore plus grave, les molécules de l'air sortiraient de ces collisions électriquement chargées (on dit « ionisées ») et perturberaient ainsi le fonctionnement normal des lampes.

A l'intérieur de l'ampoule nous trouvons un système d'**électrodes** plus ou moins complexe. Quel qu'il soit, deux électrodes au moins sont indispensables pour faire circuler les électrons: la cathode et l'anode.

Cathode et son chauffage.

La cathode a pour fonction de projeter des électrons dans l'espace. Cette **émission électronique** est obtenue en portant un corps à une température élevée. Tous les corps ne possèdent pas dans une égale mesure ce pouvoir émissif; certains s'y prêtent mieux que les autres, comme c'est plus particulièrement le cas des oxydes de baryum ou de strontium. Le **chauffage** de la cathode est effectué à l'aide d'un courant électrique continu ou alternatif passant à travers un fil résistant appelé **filament** et semblable aux filaments des lampes d'éclairage. La cathode composée d'un mélange d'oxydes recouvrant un cylindre en nickel entoure le filament. L'isolement entre la cathode et le filament est assuré par une couche de matière isolante et réfractaire (cylindre en porcelaine dans les modèles anciens).

Telle est du moins, la composition relativement compliquée des cathodes à **chauffage indirect**. Mais les fonctions de chauffelette (filament) et d'émetteur d'électrons (cathode proprement dite) peuvent être assumées par le filament même, convenablement traité en vue d'y incorporer les matières émissives. Nous sommes alors en présence des lampes à **chauffage direct**. Toutes les lampes avant 1930 appartenaient à cette catégorie.

Il convient d'insister sur le rôle tout à fait auxiliaire du courant de chauffage qui a pour seule mission de développer la chaleur que nécessite la cathode pour faire jaillir des électrons. Non seulement on pourrait faire appel à d'autres sources de chaleur (chauffage au gaz, à l'essence, etc...), mais encore on pourrait utiliser des cathodes sans chauffage. Ainsi, dans les cellules photoélectriques couramment employées en télévision, la cathode se compose d'une couche de métal alcalin et émet des électrons lorsqu'elle est frappée par des rayons lumineux. Peut-être, par ailleurs, l'étude des corps radio-actifs nous fournira-t-elle une cathode à émission puissante ne nécessitant pas de chauffage...

Diode.

L'effet de l'émission électronique découvert par EDISON n'aurait pas servi à grand-chose si, en 1904, FLEMING n'avait pas eu l'idée de placer près de la cathode une deuxième électrode, l'anode ou la **plaque**, positive par rapport à la cathode. Les électrons, projetés dans l'espace par la cathode, sont alors attirés par l'anode. Et, si une source de tension continue maintient l'anode positive par rapport à la cathode, un courant s'établit, dit **courant anodique** ou **courant de plaque**. Partant de la cathode, les électrons passent dans le vide de

la lampe, atteignent l'anode; puis, à travers le circuit extérieur comprenant la source de tension, les électrons reviennent à la cathode (fig. 26). Pour la première fois, cette lampe (dite **diode**) nous permet de « voir » le courant électrique à l'état « pur »; et nous constatons que *les électrons vont bien du négatif au positif*, contrairement au sens conventionnel jadis adopté pour le courant électrique.

Remarquez que, dans la diode, le courant ne peut aller que dans un seul sens: *de la cathode à l'anode*. Si nous rendons l'anode négative par rapport à la cathode, tout s'arrête. Car les électrons seront repoussés par l'anode; et cette dernière, étant froide, n'émet pas d'électrons susceptibles d'être attirés par la cathode. Notre diode est donc une véritable valve. Et l'on conçoit fort bien qu'une tension alternative appliquée entre ses deux électrodes donnera lieu à un courant unidirectionnel qui, passant pendant la demi-période qui rend l'anode positive, s'arrêtera pendant l'autre demi-période. Cette aptitude de la diode à « redresser » le courant alternatif est, nous le verrons plus loin, utilisée pour la détection et pour l'alimentation des récepteurs sur secteur à courant alternatif.

Comme dans toute résistance, l'intensité du courant anodique de la diode dépend de la tension appliquée entre cathode et anode (**tension anodique**), en obéissant approximativement à la loi d'Ohm. Le courant augmente proportionnellement à l'augmentation de la tension, mais jusqu'à une certaine valeur seulement; un accroissement ultérieur de la tension n'entraîne plus une augmentation correspondante du courant du fait que *tous* les électrons émis par la cathode participent déjà au courant anodique. On dit que nous sommes en présence du **courant de saturation**. En fait, seules les cathodes à chauffage direct présentent le phénomène de la saturation tel qu'il vient d'être décrit.

Triode.

Deux ans après l'invention de la diode, Lee de FOREST a eu l'idée d'interposer entre la cathode et l'anode une troisième électrode, la grille. Celle-ci, constituée par un grillage ou par une spirale cylindrique, entoure la cathode. Dans notre lampe à trois électrodes ou **triode**, la grille est donc placée sur le trajet des électrons, ce qui lui permet d'en régler le débit. En effet, l'intensité du courant électronique ne dépend plus seulement de la tension anodique, mais aussi du potentiel de la grille par rapport à la cathode.

Plus la grille est négative, plus elle freine le passage des électrons, plus elle en repousse

vers la cathode, moins il y en a qui, attirés par l'anode, parviennent à s'y frayer le chemin. Si la grille est très négative, malgré l'attraction de l'anode, elle ne laisse passer aucun électron: le courant est nul. En la rendant de moins en moins négative, nous voyons apparaître un courant qui croît avec l'augmentation du potentiel de la grille (car un potentiel augmente en devenant moins négatif).

Ce qui est remarquable, c'est que l'influence sur l'intensité du courant anodique exercée par la grille est beaucoup plus forte que celle qu'exerce la plaque. *Une faible variation du potentiel de la grille suffit pour déterminer une forte variation du courant de plaque.* Si nous laissons la grille à un potentiel constant et voulons provoquer la même variation du courant en modifiant la tension de plaque, il faut modifier celle-ci beaucoup plus. Cela s'explique, d'ailleurs aisément, par le fait que la grille est placée plus près de la cathode que la plaque. Et c'est sur ce phénomène qu'est basé le pouvoir amplificateur de la lampe.

Pente.

La variation qu'imprime au courant de plaque la variation du potentiel de grille s'appelle *pente* de la lampe. Elle est exprimée en milliampères par volt (mA/V). La pente montre, par conséquent, de combien de milliampères augmente (ou diminue) le courant de plaque lorsque nous élevons (ou diminuons) de 1 volt le potentiel de la grille. Les lampes courantes ont une pente allant de 1 à 15 mA/V.

Si nous désignons par dI_a la variation du courant anodique et par dE_g la variation du potentiel de la grille, la pente S aura pour expression:

$$S = \frac{dI_a}{dE_g}$$

Coefficient d'amplification.

Nous avons dit, tout à l'heure que, pour provoquer la même variation du courant de plaque, il faut modifier la tension de la plaque plus que la tension de la grille. Le rapport de ces deux tensions porte le nom de **coefficient d'amplification**. Si, par exemple, pour augmenter le courant de 1 milliampère on peut procéder soit en augmentant de 24 volts la tension anodique, soit en augmentant de 2 volts la tension de grille, le coefficient d'amplification est égal à $24 : 2 = 12$.

Le coefficient d'amplification des triodes dépasse rarement 100, mais dans les lampes à plus de trois électrodes il atteint souvent la valeur de plusieurs mille.

En désignant par dE_a la variation de la

tension de plaque, le coefficient d'amplification K sera égal à

$$K = \frac{dE_a}{dE_g}$$

Résistance interne.

Il existe, enfin, une troisième caractéristique que Curious a passé sous silence, mais qu'il n'est pas inutile de connaître: c'est la **résistance interne** de la lampe. Souvenons-nous de la loi d'Ohm, d'après laquelle la résistance s'exprime par le rapport de la tension à l'intensité. Aussi, ne serons-nous guère étonnés en apprenant que *la résistance interne d'une lampe est définie comme le rapport de la variation de la tension anodique à la variation qu'elle produit dans l'intensité du courant anodique.* En désignant la résistance interne par ρ (lettre grecque rô), nous avons donc:

$$\rho = \frac{dE_a}{dI_a}$$

La résistance interne est exprimée en ohms. Pour les triodes, sa valeur varie entre quelques milliers et quelques dizaines de mille ohms. Pour les lampes à plus de trois électrodes, elle est de l'ordre de centaines de mille ohms.

Relations entre S, K et ρ .

Il faut noter que la pente et la résistance interne d'une lampe donnée peuvent varier dans certaines limites suivant le potentiel de la grille; par contre, le coefficient d'amplification demeure pratiquement indépendant des tensions des électrodes, car il est déterminé par leur disposition et leurs dimensions.

Ce n'est pas pour accumuler à plaisir des formules que nous venons de donner les expressions mathématiques de S, K et ρ . En effet, elles nous permettent d'établir la relation très simple qui lie ces trois grandeurs. Multiplions S par ρ :

$$S \times \rho = \frac{dI_a}{dE_g} \times \frac{dE_a}{dI_a} = \frac{dE_a}{dE_g} = K.$$

Nous voyons que *le coefficient d'amplification est égal au produit de la pente par la résistance interne.* Si la pente est exprimée en mA/V, il faut exprimer la résistance interne en milliers d'ohms, sinon nous obtiendrons des résultats absurdes.

Grâce, à la relation établie, il suffit de connaître deux des grandeurs pour pouvoir calculer la troisième. Ainsi, par exemple, si la pente d'une lampe est de 3 mA/V et sa résistance interne de 80.000 Ω , nous calculons sans difficulté son coefficient d'amplification

$$K = 3 \times 80 = 240.$$

Commentaires à la 8^{me} Causerie

Courbe caractéristique.

Dans une lampe triode, nous l'avons vu, l'intensité du courant de plaque dépend à la fois, mais pas dans la même mesure, de la tension de grille et de la tension de plaque. La première a une influence plus grande que la seconde.

On peut graphiquement représenter comment l'intensité du courant de plaque I_a varie selon les valeurs que prend soit la tension de grille E_g , soit la tension anodique E_a . Ainsi, pour tracer la courbe de I_a en fonction de E_g , nous maintenons la tension de plaque E_a à une valeur constante et, en donnant à la tension de grille E_g une suite de valeurs différentes (dans l'ordre croissant ou décroissant), nous notons les valeurs correspondantes du courant anodique I_a .

Ensuite, sur un papier quadrillé nous traçons deux axes perpendiculaires: l'axe horizontal qui sera affecté aux tensions de grille et l'axe vertical qui sera gradué en intensités du courant de plaque. Nous considérerons le point de croisement des deux axes comme point zéro et porterons les valeurs négatives des tensions de grille à gauche de ce point, les valeurs positives à droite.

A chaque paire de valeurs correspondantes de E_g et de I_a que nous avons notées correspondra alors un point que nous obtiendrons par le croisement des perpendiculaires dressées des points correspondants des axes. Par exemple, si pour -1 V de tension de grille, le courant anodique est de 4 mA, nous obtenons le point correspondant comme suit: sur l'axe horizontal nous élevons une perpendiculaire au point -1 V, et sur l'axe vertical nous élevons une perpendiculaire au point 4 mA (la première perpendiculaire sera donc verticale, la seconde horizontale) et le point de leur croisement détermine à la fois les deux valeurs correspondantes.

Après avoir tracé ainsi plusieurs points, nous les réunissons par une ligne qui est la caractéristique du courant de plaque en fonction de la tension de grille. Au fur et à mesure que la grille devient moins négative, le courant augmente, d'abord très lentement, puis, après le coude inférieur de la courbe, plus vite; là, la ligne comporte un tronçon droit, ce qui montre que, dans cet intervalle des tensions de grille, le courant de plaque leur est proportionnel. Plus loin, enfin, la courbe s'incurve de nouveau, surtout s'il s'agit d'une lampe à chauffage direct sujette au phénomène de la saturation.

Autres courbes.

On pourrait, de la même façon, relever une deuxième courbe en fixant la tension de plaque à une valeur plus élevée. Dans ce cas, le courant sera plus fort et la courbe se trouvera déportée à gauche de la première. Pour bien caractériser une lampe, il est utile de relever tout un réseau (ou une « famille ») de ces courbes, chacune correspondant à une tension de plaque donnée.

Notons qu'un autre système de courbes peut être tracé, si l'on part d'un point de vue un peu différent: on peut, en fixant la valeur

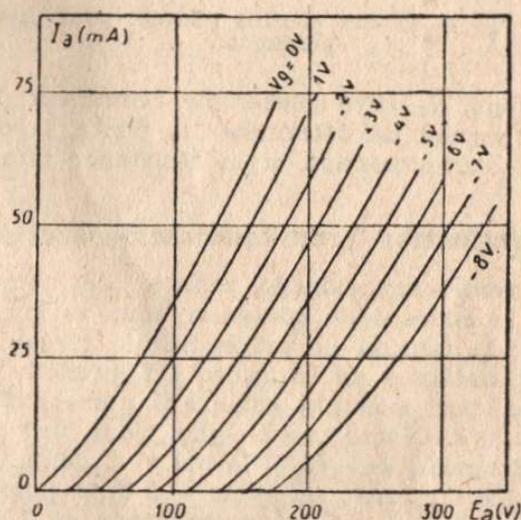


Fig. I. — Courbes montrant la variation du courant de plaque d'une triode en fonction des variations de la tension de plaque. Chaque courbe est relevée pour une tension de grille indiquée

de la tension de grille, varier la tension anodique et noter les valeurs correspondantes du courant de plaque. Portant sur l'axe horizontal les valeurs de E_a et sur l'axe vertical les valeurs de I_a , nous aurons la caractéristique du courant de plaque en fonction de la tension de plaque (fig. I et II).

Là encore nous pouvons tracer tout un réseau de courbes, chacun correspondant à une tension de grille donnée. Et, par une opération relativement simple, mais que nous n'indiquons pas ici, on peut passer d'un système de courbes à l'autre.

Les courbes d'une lampe renseignent le radioélectricien sur ses propriétés, sur la meilleure façon de l'utiliser, sur la manière dont elle se comportera dans tel ou tel montage.

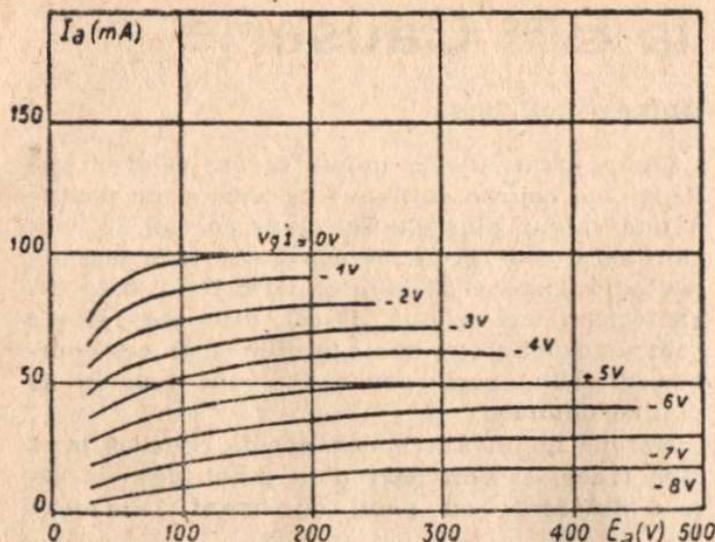


Fig. II. — Mêmes courbes relevées pour une penthode.

Montrons, à titre d'exemple, comment leur étude permet de déterminer la pente, le coefficient d'amplification et la résistance interne.

Détermination graphique de S; K et ρ .

La pente, rappelons-le, montre de combien varie le courant de plaque si nous variations de 1 volt la tension de grille. Sur le réseau des caractéristiques de la figure III, prenons une courbe, par exemple celle qui correspond à $E_a = 160$ V. Nous voyons que, pour une tension de grille de -3 V, le point A donne une intensité de 3 mA; et pour -2 V le point B donne 6 mA. Donc, en augmentant de 1 V la tension de grille, nous avons augmenté de 3 mA le courant de plaque. La pente est donc de 3 mA/V.

On remarquera que la pente est, en général, égale au rapport de BC à AC. Plus la courbe a une... pente raide, plus la pente est élevée. On comprend ainsi mieux pourquoi le mot « pente » a été adopté par les radioélectriciens. Noter que, si la pente reste la même dans toute la partie rectiligne de la courbe, elle diminue dans le coude (ainsi elle est plus faible au point D).

Passons maintenant à la détermination du coefficient d'amplification qui est le rapport entre les variations des tensions de plaque et de grille donnant lieu à la même variation du courant de plaque. Réunissons par une ligne horizontale deux points P et Q sur deux courbes voisines. Ces deux points correspondent au même courant de plaque. Quand nous passons de Q à P, que faisons-nous? Nous augmentons d'une part la tension de la grille de 1,5 volt (puisque'elle passe de -3 à $-1,5$ V); cela devrait provoquer une augmentation du courant

de plaque. Cependant, celui-ci demeure inchangé, car l'effet de la variation de la tension de grille est neutralisé par la diminution de la tension de plaque: celle-ci est réduite de 40 volts, car de la courbe de $E_a = 200$ V nous sommes passés à la courbe $E_a = 160$ V. Ainsi la variations de 40 V de la tension de plaque produit sur le courant de plaque le même effet que la variation de 1,5 V de la tension de grille. Le coefficient d'amplification, rapport de ces deux tensions, est donc égal à

$$40 : 1,5 = 26,7.$$

Pour terminer, tâchons de tirer de nos courbes la valeur de la résistance interne. Celle-ci est, nous l'avons dit, le rapport de la variation de tension anodique à la variation du courant anodique qu'elle entraîne; on suppose que la tension de grille demeure constante.

Sur notre graphique, tous les phénomènes qui se produisent sans variation de la tension de grille se situent sur une verticale. Ainsi, en admettant que la grille soit à -3 V, ce sera la verticale passant par le point -3 V de l'axe horizontal. Si la tension anodique passe de 160 V (point A) à 200 V (point Q), nous avons une variations de tension de 40 V. Elle entraîne une augmentation du courant qui de 3 mA (au point A) passe à 7,5 mA (au point Q), soit une variation de 4,5 mA ou, en ampères,

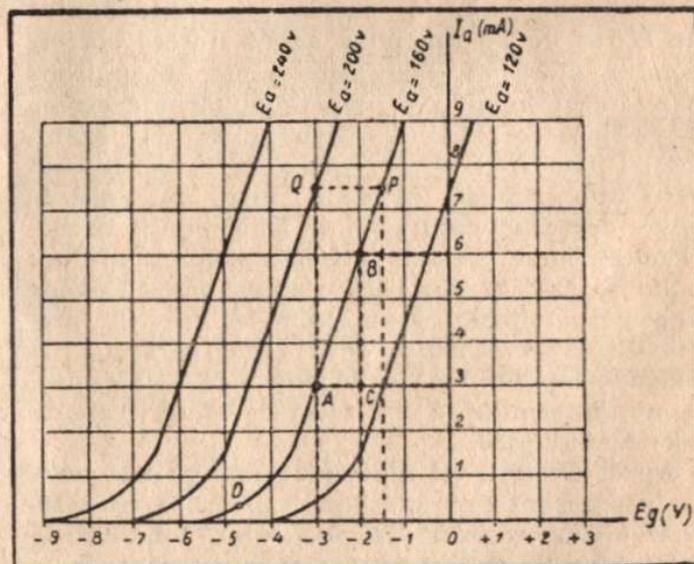


Fig. III. — Les courbes de la variation du courant de plaque en fonction de la tension de grille permettent de déterminer la pente, le coefficient d'amplification et la résistance interne de la lampe.

0,0045 A. La résistance interne est donc égale à

$$40 : 0,0045 = 8900 \text{ ohms environ.}$$

Nous pouvons vérifier que la relation

$K = S \times \rho$ se justifie. En effet, en comptant $\rho = 8,9$ milliers d'ohms, nous avons:

$$S \times \rho = 3 \times 8,9 = 26,7.$$

Or, nous avons trouvé $K = 26,7$, ce qui montre que l'ordre règne dans le domaine de la radio...

Entrée et sortie d'une lampe.

Pour bénéficier du pouvoir amplificateur d'une lampe, la tension alternative à amplifier est appliquée entre la grille et la cathode. En faisant ainsi varier le potentiel de la grille par rapport à la cathode, nous entraînons des variations considérables dans l'intensité du courant de plaque (elles sont K fois plus fortes qu'au cas où la tension serait appliquée entre anode et cathode). Ces variations du courant de plaque peuvent, à leur tour, être réamplifiées par une deuxième lampe, comme nous le verrons plus loin.

Ainsi, la tension à amplifier est donc appliquée à ce que nous conviendrons d'appeler **entrée** de la lampe (grille-cathode), la **sortie** se trouvant dans le circuit anodique.

Les tensions alternatives à l'entrée seront relativement faibles; la première lampe destinée à amplifier la très faible tension créée par les ondes dans le circuit accordé de l'antenne recevra à l'entrée une tension de l'ordre de quelques microvolts ou dizaines de microvolts (certes, un émetteur proche et puissant peut susciter des tensions de plusieurs millivolts). Par contre, les dernières lampes dans la chaîne d'amplification d'un récepteur auront affaire à des tensions d'entrée fortement amplifiées et pouvant atteindre plusieurs volts et même plusieurs dizaines de volts.

Polarisation de grille.

Outre la tension variable appliquée entre grille et cathode, il convient également d'envisager la **tension moyenne de la grille**, c'est-à-dire la tension continue établie entre la grille et la cathode en l'absence des tensions variables (par exemple, pendant le silence du poste d'émission). Cette tension (dite de **polarisation** de grille) peut, par exemple, être fixée à l'aide d'une pile B_g (fig. 33) placée entre grille et cathode. C'est elle qui détermine, sur la caractéristique de la lampe, son **point de fonctionnement**. Ainsi, dans la figure III, si la tension de plaque est de 160 V et si la grille est polarisée à -3 V, son point de fonctionnement est

en A. Le courant anodique moyen (ou courant au repos) est de 3 mA.

Lorsqu'une tension alternative vient à son tour agir sur la grille, la tension varie autour de la tension moyenne en plus et en moins. Ainsi, en admettant que la tension moyenne soit de -3 V et que l'amplitude de la tension variable soit de 2 V, les tensions instantanées de grille varieront entre -5 et -1 V. En même temps, le courant de plaque variera lui aussi autour de sa valeur moyenne jusqu'aux valeurs extrêmes qui correspondent aux tensions -5 et -1 V de la grille.

Deux dangers doivent être évités sous peine de provoquer des déformations (**distorsions** disent plus élégamment les radioélectriciens). D'une part, il faut que les variations du courant de plaque soient proportionnelles aux variations de la tension de grille. Cette condition sera satisfaite si les tensions instantanées de grille ne dépassent pas la partie rectiligne de la courbe caractéristique. (C'est, d'ailleurs, pour cette raison que les déformations dues à la courbure de la caractéristique portent le nom de « **distorsion non-linéaire** »; prononcé avec un peu d'à-propos, ce terme produit toujours son petit effet... surtout sur ceux qui en ignorent le sens.)

L'autre danger nous guette au point où la tension de grille devient égale à zéro. Si nous le dépassons, c'est-à-dire si la grille devient positive, il s'établit un **courant de grille**. En fait, la grille positive se comporte comme anode: elle attire des électrons qui se mettent à circuler dans le circuit de grille vers la cathode. A vrai dire, le courant de grille commence déjà lorsque la grille est encore légèrement négative ($-1,5$ V à -1 V, suivant la lampe), et cela est dû à l'énergie avec laquelle les électrons sont projetés par la cathode. Le courant de grille produit des perturbations graves: son entretien nécessite une dépense d'énergie de la part du circuit de grille auquel ce genre de travail doit être interdit.

Nous voyons donc, en résumé, que *les tensions instantanées de grille doivent se limiter à la partie droite de la caractéristique sans dépasser le domaine des tensions négatives*. On a donc intérêt à choisir la polarisation de manière que *le point de fonctionnement se trouve au milieu du tronçon droit, à gauche de l'axe vertical*. De cette manière, si l'amplitude de la tension alternative de grille ne dépasse pas la valeur de la polarisation, les potentiels de grille se tiendront sagement dans la partie rectiligne et ne seront jamais positifs.

Commentaires à la 9^{me} Causerie

Microphone.

Dans cette causerie, Curiosus s'est attaché à l'étude des premiers maillons de la chaîne de transmission radioélectrique. Il a commencé par le commencement: le microphone et les ondes sonores qui l'attaquent.

Les ondes sonores, ces vibrations des molécules de l'air dont les fréquences s'étendent de 16 per/sec (pour les sons les plus graves) jusqu'à 40.000 per/sec (pour les notes les plus aiguës), sont à l'aide du microphone « traduites » par des variations correspondantes d'un courant électrique.

Le microphone à charbon décrit par Curiosus et qui fonctionne par variations de résistance, est très sensible même aux sons relativement faibles, mais il est affligé de certains défauts qui s'opposent à la pureté de la reproduction. Il existe d'autres systèmes de microphones plus fidèles, mais moins sensibles (ce qui importe peu, puisqu'on peut toujours amplifier à l'aide de lampes les courants microphoniques trop faibles). Tels sont, par exemple, les microphones électrodynamiques dans lesquels un bobinage léger oscille, sous l'action des ondes sonores, dans le champ d'un aimant; nous savons que, dans ces conditions, des courants induits apparaissent dans le bobinage.

Le courant microphonique, fidèle image électrique des ondes sonores, est de fréquence trop basse pour pouvoir engendrer des ondes électriques. Pour transporter ce courant de basse fréquence dans l'espace qui sépare l'antenne d'émission de l'antenne de réception, il faut l'incorporer dans un courant de haute fréquence qui, lui, a le pouvoir de créer des ondes.

Modulation.

De quelle manière introduit-on la basse fréquence dans le courant de haute fréquence? Ou, en termes plus techniques, comment module-t-on la haute fréquence par la basse fréquence?

A l'état pur, quand il n'est pas modulé, le courant de haute fréquence se présente sous la forme d'un courant alternatif classique, tel que nous commençons à le bien connaître (fig. 38 a). La modulation par la basse fréquence a pour effet de détruire la belle égalité de ses amplitudes. Celles-ci sont allongées ou raccourcies suivant la forme du courant de basse fréquence, en sorte que si l'on réunit les sommets de toutes les demi-périodes, on obtient une ligne (en pointillé dans la figure

38 c) qui a la forme du courant microphonique.

C'est cette inégalité des amplitudes de la haute fréquence qui cèle la basse fréquence. Moduler un courant, c'est en quelque sorte le modérer.

Emission.

Le courant de haute fréquence pur (ou non modulé) est créé par une lampe montée en 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 bout 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,

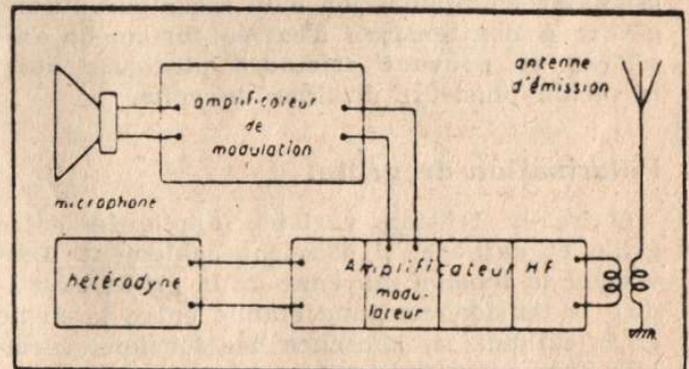


Fig. IV — Composition d'un émetteur de radiophonie.

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 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 mi-

crophonique. 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 IV.

Commentaires à la 10^{me} Causerie

Ecouteur.

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 celles du microphone: la transformation des courants de basse fréquence en ondes sonores.

L'écouteur (fig. V) se compose d'un électro-aimant à noyau d'acier aimanté placé derrière une membrane mince en acier flexible. Le tout

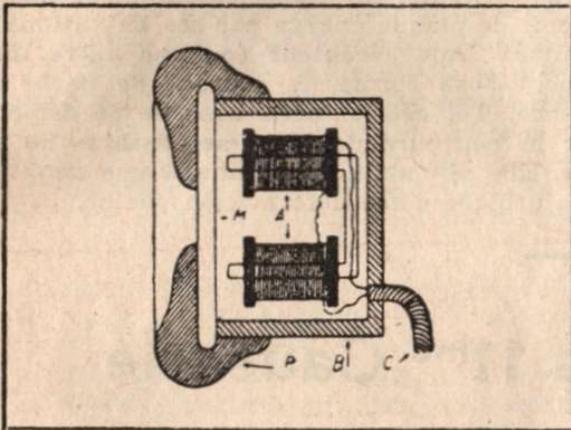


Fig. V — Constitution d'un écouteur —
A, électro-aimant; M, membrane; P, pavillon acoustique, B, boîtier; C, cordon d'arrivée du courant

est placé dans un boîtier en métal ou en matière moulée. Les courants variables de basse fréquence parcourant les enroulements de l'électro-aimant augmentent et diminuent alternativement l'aimantation du noyau qui attire plus 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 de l'air environnantes, pour se propager sous forme des ondes sonores. Si aucune des multiples transformations subies par le courant entre le micro-

phone 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.

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

Détecteurs.

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 d'un 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.

Curiosus a raison en disant que toute dissymétrie (physique, chimique ou géométrique) entre deux corps en contact détermine une conductibilité inégale suivant le sens du courant. Et, comme la symétrie parfaite n'existe jamais, on peut dire que tous les contacts imparfaits détectent plus ou moins. C'est là un phénomène souvent fort peu désirable. D'où le danger des contacts mal réalisés et la nécessité, dans le montage d'un appareil radio, d'assurer des contacts parfaits entre les connexions à l'aide de soudures exécutées avec soin.

Si le détecteur à cristal a, sur la diode, l'avantage de ne pas nécessiter un courant de chauffage, par contre, il ne peut détecter que des courants très faibles. Il n'est utilisé, de nos jours, que dans les récepteurs sans lampes, qui ne comportent donc aucune amplification et où le très faible courant de l'antenne, après détection, agit sur l'écouteur. Ces postes dits « à galène » ne doivent être utilisés que pour la réception des émissions régionales. Mais n'est-ce pas déjà un miracle que réalise un tel récepteur où l'infinie parcelle d'énergie recueillie dans l'espace par l'antenne suffit pour ani-

mer d'un mouvement la membrane de l'écouteur?...

Le condensateur qui sert à accumuler les impulsions unilatérales du courant redressé doit être de capacité suffisamment faible pour opposer une grande résistance au courant de basse fréquence; sinon, celui-ci le traverserait. La valeur usuelle est de l'ordre de $2 \text{ m}\mu\text{F}$.

Détection par la plaque.

La lampe à grille permet d'assurer à la fois la détection et l'amplification du courant modulé. A cet effet, la tension à détecter est appliquée entre la grille et la cathode, la grille étant polarisée beaucoup plus que pour l'amplification: il faut que le point de fonctionnement soit amené sur le coude inférieur de la courbe caractéristique. Dans ces conditions, les alternances négatives de la tension de haute fréquence n'amèneront que de faibles diminutions du courant de plaque, alors que les alternances positives donneront lieu à de fortes augmentations du courant de plaque. Celui-ci présentera donc de nouveau l'aspect de la série d'impulsions unilatérales de haute fréquence et d'amplitude inégale. Un condensateur placé dans le circuit de plaque chargé par ces impulsions les débitera dans l'écouteur (ou une autre impédance) sous forme de courant de basse fréquence. Tel est le mécanisme de la détection par la courbure de la caractéristique de plaque. Elle se réduit, en somme, à une amplification affligée d'une déformation voulue.

Commentaires à la 11^{me} Causerie

Amplification H.F. et B.F.

Dans la majorité des récepteurs, l'amplification a lieu tant avant qu'après la détection. La haute fréquence doit être amplifiée pour que la tension appliquée au détecteur ne soit pas trop faible, de manière que la détection ait lieu dans des conditions normales. Il faut noter que tout détecteur a son « seuil de sensibilité » représenté par la plus faible tension qu'il est encore apte à détecter normalement. Ainsi, quand pour une raison quelconque (éloignement ou faible puissance de l'émetteur) la tension appliquée au détecteur est inférieure à la tension du seuil, aucune détection n'aura lieu ou celle-ci sera défectueuse.

L'amplification H.F. (haute fréquence) permet donc d'entendre même des émetteurs faibles ou lointains; elle sert ainsi à augmenter

la sensibilité du récepteur. Accessoirement, on s'arrange pour que les circuits de liaison entre lampes amplificatrices H.F. contribuent à l'accroissement de la sélectivité du récepteur.

La tension détectée est généralement trop faible pour pouvoir être directement appliquée à un haut-parleur. Celui-ci nécessite une énergie plus ou moins grande, ce qui conduit à amplifier, après la détection, le courant B.F. (basse fréquence) auquel elle donne lieu.

Une triode amplifie avec la même efficacité les tensions de H.F. et de B.F. Appliquée à l'entrée de la lampe (entre grille et cathode), une tension variable engendre des variations dans le courant anodique. Si nous voulons faire subir au courant amplifié une nouvelle amplification dans une deuxième lampe, il faut tout d'abord transformer le courant variable en tension variable.

Transformateur

Cette opération peut être réalisée de plusieurs manières. L'une des plus courantes consiste à la confier à un transformateur. Rappelons qu'un transformateur n'est rien d'autre qu'un ensemble de deux enroulements couplés par induction. Si nous appliquons une tension variable à l'un des deux enroulements (que nous appellerons **primaire**), une tension induite de la même forme apparaîtra dans l'autre enroulement (appelé **secondaire**). Si les deux enroulements comportent le même nombre de spires, la tension induite dans le secondaire est égale à la tension appliquée au primaire. Si le secondaire a deux fois plus de spires que le primaire, la tension y sera le double de celle du primaire, car il peut être considéré comme composé de deux enroulements en série et dont chacun a le même nombre de spires que le primaire; dans ce cas, chacun de ces enroulements développera la même tension que le primaire, et en série les deux tensions s'additionnent.

En général, le rapport de la tension du secondaire à celle du primaire est égal au rapport de leurs nombres de spires. Si le secondaire comporte plus de spires que le primaire, le transformateur est dit **élévateur** de tension. Dans le cas contraire, c'est un **abaisseur** de tension. Le rapport du nombre de spires du secondaire à celui du primaire s'appelle **rapport de transformation**. Pour un élévateur de tension, il est supérieur à 1 et, pour un abaisseur, inférieur à 1.

Compte tenu de la haute perméabilité magnétique du fer, les transformateurs destinés aux courants de B.F. comportent un noyau en fer. Pour que des courants induits (dits **courants de Foucault**) ne puissent pas se développer dans le noyau, — ils seraient cause d'une néfaste perte d'énergie, — le noyau, au lieu d'être massif, se compose de tôles minces et isolées.

Les transformateurs pour H.F. peuvent également comporter un noyau magnétique. Mais là, vu la fréquence élevée, le simple fait de feuilleter le noyau ne suffit plus pour éviter des pertes par courants de Foucault: il faut constituer le noyau en fer pulvérisé, chaque grain microscopique du fer étant isolé des grains voisins par une matière isolante.

Enfin, dans les transformateurs pour très hautes fréquences, tout fer doit être prohibé. Ainsi, les transformateurs pour ondes courtes et ultra-courtes ne comportent aucun noyau de fer et sont, de préférence, bobinés en fil nu et rigide, sans support isolant (car des pertes se produisent aussi dans des isolants placés dans un champ électrique H.F.).

Liaison par transformateur.

Pour servir de circuit de liaison entre deux lampes, le transformateur est branché ainsi: le primaire à la sortie de la première lampe (entre l'anode et le pôle positif de la source de tension anodique); le secondaire à l'entrée de la deuxième lampe (entre grille et cathode). Ainsi les variations de l'intensité du courant anodique dans le primaire développent dans le secondaire des tensions variables appliquées à l'entrée de la lampe suivante.

Polarisation automatique.

Une source commune de tension anodique sert à l'alimentation de toutes les lampes du récepteur. Quant à la polarisation négative des grilles, elle est obtenue par la « chute de tension » que le courant anodique produit dans une résistance intercalée entre la cathode de chaque lampe et le pôle négatif de la source de tension anodique.

On appelle « chute de tension » la tension créée entre les extrémités d'une résistance par le courant qui la traverse. D'après la loi d'Ohm, cette chute de tension est égale au produit de l'intensité du courant (en ampères) par la résistance (en ohms): $E = I \times R$.

Ainsi, si nous intercalons entre la cathode et le négatif de tension plaque une résistance de 2.000 ohms, un courant anodique de 0,003 A y produira une chute de tension de

$$0,003 \times 2.000 = 6 \text{ volts.}$$

Le sens du courant indique que c'est l'extrémité de la résistance connectée au négatif de la tension plaque qui devient ainsi négative par rapport à la cathode. C'est à cette extrémité que sera précisément connecté le circuit de grille, de manière que la grille devienne négative par rapport à la cathode.

Une difficulté surgit cependant. Alors que la polarisation doit avoir une valeur fixe aussi stable que possible, le courant anodique qui crée la chute de tension est variable, du moins lorsqu'une tension variable est appliquée à l'entrée de la lampe. Or, dans ces conditions, la chute de tension servant à polariser la grille devient variable elle aussi. Comment y remédier?

Séparation des composantes.

En examinant de plus près la forme du courant de plaque, nous voyons que, tout en étant unidirectionnel (puisque dans la lampe il ne peut aller que dans un seul sens: de la cathode à l'anode), son intensité varie conformément aux variations de la tension de grille. Par une abstraction mentale, on peut considérer que le courant de plaque se compose de deux courants

distincts: un courant continu (courant de repos tel qu'il est en l'absence de la tension variable sur la grille) et courant alternatif résultant des variations de la tension de grille. La composante alternative fait varier l'intensité du courant de plaque autour de la valeur de la composante continue, les alternances positives s'y ajoutant, les alternances négatives s'en retranchant.

Cette image que notre esprit peut se faire de la forme du courant anodique en le considérant comme la somme d'une composante continue et d'une composante alternative, nous aidera à résoudre la difficulté surgie au sujet de la polarisation. Il suffit, en effet, pour que celle-ci soit stable, que la chute de tension soit due uniquement à la composante continue du courant anodique. Quant à la composante alternative, nous l'empêcherons de passer dans la résistance de polarisation en la dérivant à travers un condensateur. Si celui-ci est de capacité suffisamment élevée, il offrira au courant alternatif un chemin bien plus facile que la résistance et... le tour sera joué.

Une telle séparation des composantes continue et alternative est une opération très courante en radioélectricité et nous aurons encore maintes fois l'occasion d'y avoir recours. On conçoit que la capacité du condensateur doit être d'autant plus élevée que la fréquence est plus basse, pour que la capacitance qu'il oppose à la composante alternative ne soit pas trop forte. D'autre part, plus la résistance de polarisation est faible, plus la capacité doit être forte, pour que la composante alternative ait un réel intérêt à emprunter le chemin du condensateur. C'est du moins ainsi que se serait exprimé Curiosus...

Transformateurs B.F. et H.F.

Après cette digression consacrée aux questions d'alimentation, revenons à notre transformateur. Destiné à la B.F., il comporte un grand nombre de spires (plusieurs milliers) à chaque enroulement. Entre les spires se forment des capacités, de même qu'entre les deux enroulements. Des pertes dues aux courants de Foucault et à d'autres causes ont lieu. Tout cela fait que toutes les fréquences ne sont pas transmises avec la même efficacité: le transformateur introduit une certaine déformation. Il faut qu'il soit de très bonne qualité pour que la distorsion soit faible. L'idéal serait, évidemment, que toutes les fréquences musicales soient transmises d'une façon identique. Mais ce n'est qu'un idéal...

Et une telle exigence, idéale en B.F., serait inadmissible en H.F. où, au contraire, on recherche à privilégier une seule fréquence, celle de l'émetteur à recevoir, au détriment de toutes

les autres. Les transformateurs H.F. doivent donc être sélectifs. A cet effet, on accorde à l'aide de condensateurs variables, soit l'un de leurs enroulements (primaire ou secondaire), soit les deux à la fois.

Montage push-pull.

Pour clore le chapitre de l'amplification à transformateurs, il reste encore à étudier un montage que Curiosus a passé sous silence et qui est cependant très répandu et mérite de l'être. Il s'agit du montage **push-pull** ou symétrique.

Dans ce montage (fig. VI), la première lampe L_1 attaque, à travers le transformateur TR_1 , simultanément les deux lampes L_2 et L_3 qui composent l'étage push-pull proprement dit.

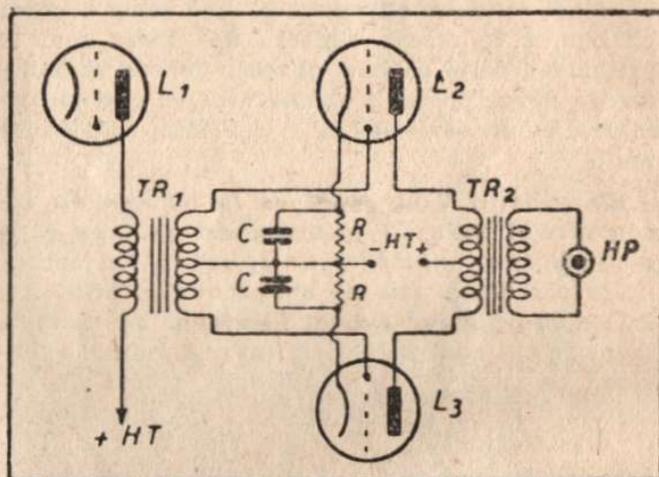


Fig. VI. — Schéma du montage push-pull.

Le dessin met en évidence la parfaite symétrie du montage dont nous analyserons maintenant le fonctionnement.

Les deux lampes L_2 et L_3 sont, à chaque instant, soumises à des tensions de grille opposées. En effet, si pendant une alternance les électrons dans le secondaire de TR_1 sont chassés de haut en bas, la grille de L_2 devient moins négative et celle de L_3 plus négative. C'est le contraire qui a lieu lors de l'alternance suivante. Ainsi, quand le courant anodique de L_2 augmente, celui de L_3 diminue et inversement. Les deux lampes fonctionnent en opposition de phase, ce qui explique aussi le nom: **push** — pousse; **pull** — tire.

Pour utiliser les courants anodiques aux variations opposées, on emploie un deuxième transformateur TR_2 avec prise médiane au primaire. Le courant de chaque lampe ne parcourt donc qu'une moitié du primaire. Comme les courants font ce parcours en directions opposées, mais comme, d'autre part, leurs variations sont elles aussi opposées, les actions

des deux courants s'additionnent en fin de compte, car leurs champs magnétiques ont le même sens. Et ainsi, les deux composantes alternatives, en collaborant, induisent dans le secondaire un courant qui agira sur le haut-parleur H.P.

Si les composantes alternatives des courants anodiques collaborent, par contre, les composantes continues, toutes les deux d'intensité égale, mais circulant dans les deux moitiés du primaire en sens opposé, créent des champs magnétiques de sens contraire qui s'annulent mutuellement. Et c'est là l'un des avantages du push-pull. Du fait de l'absence d'un champ magnétique continu, le noyau du transformateur travaille dans les meilleures conditions, toute son aimantation résultant uniquement des composantes alternatives. La perméabilité du fer, qui diminue lorsque l'intensité du champ augmente, se trouve ainsi bien plus élevée qu'en présence d'un champ permanent créé par la composante continue.

A cet avantage, d'autres viennent s'ajouter. Ainsi, dans le push-pull, grâce à la mise en opposition des deux lampes, certaines déformations dues à la courbure de la caractéristique (distorsions non-linéaires) se neutralisent.

Divers régimes d'amplification.

Bien mieux: dans ce montage on peut choisir le point de fonctionnement des lampes sur le coude inférieur de la caractéristique. Il suffit de les polariser beaucoup plus que dans les conditions normales de fonctionnement des lampes amplificatrices que nous avons examinées précédemment. A ce moment, seules les alternances positives de la tension de grille donneront lieu à des variations appréciables du courant anodique. Ainsi, les deux lampes fonctionneront-elles alternativement. Mais, dans le transformateur de sortie TR₂, les variations complètes seront reconstituées, puisque les alternances s'y succéderont avec leurs sens res-

pectifs. Dans ce mode de fonctionnement, dit en classe B, on peut appliquer aux grilles des tensions alternatives d'amplitude bien plus élevée (environ le double) qu'en classe A, c'est-à-dire dans le régime ordinaire d'amplification où le point de fonctionnement doit être fixé au milieu de la portion rectiligne utilisable

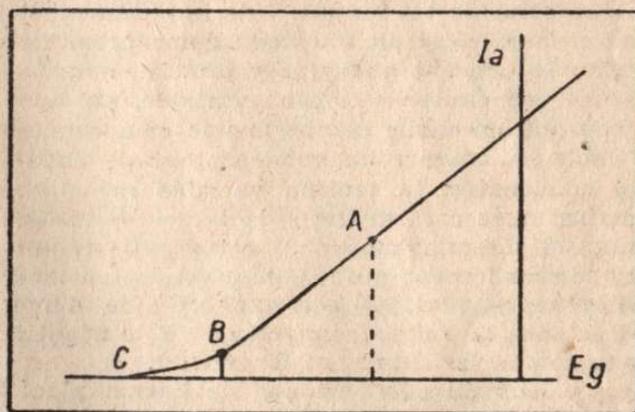


Fig. VII. — Points de fonctionnement de lampes amplifiant en classes A, B et C.

de la caractéristique. Dans un push-pull fonctionnant en classe B, les lampes sont utilisées à fond et l'on en tire une puissance plus grande qu'en classe A.

Bien entendu, le point de fonctionnement des lampes d'un push-pull peut être choisi dans un quelconque des points intermédiaires entre ceux qui correspondent aux classes A et B. On dit alors que les lampes fonctionnent en classe A' ou en classe AB (fig. VII).

Mentionnons, pour mémoire, le fonctionnement en classe C où le point de fonctionnement est à gauche du coude inférieur de la caractéristique et où, seules, les pointes des alternances positives donnent lieu à un courant de plaque. On ne fait usage d'un tel régime que dans certains émetteurs ou appareils de mesure.

Commentaires à la 12^{me} Causerie

Liaisons à impédance.

Dans cette causerie, nos deux amis ont examiné la deuxième catégorie de liaisons entre lampes: les liaisons à impédances.

Leur principe est simple. Une impédance est placée dans le circuit anodique d'une première lampe. Le courant anodique y produit, nous le savons, une chute de tension variable, puisque le courant lui-même comporte une composante variable. A travers un condensateur de capacité convenable, la tension variable est alors communiquée à la grille de la lampe suivante. Enfin, le potentiel moyen de cette grille (point de fonctionnement autour duquel ces tensions instantanées varient) est fixé à l'aide d'une « résistance de fuite » connectée au pôle négatif de la source de haute tension (H.T.).

La valeur du condensateur de liaison placé entre l'anode de la lampe précédente et la grille de la lampe suivante doit être suffisante pour que les tensions alternatives passent sans difficulté. En H.F., il suffit d'avoir $0,5 \text{ m}\mu\text{F}$, mais la B.F. passant moins aisément à travers la capacité, il faudra adopter une valeur de l'ordre de $10 \text{ m}\mu\text{F}$ pour l'amplification B.F.

La résistance de fuite a généralement une valeur de plusieurs milliers d'ohms; $0,5 \text{ M}\Omega$ est une des valeurs les plus usuelles.

Amplificateur à résistances.

Quant à l'impédance du circuit anodique, le plus simple est de la constituer par une résistance ohmique. C'est la solution qui est adoptée pour l'amplification B.F. dans la majorité des récepteurs actuels. En H.F. elle est inapplicable, ne serait-ce que du fait qu'elle ne procure aucun gain de sélectivité. Mais en B.F. elle offre l'avantage d'amplifier dans un rapport à peu près égal toutes les fréquences musicales et d'être d'une réalisation très économique.

La valeur de la résistance anodique dépend de plusieurs facteurs, notamment de la résistance interne de la lampe. Suivant le modèle de la lampe adoptée, elle sera de l'ordre de plusieurs dizaines ou centaines de mille ohms.

Il ne faut pas oublier non plus que la composante continue du courant de plaque produit, elle aussi, une chute de tension dans cette résistance, et cela au détriment de la tension réelle entre anode et cathode. Ainsi, si la source de haute tension est de 250 V , si la résistance anodique est de 150.000Ω et si le courant anodique moyen est de $0,6 \text{ mA}$ (soit $0,000,6 \text{ A}$) la chute de tension sera de

$$0,000,6 \times 150.000 = 90 \text{ V}$$

et il ne restera entre anode et cathode que $250 - 90 = 160 \text{ V}$.

Amplificateur à inductance.

L'emploi d'une inductance à la place d'une résistance ohmique permet de réduire considérablement la chute de tension continue, ce qui rend cette solution particulièrement indiquée quand on dispose d'une source de courant anodique de tension relativement faible.

Cependant, par rapport à l'amplificateur à résistance, l'amplificateur à inductance présente l'inconvénient de favoriser les notes aiguës (fréquences musicales élevées) au détriment des notes graves. L'inductance étant proportionnelle à la fréquence, les fréquences plus élevées développent dans l'inductance des tensions proportionnellement plus fortes, d'où sur-amplification des aiguës. En pratique, des enroulements B.F. judicieusement réalisés n'accusent le défaut signalé que dans une faible mesure; il ne faut donc pas rejeter l'amplification à inductance comme si elle était sujette à des distorsions inadmissibles.

Autres montages à impédance.

En H.F., l'amplification à inductance est employée très rarement, car elle ne procure aucun gain de sélectivité. Dans ce domaine, on préfère lui substituer cette impédance très particulière que constitue le circuit oscillant à la résonance. Nous sommes alors en présence d'un circuit de liaison (fig. 57) à faible résistance ohmique et à forte impédance pour les courants de la fréquence de résonance. Pas de chute de tension continue appréciable, sélectivité accrue, bonne amplification, voilà les caractéristiques essentielles qui militent en faveur de ce montage que, par une bizarrerie de langage, on appelle quelquefois « montage à circuit-bouchon ».

Il faut encore noter que quelquefois on a avantage à utiliser un circuit de liaison combinant les principes du transformateur et de résistance tel que celui de la figure VIII. Dans ce montage, les deux composantes du courant anodique bifurquent à la sortie de l'anode. Alors que la composante continue emprunte le chemin de la résistance R, la composante variable traverse le condensateur de liaison C et le primaire du transformateur T, en faisant apparaître au secondaire les tensions variables qui attaquent la grille de la lampe suivante.

L'avantage de ce procédé git dans le fait que le transformateur n'étant parcouru par aucun courant continu, son noyau travaille dans les meilleures conditions. (C'est aussi, rappelons-le, l'un des avantages du montage push-pull.)

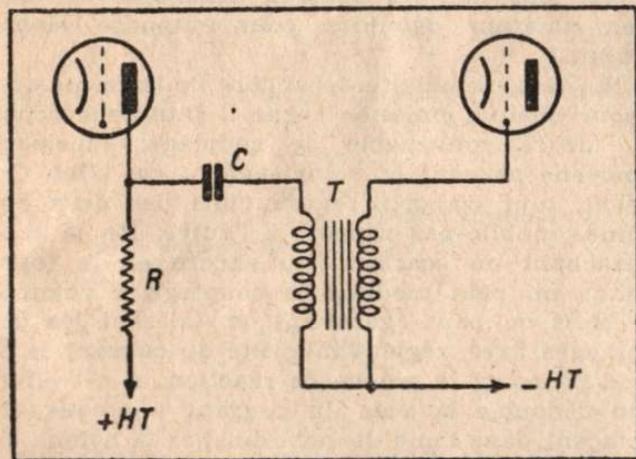


Fig. VIII. — Circuit de liaison mixte à résistance et transformateur.

Jusqu'à présent, en examinant les différents montages de liaison entre lampes, nous avons toujours supposé que la lampe qui précède est une triode. Tout ce qui a été dit à ce sujet pourrait, d'ailleurs, s'appliquer également à des lampes à plus de trois électrodes que nous examinerons plus loin. Mais il faut étudier à part le cas de la diode.

Liaison de la diode.

Dans ce qui a été dit jusqu'à présent au sujet de la détectrice diode, il a été supposé que le courant détecté était appliqué à un écouteur. Or, la majorité des récepteurs comprennent, après la détectrice, une ou plusieurs lampes servant à l'amplification B.F.

La liaison entre la diode et les lampes suivantes s'effectue à l'aide d'une résistance branchée dans le circuit à la place de l'écouteur (comparer les figures 39 et 58). Cette résistance jouant le rôle d'impédance anodique, le reste du montage n'offre aucune particularité.

La tendance vers la réduction de l'encombrement et du prix des récepteurs a conduit les constructeurs à créer des lampes combinées comprenant, dans la même ampoule et avec cathode commune, une diode et une triode servant de première amplificatrice B.F. (Il existe

même des lampes comprenant deux diodes et une penthode, comme nous le verrons plus loin.)

Le montage d'une lampe combinée détectrice-amplificatrice est le même que dans le cas où l'on emploie deux lampes distinctes (comparer les figures 58 et 59). Comme l'amplificatrice a besoin d'être négativement polarisée, la résistance de fuite R_2 est connectée à l'extrémité négative de la résistance de polarisation R_1 . Mais l'anode de la diode ne doit pas être portée à un potentiel négatif; aussi sa résistance anodique R_1 est-elle directement branchée à la cathode.

Détection « par la grille ».

Au lieu de transmettre la tension B.F. à la grille à travers le condensateur de liaison C_1 , on peut confondre la grille et l'anode de la diode en une seule électrode. On obtient ainsi une triode montée en détection par la grille, comme le montre la figure 60 avec ses variantes équivalentes des figures 61 et 62. Cette méthode de détection et d'amplification combinée, jadis très répandue, est encore souvent employée de nos jours. Elle offre les avantages de la simplicité et de la sensibilité. Mais elle est loin d'être exempte de la distorsion, ne serait-ce que du fait que la grille ne peut pas être polarisée à un potentiel négatif fixe, ce qui serait souhaitable pour son fonctionnement en amplificatrice.

Notons que dans ce montage les valeurs traditionnelles des éléments de détection sont: R_1 de l'ordre du mégohm; C_1 de 0,05 à 0,15 $m\mu F$.

Nombre d'étages B.F.

Une lampe avec le circuit de liaison qui la précède compose un étage d'un récepteur. Dans le montage push-pull les deux lampes avec le transformateur qui les précède ne forment qu'un seul étage.

Dans les récepteurs actuels, l'amplification B.F. est rarement assurée par plus de deux étages. Habituellement, la détection est suivie d'un premier étage dit préamplificateur B.F. à amplification poussée et d'un étage final dit étage de puissance, puisque le rôle de la lampe (ou des deux lampes en cas de push-pull) qui l'équipe est de développer une puissance suffisante pour actionner le haut-parleur. Quelquefois, un seul étage B.F. est employé, équipé d'une lampe qui fournit une amplification et une puissance suffisantes.

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.

Déetectrices à 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 fort populaire depuis des années. Il permet d'assurer une bonne sensibilité et une sélectivité acceptable sans que la fidélité de la reproduction soit inadmissible. *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 de 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 fera 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 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; mais 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.

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 d'un 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. 66) 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 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. IX) également appelé ECO (de l'anglais *Electron Coupled Oscillator*). Utilisé souvent dans les hétérodynes, cet oscillateur ne permet

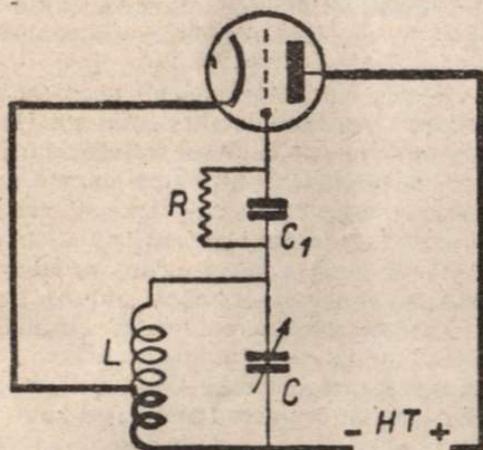


Fig. IX. — Oscillateur ECO. Le trajet du courant de plaque est tracé en gros trait.

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 radioélectrique. 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 lampes précédentes. Deux connexions voisinant sur une partie de leur parcours forment condensateur. Deux bobinages sont, sauf disposition spéciale, couplés par induction. Même les élec-

trodes d'une lampe, 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 notre 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 », les champs électromagnétiques sont interceptés et les couplages parasites évités. Bien entendu, les lampes métalliques se trouvent blindées du fait même que leur ampoule est en métal. 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.

Tétrade.

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 tétrades. 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. 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 de 1 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. 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 déviara la composante variable du courant directement vers la cathode.

Emission secondaire.

Lorsque, au bout 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 un court trajet, 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 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 milliampermètre placé dans le circuit anodique marquera une intensité égale à la différence du courant anodique normal et du courant secondaire.

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.

Penthode.

Le remède est simple: entre la grille-écran et l'anode on interpose une grille portée au potentiel de la cathode. Cette grille suppresseur n'aura aucun effet sur les électrons primaires dans leur course rapide de la cathode vers l'anode. Mais, beaucoup plus lents, les électrons secondaires seront freinés par cette grille suppresseur et regagneront bien sagement l'anode.

La lampe trigridde ou penthode 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 penthode 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 spontanés.

Commentaires à la 14^{me} 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 un trajet individuel court et facile à chacune d'elles.

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*: d'une part, un condensateur laisse passer la composante variable et arrête le courant 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 ohmi-

ques 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 du 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. Notons 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, en 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'éco-

nomie, le découplage est négligé, manifester une très bonne sensibilité. Cette constatation quasi-paradoxe 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 jugé nécessaire et peut être dosé suivant le besoin.

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 les 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 et 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 1,5 volt.

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, par sa fusion, arrête 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, 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 des 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 schémas courants.

Les valves utilisées sont toujours à deux plaques; si l'on veut ne redresser qu'une seule alternance, on a toujours la ressource de réunir les deux plaques en en faisant 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 cela 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 de 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. 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 achève 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 d'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 (fig. X) contiennent un liquide ou une pâte que l'on appelle électrolyte et qui est constitué par la solution d'un sel. Dans cet électrolyte est plongée une armature en aluminium d'une surface relativement importante. 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 en-

tourne 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.

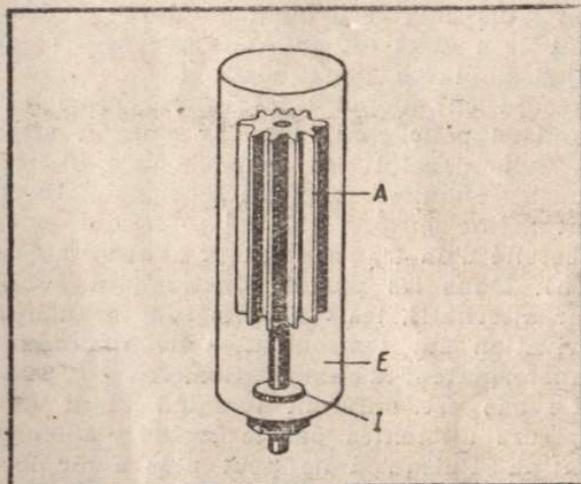


Fig. X. — Composition d'un condensateur électrolytique. — A, armature positive en aluminium; E, électrolyte; I, isolateur de passage pour la connexion de l'armature positive.

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 »).

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 à 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 μF .

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. A ce propos, notons que la plupart des lampes finales (dernier étage B.F.) employées actuelle-

ment sont à chauffage indirect et, par conséquent, tirent leur polarisation d'une résistance placée dans le circuit de la cathode.

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 lampes 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 lampes ayant des tensions de chauffage 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'arrivée 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. 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 des tensions de l'ordre de 110 volts qu'ils ont à supporter, on parvient à faire des condensateurs électrolytiques mesurant plus de $100 \mu\text{F}$.

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 est très répandu, ce sont les postes tous-courants (ou à alimentation universelle) qui se branchent sur secteur continu ou alternatif, avec à peu près la même indifférence qu'un vulgaire fer à repasser électrique.

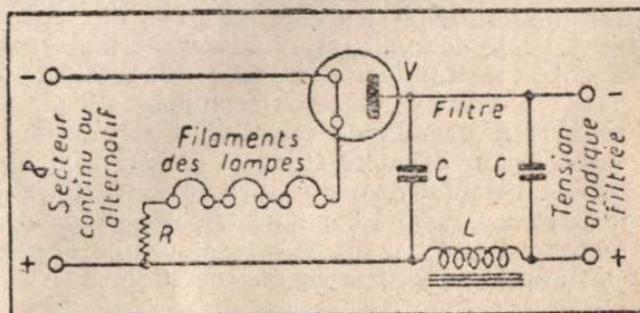


Fig. XI. — Partie alimentation d'un récepteur « tous-courants ».

Or, la composition de ces appareils diffère très peu de ceux que nous venons d'examiner en vue de l'alimentation par le secteur continu.

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. XI), avant d'entrer dans le filtre, le courant du secteur traverse une valve monoplaque (que l'on ob-

tient 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 alors 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.

Commentaires à la 16^{me} Causerie

Amplification directe.

Les récepteurs étudiés jusqu'à présent appartiennent à la catégorie de 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 du point de vue des oscillations spontanées, mais aussi en ce qui concerne l'efficacité 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 de 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; bien mieux, quelle que soit la fréquence des courants dans l'antenne, on les ramène à une

fréquence inférieure, 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 2 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 couplées).

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. 89); 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 E.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. 91). 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 redresse le courant résultant, nous trouvons dans son courant anodique la composante M.F. recherchée (fig. 92).

Lampes 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 anode auxiliaire dont le courant, par le truchement d'une bobine de réaction, servira à l'entretien des oscillations locales (fig. 94). 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-écran por-

tées 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 suppressor, ce qui porte le nombre des électrodes à 8 et constitue une octode.

D'autres méthodes et d'autres modèles de lampes peuvent être envisagés pour assumer la double fonction d'oscillation et de modulation qu'exige le changement de fréquence. C'est

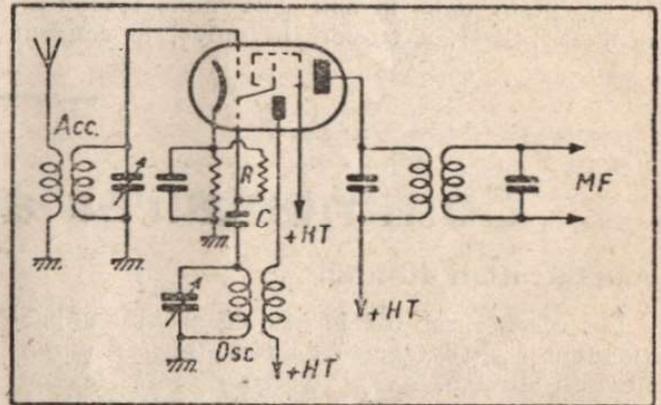


Fig. XII. — Changement de fréquence par triode-hexode.

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. XII) 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 la lampe.

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 472 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.

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

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

Actuellement, les transformateurs M.F. se composent de deux enroulements en « nid d'abeille » avec, le plus souvent, un noyau en fer pulvérisé; l'accord est réalisé 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 comprime plus ou moins. Il existe également des modèles qui reproduisent en miniature la construction des condensateurs variables.

Quelquefois, l'accord des transformateurs M.F. est obtenu non pas 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 le 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-inductions identiques 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 472 kHz, il faut que la fréquence de l'oscillateur soit de 472 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 ayant des capacités

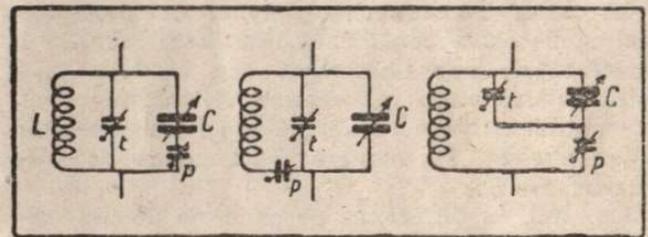


Fig. XIII — Trois modes de connexion des trimmers t et des paddings p dans le circuit d'accord de l'oscillateur en vue d'assurer le réglage unique.

identiques, pour établir une telle différence on est tout naturellement conduit à adopter des self-inductions différentes pour les circuits H.F. et d'oscillateur. De cette manière, on établit un écart entre les fréquences d'accord.

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, ex

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 XIII.

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 H.F.

Bien entendu, le bobinage de chaque gamme doit être muni de son 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.

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 :

$$\begin{aligned}(f + F) - f &= F \\ f - (f - F) &= F.\end{aligned}$$

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 entendrons les deux émetteurs simultanément. *Pour éliminer la « fréquence-image » gênante, il faut donc 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'at-

teindre 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 de 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 472 kHz. Il faut noter que l'écart entre les deux fréquences-images est égal au double de la fréquence de M.F. :

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

Dans l'exemple numérique donné plus haut, dans 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 472 kHz, l'écart des fréquences-images est de 944 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 944 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 que très rarement, soit dans des récepteurs portatifs alimentés par batteries, soit dans des récepteurs de prix très bas. Le haut-parleur le plus utilisé est l'électrodynamique, soit à excitation par courant, soit à aimant permanent en acier à haute teneur en cobalt.

La sensibilité du haut-parleur électrodynamique dépend essentiellement de l'intensité du champ magnétique dans lequel est plongé 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 la 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 en-

tre 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 ses 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 les 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 fréquences musicales correspondantes, de manière à canaliser vers chaque haut-parleur les courants qu'il reproduit le mieux.

Excitation des haut-parleurs.

Le courant d'excitation est emprunté au dispositif d'alimentation en haute tension du récepteur. Lorsqu'il s'agit d'un récepteur fonctionnant sur secteur alternatif et muni d'un transformateur d'alimentation, l'enroulement d'excitation est parcouru par le courant total de haute tension, car il est placé en série soit dans le positif, soit dans le négatif; il peut, d'ailleurs, servir de self-induction de filtre, rôle

que l'on lui assigne le plus souvent. Bien entendu, le courant produit dans cet enroulement une chute de tension considérable dont il faut tenir compte en déterminant les caractéristiques de l'alimentation H.T.

Un récepteur «tous courants», où l'on dispose d'une haute tension qui est limitée à celle du

secteur ne peut pas supporter pareille chute de tension. Il est préférable d'utiliser, dans ces récepteurs, des haut-parleurs à aimant permanent. Si l'on tient, cependant, à l'emploi d'une excitation par courant, la bobine d'excitation devra être de résistance élevée et sera branchée en dérivation sur l'alimentation H.T.

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 contre 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; ainsi, le passage sous un pont métallique ou encore entre deux immeubles en ciment armé se traduira par un affaiblissement notable du signal.

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 condition que tous les émetteurs aient la même profondeur de modulation. Qu'appelle-t-on ainsi? Comme on le voit dans la figure XIV, 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 par-

tie 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

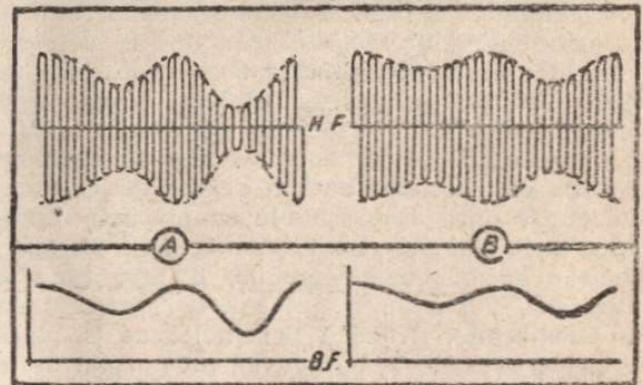


Fig. XIV. — L'émission en A est plus profondément modulée qu'en B. Dans la partie inférieure du dessin sont représentés les courants détectés.

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 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 lampes 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

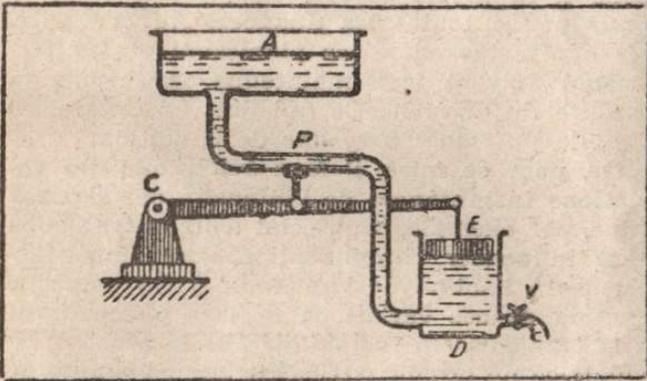


Fig. XV — Dispositif hydraulique analogique au régulateur antifading

sera figurée par le niveau du liquide dans un récipient A (fig. XV). Le niveau du liquide 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 B. 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 demeure 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 T.S.F., 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 T.S.F. *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 lampes précédentes, en variant leur amplification et en neutralisant ainsi les effets des fluctuations du signal dans l'antenne.

Lampes à 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 examinant les caractéristiques des lampes, n'est constante que dans la partie rectiligne de la courbe représentative. Dès que la polarisation atteint le coude inférieur de la caractéristique, la pente diminue pour devenir finalement nulle au moment où le courant anodique lui-même est annulé par une polarisation excessive.

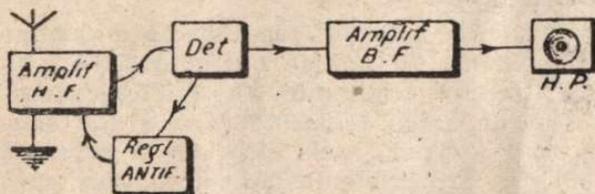


Fig. XVI. — Schéma général d'un récepteur équipé d'un régulateur antifading.

Toutes les lampes soumises à l'action d'un régulateur antifading ont une caractéristique un peu spéciale, dite à **pente variable**. La variation de pente suivant la variation de la polarisation y est très progressive. La courbe ne présente pas de coude brusque, en sorte que dans toutes ses parties, un petit segment de la courbe peut être aisément assimilé à une droite. De cette manière, quel que soit le point de fonctionnement et tant qu'il ne s'agit que de faibles amplitudes de tension de grille, la distorsion introduite par la courbure sera insignifiante.

Plus la polarisation négative est grande en valeur absolue, plus la pente est réduite et avec elle l'amplification. Ainsi, en variant la polarisation d'une lampe à pente variable dans une certaine étendue, nous pouvons varier son amplification entre sa valeur maximum et une valeur tellement réduite que, en réalité, il s'agit plutôt d'affaiblissement que d'amplification.

Fonctionnement de la C.A.V.

Ce réglage de l'amplification avant la détectrice (qui n'est, en somme, autre chose qu'un réglage de la sensibilité du récepteur) pourrait être effectué à la main, par exemple à l'aide d'un potentiomètre fixant le potentiel de la grille ou, ce qui revient au même, de la cathode. Mais dans le régulateur automatique, ce réglage est obtenu en prélevant la tension de polarisation nécessaire sur la détectrice. On trouve, en effet, au point X (fig. 106) d'une détectrice diode, une tension B.F. qui est, à cha-

que instant, proportionnelle à l'intensité moyenne des signaux reçus.

Cette tension négative servira à polariser plus ou moins les grilles des lampes précédentes qui se trouvent ainsi asservies à l'action du régulateur antifading. Il faut noter que la polarisation normale de ces lampes est assurée par le procédé habituel de chute de tension dans des résistances placées entre cathodes et —H.T. La tension du régulateur antifading vient donc s'y ajouter en « surpolarisant » les grilles de manière à réduire dans une proportion plus ou moins forte l'amplification de chaque lampe.

Lorsque, par suite du fading, l'intensité des signaux captés par l'antenne diminue, la tension détectée au point X diminue elle aussi; les lampes sont donc moins « surpolarisées », elles amplifient mieux et neutralisent ainsi l'effet du fading.

Constante de temps.

La fonction du régulateur antifading consiste à maintenir constante la puissance sonore de la reproduction. Il ne s'agit pas, bien entendu, de ramener la puissance de tous les sons à la même valeur, en privant ainsi la musique de toutes les nuances. Au contraire, les contrastes entre les **planissimi** et les **fortissimi** doivent être maintenus dans toute la mesure du possible. Ce qui doit être stabilisé, c'est la *puissance moyenne* de l'audition.

Or, pour ce faire, il faut éviter que des variations instantanées de l'intensité des signaux (dus, par exemple, à un éclat d'orchestre) puissent influencer l'amplification des lampes asservies à l'action de l'antifading. On empêche l'action de ces variations rapides en opposant à la transmission instantanée de la tension régulatrice un circuit possédant une **constante de temps**. Ce circuit est constitué par une forte résistance placée sur le chemin de la tension et par un condensateur dérivant ensuite vers un point à potentiel fixe (par exemple le —H.T.) les composantes alternatives de la tension. On notera la parenté de ce dispositif avec le filtre de haute tension.

Ainsi placés, une résistance de R_1 ohms et un condensateur de C farads mettent $R_1 \times C$ secondes pour laisser passer une variation de tension. Par exemple, une résistance de 500.000 ohms et un condensateur de $0,1 \mu F$ (soit $0,000.000.1 F$) auront une constante de temps de $500.000 \times 0,000.000.1 = 0,05$ seconde ou $1/20$ de seconde. Ainsi toutes les variations plus rapides que $1/20$ de seconde seront-elles arrêtées par notre ensemble de résistance et de capacité. Or, les fréquences musicales reçues par les postes de radio sont toutes supérieures à 20 p/s;

par contre, à de rares exceptions près, les variations d'intensité dues au fading sont bien moins rapides. Aussi, les tensions instantanées dues même aux notes les plus graves de la musique n'auront aucune influence sur l'amplification avant détectrice; mais les tensions dues aux fluctuations provoquées par le fading passeront à travers le système à constante de temps et agront dans le sens convenable sur l'amplification des lampes.

Antifading retardé.

Actuellement, les lampes détectrices comprennent généralement deux diodes ayant une cathode commune. Cela permet de séparer les fonctions de détection et de régulation automatique du volume. Comme le montre la figure 107, la diode supérieure est affectée à la détection; quant à la diode inférieure, elle reçoit la tension H.F. à travers un condensateur C' de faible capacité, et la chute de tension du courant détecté dans la résistance R' donne lieu à la tension antifading. Cependant, ainsi envisagée, l'utilisation d'une double diode ne procure aucun avantage notable. Par contre, son emploi devient réellement intéressant dans la réalisation de l'antifading retardé.

On appelle ainsi un système de régulation qui n'entre en action que lorsque l'intensité des signaux reçus dépasse une certaine valeur minimum. Quel est l'intérêt d'un tel dispositif?

Le régulateur antifading ordinaire, tel que nous venons de l'examiner, agit dès que le moindre signal est reçu par l'antenne; et, en l'occurrence, « agir » veut dire *réduire la sensibilité du récepteur*. Or, dans le cas de signaux faibles, cela ne fait pas précisément notre affaire. Pour que la réception des émissions lointaines ou faibles ne soit pas entravée de la sorte, il faut que le régulateur antifading ne se déclenche que pour des signaux dépassant un certain niveau. Nous retardons ou différons l'action du régulateur pour qu'il ne commence à agir que pour des signaux capables de développer sur la détectrice une certaine tension dite « tension de retard ». Tel est l'objet de l'antifading retardé.

Sa réalisation est très simple (fig. XVII). Pour que la tension antifading ne se développe que pour des signaux dépassant une certaine intensité, l'anode de la diode inférieure affectée à l'antifading est rendue négative par rapport à la cathode. Cette polarisation est obtenue par la chute de tension que produit le courant anodique de la partie triode d'une lampe combinée dans une résistance R_1 placée entre cathode et $-H.T.$ La tension e , qui se produit entre la cathode et un point convenablement choisi de cette résistance, rend

l'anode inférieure négative par rapport à la cathode de telle manière que les signaux développant sur la diode des tensions inférieures à e ne produiront aucun courant et, par conséquent, aucune chute de tension dans la résistance R' . La détection et la production d'une tension de régulation ne pourront avoir lieu

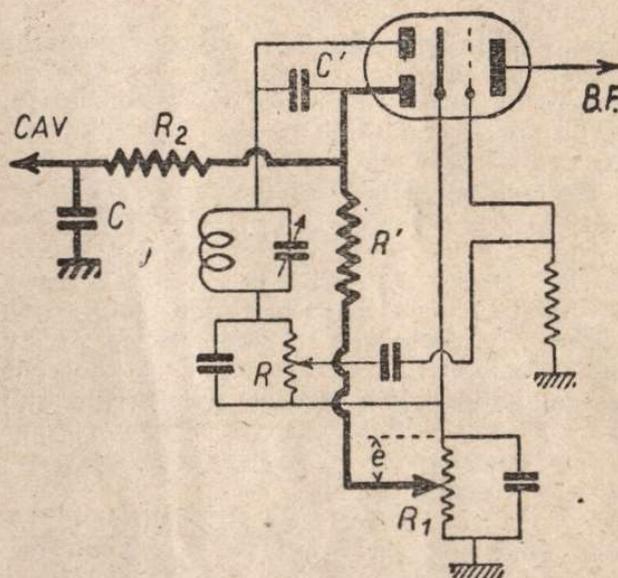


Fig. XVII. — Antifading retardé. La partie essentielle du montage est représentée en gros trait.

que lorsque la tension développée sur la diode par les signaux sera supérieure à la tension e de retard.

Ainsi, présentant le maximum de sensibilité à l'égard de signaux faibles, le régulateur antifading entre en action pour des signaux plus forts.

On remarquera, dans la figure XVII, que la diode supérieure (affectée à la détection en vue de l'obtention de la B.F.), n'est pas affectée d'une tension de retard, — qui n'y aurait aucune raison d'être, — puisque la résistance de détection R est réunie directement à la cathode. Dans le schéma, cette résistance R est, d'ailleurs, montée en potentiomètre et sert au réglage manuel de la puissance sonore.

Réglage silencieux.

Quand un récepteur muni d'un régulateur antifading n'est accordé sur aucune émission, sa sensibilité est le plus élevée; il reçoit donc, à ce moment, avec le maximum de puissance toutes les perturbations électriques que l'éther charrie et qui sont dues tant à l'électricité de l'atmosphère (parasites atmosphériques) qu'à des innombrables appareils et machines d'électricité industrielle, ménagère et médicale

(parasites industriels dus surtout aux étincelles des machines électriques, des moteurs, alternateurs, dynamos, interrupteurs, enseignes lumineuses, sonneries électriques, etc...). Ces parasites créent dans un récepteur un bruit très désagréable lorsque l'on tourne le bouton du condensateur à la recherche d'une émission et que l'on passe dans les intervalles entre les émetteurs.

Pour épargner à l'auditeur l'inconvénient de ce bruit pénible, on prévoit dans certains récepteurs un dispositif de réglage silencieux qui interdit toute audition lorsque le récepteur n'est pas accordé sur une émission. Nous n'entrerons pas ici dans l'examen de divers systèmes utilisés à cet effet. Les principaux sont basés sur l'action de la tension antifading sur une des lampes B.F. Celle-ci est en l'absence des signaux « paralysée » par une polarisation excessive, en sorte que le récepteur est rendu muet. Mais lorsque le récepteur est accordé sur une émission, la tension d'antifading qui apparaît alors sert à « déparalyser » la lampe B.F. en question en ramenant la polarisation à la valeur normale.

A vrai dire, l'emploi des dispositifs de réglage silencieux est assez peu fréquent, car leur fonctionnement est rarement satisfaisant et est même souvent une cause de graves distorsions.

Indicateurs visuels d'accord.

Ce qui, par contre, est très généralisé, c'est l'emploi d'indicateurs visuels d'accord qui permettent d'accorder un récepteur sur l'émission désirée après avoir placé dans la position de silence le régulateur manuel de puissance sonore; une fois l'accord ainsi assuré, sans bruit et uniquement à l'œil (et non à l'oreille), on règle la puissance sonore au niveau désiré.

Il existe deux classes d'indicateurs visuels. Les uns sont de simples milliampèremètres que l'on intercale dans le circuit anodique de lampes asservies à l'action de l'antifading. Comme, à l'accord précis, la tension antifading atteint la valeur maximum, la lampe se trouve le plus polarisée et son courant anodique passe par un minimum. C'est ce minimum d'intensité qui, marqué par le milliampèremètre, signale précisément l'accord exact.

Une autre catégorie, la plus répandue, d'indicateurs visuels est basée sur le principe des tubes cathodiques utilisés en télévision. Dans ces indicateurs (fig. XVIII) nous avons une cathode C émettrice d'électrons et une anode A portée à un potentiel positif et ayant la forme d'une coupelle. La surface intérieure de l'anode est recouverte d'une couche de matière fluorescente, c'est-à-dire devenant lumi-

neuse sous l'action du bombardement électronique. Ainsi un observateur placé devant le sommet du tube voit la surface de l'anode uniformément lumineuse; un écran noir E lui cache d'ailleurs la lumière provenant de la cathode incandescente.

Tel serait, du moins, le tableau s'il n'y avait pas une ou plusieurs électrodes de déviation D

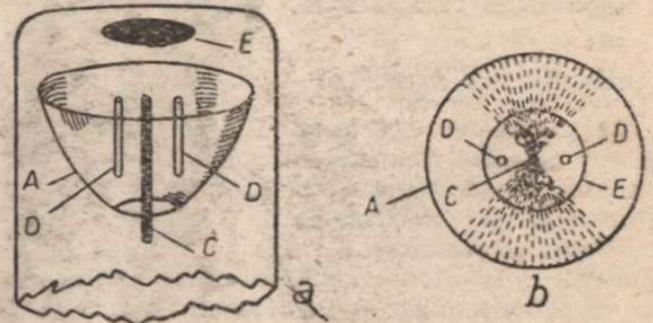


Fig. XVIII. — Vue en perspective (a) et du côté du sommet de l'ampoule (b) d'un indicateur cathodique d'accord. — C, cathode; A, anode fluorescente; D, électrodes de déviation; E, écran opaque.

disposées sur le trajet des électrons. Constituées par des bâtonnets, les électrodes déviateuses D sont portées, par rapport à l'anode, à un potentiel négatif plus ou moins grand et, de ce fait, obligent les électrons, en les repoussant, à dévier plus ou moins de leur trajectoire normale. Chaque électrode déviateuse crée donc sur l'anode une « ombre » plus ou moins large suivant que son potentiel est plus ou moins négatif. Ainsi, dans le cas de deux bâtonnets, verrons-nous deux ombres larges

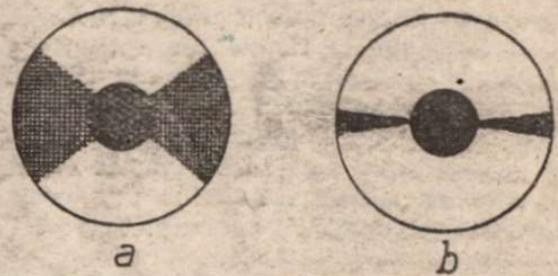


Fig. XIX. — Secteurs d'ombre d'un récepteur non accordé en a et au moment de l'accord exact en b.

(fig. XIX a), s'ils sont très négatifs par rapport à l'anode ou deux ombres très étroites (fig. XIX b), s'ils ont presque le même potentiel que l'anode. Tel est le principe de fonctionnement de l'œil magique ou du trèfle cathodique, comme on appelle les indicateurs cathodiques d'accord, suivant le nombre des secteurs d'ombre produits.

On devine que le potentiel des électrodes déviatrices est commandé par la tension CAV du régulateur antifading. Celle-ci est d'abord amplifiée (fig. XX) par une triode. La tension développée dans la résistance anodique R est alors appliquée à l'électrode déviatrice D de l'indicateur cathodique. Au moment de l'accord précis la tension CAV est le plus négative. A ce moment, le courant de la triode est très faible, la chute de tension dans R devient insignifiante et l'électrode D se trouve presque au même potentiel que l'anode fluorescente. Les secteurs d'ombre deviennent étroits... et nous savons que l'accord précis est réalisé.

Le système amplificateur et l'indicateur cathodique proprement dit sont, en réalité, montés dans la même ampoule, comme le montre le schéma de la figure XXI équivalent à celui de la figure XX.

La résistance R a pour valeur de 1 à 2 mégohms.

Grâce à l'indicateur visuel, on réalise l'accord exact, ce qui est une condition indispen-

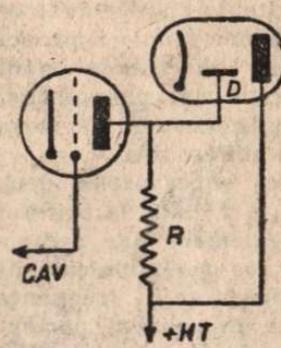


Fig. XX. — La tension CAV d'antifading amplifiée par une triode crée entre les électrodes D et l'anode de l'indicateur cathodique la tension de déviation nécessaire à son fonctionnement.

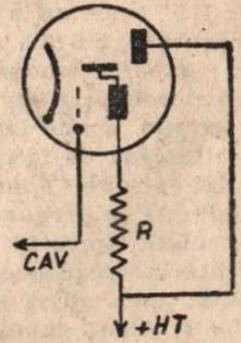


Fig. XXI. — Montage pratique d'un indicateur cathodique groupant dans la même ampoule les deux systèmes d'électrodes de la figure précédente.

sable de reproduction exempte de déformations.

Commentaires à la 19^{me} Causerie

Diverses catégories des déformations.

Le but vers lequel tendent, depuis des années, les efforts des techniciens, est l'obtention d'une fidélité parfaite de la reproduction musicale. L'idéal serait, évidemment, d'obtenir du haut-parleur des sons identiques à ceux qui, au studio d'émission, impressionnent le microphone. Sans qu'une solution aussi parfaite puisse être atteinte, les chercheurs s'en approchent de plus en plus en «grignotant» jour après jour les diverses causes de déformation. Et si l'on compare la qualité sonore des récepteurs d'aujourd'hui avec ce que nous considérons comme une bonne reproduction il y a dix ans, on reconnaît l'importance du progrès accompli.

Les déformations peuvent présenter des aspects variés. Nous pouvons reconnaître des distorsions linéaires qui se manifestent par l'inégalité de la reproduction de différentes fréquences musicales; ainsi, dans la plupart des récepteurs de qualité moyenne, les notes graves et les notes aiguës sont atténuées par rapport aux notes du registre moyen. D'autre part, le lecteur connaît déjà l'existence des distorsions non linéaires dues à la courbure de la caractéristique des lampes et qui affectent à la fois les rapports des intensités et la forme même des oscillations; cette déformation se traduit par la naissance de sons qui n'existaient pas dans la musique originale. Enfin, des bruits d'origine étrangère peuvent s'ajouter à

l'audition: ronflement du secteur dû à un filtrage insuffisant de la H.T. ou à des inductions parasites; souffle dû aux irrégularités de l'émission électronique des cathodes et à l'agitation thermique des conducteurs; enfin, les parasites atmosphériques et industriels.

Une étude approfondie de la question conduit à cette pénible constatation: tous les organes d'un récepteur sont susceptibles d'occasionner des déformations: tant dans la partie H.F. que dans la détectrice et la B.F. des distorsions peuvent prendre naissance. Et l'on reste confondu en observant que, malgré les mille menaces suspendues sur le courant musical dans toutes les étapes de son trajet, il parvient à conserver à peu près intacte sa pureté originelle...

Bandes latérales de modulation.

Les déformations dans la partie H.F. (y compris, dans les superhétérodynes, l'amplificateur M.F.) peuvent être dues à la sélectivité excessive des circuits accordés.

Dans nos raisonnements nous avons, jusqu'à présent, considéré que le courant de H.F. reçu par l'antenne n'a qu'une seule fréquence, celle de l'oscillation entretenue de H.F. servant de porteuse à la modulation B.F. Or, une telle conception, par trop simpliste, ne correspond pas à la réalité.

Le fait de moduler la H.F. par des courants

de B.F. équivaut à un véritable changement de fréquence, tel que nous l'avons étudié à propos du superhétérodyne. Mais là encore nous n'avons exposé qu'une partie des phénomènes auxquels donne lieu la superposition de deux oscillations de fréquences différentes.

En réalité, quand nous superposons deux courants de fréquences F et f , dans le courant résultant apparaît non seulement une composante de fréquence $F - f$ (ce que nous savions déjà), mais aussi une composante de fréquence $F + f$. Ainsi, en modulant un courant porteur H.F. de fréquence F par un courant musical de fréquence f , nous créons de part et d'autre de la fréquence F deux composantes $F - f$ et $F + f$ symétriques par rapport à F . Ces deux fréquences sont appelées *fréquences latérales de modulation*.

Mais, dans une transmission de parole ou de musique, nous avons à faire non pas à une seule fréquence f , mais à toute une bande de fréquences d'étendant jusqu'à 10.000 ou 16.000 p/s. Ainsi, autour de la fréquence porteuse F se créent des bandes latérales de modulation occupant tout l'intervalle de fréquences entre $F - f$ et $F + f$, soit une largeur de $2f$.

A titre d'exemple, une émission faite à 1.000.000 p/s (longueur d'onde 300 mètres) modulée par des fréquences musicales allant jusqu'à 10.000 p/s occupera toutes les fréquences entre 990.000 et 1.010.000 p/s, soit un intervalle de 20.000 périodes.

Musicalité et sélectivité.

La fréquence porteuse la plus voisine d'un autre émetteur doit en être écartée d'au moins $2f$ pour que des interférences n'aient pas lieu entre les fréquences des bandes latérales. Dans l'exemple ci-dessus, l'émetteur le plus rapproché par sa fréquence devra être accordé sur 980.000 p/s ou sur 1.020.000 p/s; dans le premier cas, il occupera les fréquences de 970.000 à 990.000; dans le second, de 1.010.000 à 1.030.000 p/s.

Pour pouvoir faire tenir dans les intervalles de fréquences réservés à la radiodiffusion un grand nombre d'émetteurs, une convention internationale a limité à 9.000 p/s l'intervalle total de fréquences que doivent occuper les deux bandes latérales d'un émetteur. Dans ces conditions, les fréquences musicales qu'il transmet ne doivent pas dépasser 4.500 p/s. Cette limitation de la radio en fait, du point de vue de la fidélité de la reproduction, la parente pauvre du phonographe et du cinématographe sonore qui, à l'abri de pareilles restrictions, peuvent atteindre des fréquences musicales plus élevées.

Mais déjà avec les 4.500 p/s disponibles on

peut atteindre une bonne qualité de la reproduction, à condition de ne pas rogner dans le récepteur même les fréquences élevées de la modulation. Or, c'est là précisément le phénomène néfaste auquel donnent lieu des circuits par trop sélectifs. Ne pouvant laisser passer qu'une étroite bande de fréquences, ils atténuent ou suppriment toutes les autres fréquences de la modulation.

Certes, rien n'est plus facile que de rendre un circuit moins sélectif: il suffit de l'amortir en provoquant des pertes dans une résistance branchée en dérivation, de manière qu'il y débite un certain courant. Mais alors, outre la perte de sensibilité qui en résulte, nous n'aurons plus une sélectivité suffisante pour éviter la réception des émissions sur les fréquences voisines.

Le dilemme devient d'une clarté frappante lorsqu'on étudie les courbes de résonance. Ces courbes montrent la variations de l'intensité du courant circulant dans un circuit oscillant en fonction de la fréquence du courant. Faible en dehors de la fréquence de résonance, cette tension atteint son maximum à la résonance.

En superposant ces courbes à un rectangle qui constitue l'image d'une émission avec ses bandes latérales, on voit qu'un circuit peu sélectif (fig. 110) laisse déborder sa courbe de résonance bien au-delà de l'intervalle de fréquences qui nous intéresse et, de ce fait, laissera également passer les fréquences d'autres émissions. Trop sélectif (fig. 111), le circuit « rogne » les fréquences élevées des bandes latérales.

Filtres de bande.

La solution est offerte par des circuits composés portant le nom de *filtres de bande* et dont les courbes de résonance s'approchent de la forme idéale qui serait celle d'un rectangle; elles respectent dans tout leur intervalle de 9.000 périodes les fréquences musicales et tombent ensuite avec assez de raideur pour ne pas laisser passer les émissions voisines.

Un filtre de bande est formé de deux circuits oscillants couplés. Suivant que le couplage est lâche, moyen, serré ou très serré, la courbe de

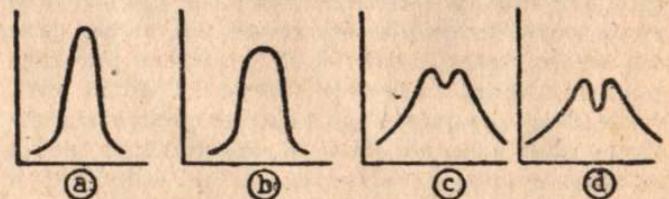


Fig. XXII. — Deux circuits accordés couplés donnent lieu à l'une des quatre courbes de résonance ci-dessus suivant que le couplage est lâche (a), moyen (b), serré (c) ou très serré (d).

résonance aura l'un des aspects de la figure XXII. La double bosse qui caractérise le couplage serré ou très serré n'apparaît qu'à partir d'un certain degré de couplage dit « couplage critique ». C'est aux environs de ce degré de couplage que la courbe de résonance du filtre de bande offre la forme permettant de réaliser le meilleur compromis entre la sélectivité et la musicalité.

Le couplage des deux circuits peut être réalisé de plusieurs manières: par induction entre les bobinages (c'est ainsi que sont réalisés les transformateurs M.F.), par capacité, par l'emploi combiné de ces deux moyens ou encore par impédance commune (capacitance, inductance, ou encore les deux ensemble).

Les filtres de bande sont utilisés comme circuits d'accord d'antenne ou comme circuits de liaison entre lampes H.F. et M.F.

Sélectivité variable.

La largeur de la bande passante dépend du degré de couplage. En rendant ce dernier réglable, nous pouvons donc varier à volonté la largeur de la bande de fréquences transmises par le filtre. On réalise ainsi la **sélectivité variable** qui permet d'adapter le récepteur aux conditions les plus variées de la réception.

Pour écouter une émission lointaine qui risque d'être brouillée par un émetteur puissant, on pousse la sélectivité au maximum, quitte à sacrifier la musicalité. Par contre, on assure la musicalité maximum (en resserrant le couplage) lorsque l'écoute d'une émission puissante et rapprochée ne nécessite qu'une sélectivité médiocre.

Distorsions dans la partie B.F.

Les déformations qui prennent naissance dans la partie B.F. d'un récepteur appartiennent principalement à la catégorie des distorsions non linéaires dues à la courbure des caractéristiques des lampes. Cette courbure existe même dans ce que nous avons, en première approximation, considéré comme « partie rectiligne » de la caractéristique. Tant qu'il ne s'agissait que de faibles amplitudes de tensions alternatives de grille, cette façon d'assimiler la partie intéressée de la caractéristique à une droite était parfaitement justifiée. Mais en B.F., — et surtout en ce qui concerne la lampe finale, — nous sommes en présence de tensions alternatives relativement importantes, et là la courbure de la caractéristique se manifeste par une certaine déformation du courant anodique.

Une analyse approfondie du phénomène montre que la modification de la forme du cou-

rant anodique se traduit par l'apparition de sons **harmoniques**, c'est-à-dire de notes de fréquences double, triple, etc... de la fréquence fondamentale d'un son. Les harmoniques ainsi créés affectent le timbre du son et nuisent ainsi à la fidélité de la reproduction.

Contre-réaction.

Le remède proposé appartient à la classe de ceux qui guérissent le mal par le mal. *Pour supprimer ou, du moins, atténuer les déformations de l'amplificateur B.F. on y introduit des déformations de nature identique à celles qu'il produit lui-même, mais dans le sens opposé, de manière à neutraliser les unes par les autres.*

Où donc prendrons-nous des déformations identiques à celles de l'amplificateur lui-même? Le plus simple et le plus sûr est de les prélever à la sortie même de l'amplificateur et, de là, les appliquer à son entrée, mais en opposition de phase avec les tensions qui, amplifiées, les ont fait apparaître.

Et nous voilà amenés au principe de la **contre-réaction**. Car qu'est-ce sinon de la contre-réaction que nous faisons en prenant à la

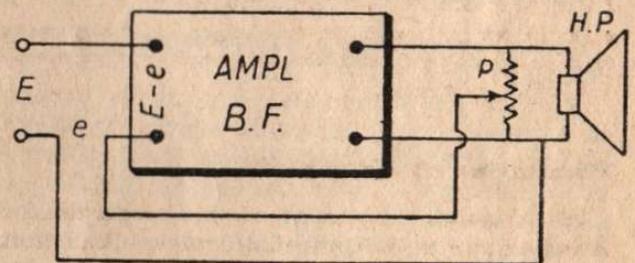


Fig. XXIII. — Schéma général de la contre-réaction. La portion nécessaire de la tension de sortie est prélevée à l'aide du potentiomètre P

sortie d'une lampe (ou d'un amplificateur entier) une partie de la tension disponible et en la réinjectant dans l'entrée, mais en opposition de phase.

L'idéal serait de ne prélever, à la sortie, que les tensions dues aux distorsions. Mais, évidemment, elles ne sont pas séparables de la tension totale. C'est donc une partie plus ou moins faible e de la tension totale de sortie que nous ramènerons à l'entrée de l'amplificateur en la mettant en opposition de phase avec la tension E qui y est appliquée (fig. XXIII). Que se passe-t-il alors?

Lui étant opposée, la tension e se retranche de la tension E , en sorte qu'à l'entrée de l'amplificateur nous n'aurons plus qu'une tension $E - e$. Cela n'est pas grave, car cette réduc-

tion peut être compensée par une amplification suffisante de l'ensemble. Mais ce qui est intéressant, c'est que dans la tension $E - e$ nous avons maintenant des distorsions qui n'existent pas dans la tension E et qui sont appliquées dans le sens opposé à celui dans lequel elles se produisent dans l'amplificateur. Il en résulte une réduction considérable de la distorsion.

Remarquons tout de suite que la contre-réaction ne permet pas d'éliminer totalement les distorsions, puisqu'il faut avoir à la sortie un peu de déformations afin de les réinjecter à l'entrée. Dans les lampes, elles sont « corrigées » par la déformation en sens opposé, en sorte qu'il n'en reste que fort peu à la sortie.

Du fait que la tension E à l'entrée se trouve réduite à la valeur $E - e$ par une partie e de la tension de sortie, la contre-réaction réduit l'amplification dans un certain rapport. Elle ne doit donc être appliquée qu'à un amplificateur ayant une réserve suffisante d'amplification, de manière que, malgré cette réduction, la lampe finale puisse fournir au haut-parleur la puissance désirée.

Contre-réaction sur lampe finale.

Comment se réalise pratiquement la contre-réaction ?

Puisque les principales distorsions prennent naissance dans la lampe de sortie, on ne l'applique parfois qu'à cette dernière. Dans ce cas, le moyen le plus simple (fig. XXIV) consiste à réunir la plaque de la lampe finale L_2 à la plaque de la préamplificatrice L_1 à l'aide d'une résistance R d'une valeur élevée (de 1 à 2 M Ω). C'est à travers cette résistance que

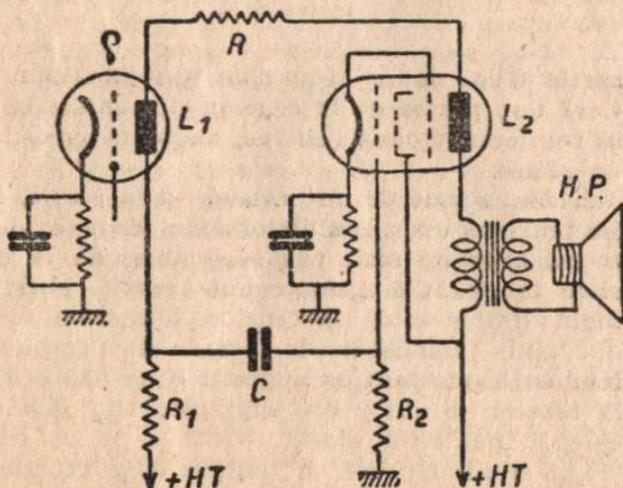


Fig. XXIV. — Contre-réaction sur la lampe finale établie à l'aide de la résistance R .

les tensions alternatives développées dans le primaire du transformateur de sortie sont retournées, en partie, vers la grille de la lampe finale, en passant par le condensateur de liaison C .

Il faut noter qu'ici, comme dans le schéma général de la figure XXIII, nous sommes en présence d'un potentiomètre qui divise la tension de sortie de manière qu'une partie seulement soit retournée. Dans la figure XXIV, le potentiomètre est constitué d'une part par la résistance R , d'autre part par trois résistances mises en parallèle: la résistance interne ρ de la lampe L_2 et les résistances R_1 et R_2 (ces trois résistances sont connectées d'une part à l'anode de L_2 et d'autre part au + ou - H.T., ce qui, du point de vue alternatif, revient au même). Comme la résistance équivalente de ρ , R_1 et R_2 en parallèle est faible par rapport à la résistance R , ce n'est qu'une faible partie de la tension de sortie qui sera ainsi appliquée à la grille de L_2 .

Contre-réaction avec correction de la tonalité.

Lorsqu'on désire appliquer la contre-réaction aux deux lampes composant l'amplificateur B.F. d'un récepteur, il est préférable de prélever la tension nécessaire sur le secondaire du transformateur de sortie qui est, rappelons-le, un abaisseur de tension. On l'applique à la première lampe à l'aide d'une résistance R_1 de faible valeur (10 à 20 ohms) intercalée entre la cathode et la résistance de polarisation (fig. XXV). La cathode se trouve ainsi promue au grade d'électrode de commande pour la tension de contre-réaction.

On profite parfois de ce dispositif pour améliorer en même temps la reproduction des notes graves et aiguës qui, généralement, sont atténuées par rapport au registre moyen. Pour mieux amplifier les graves et les aiguës, il suffit de réduire les tensions de contre-réaction pour les fréquences correspondantes. De cette manière l'atténuation de l'amplification qu'entraîne la contre-réaction sera moins prononcée pour les graves et les aiguës qui se trouveront ainsi mieux amplifiées par rapport au médium.

Une telle « correction de tonalité » est réalisée à l'aide de deux petites inductances L_1 et L_2 . La première, placée en dérivation sur le circuit de contre-réaction, laisse passer les courants d'autant plus aisément que leur fréquence est plus basse, et cela au détriment du courant qui passe en R_1 . Ainsi, plus la fréquence est basse, moins il y aura de tension dans R_1 pour exercer l'effet de contre-réaction. Ainsi, la bobine L_1 corrige-t-elle les notes graves.

La bobine L_2 , placée en série, s'oppose au passage des courants d'autant plus violemment que leur fréquence est plus élevée. Il en résulte que les fréquences des notes aiguës seront moins bien acheminées vers R_1 et que, pour elles, la contre-réaction entraînera une moindre diminution de l'amplification.

Si cette façon de « corriger la tonalité » semble être d'une simplicité séduisante et pour cette raison est assez répandue, nous ne saurions pas en préconiser l'emploi sans formuler des réserves. En réduisant l'effet de la contre-réaction pour certaines fréquences, nous oublions un peu que le but essentiel de la contre-réaction est d'atténuer les distorsions. Ainsi les fréquences « favorisées » par une contre-réaction réduite seront les plus affectées par les distorsions insuffisamment corrigées. Et si ce fait est de peu d'importance pour les notes aiguës (dont les harmoniques montent trop loin dans l'échelle des fréquences pour être encore gênants), il peut, au contraire, s'avérer bien déplaisant dans les notes graves.

Et puisqu'il existe d'autres méthodes de correction de tonalité, qui ne font pas appel à la contre-réaction, il est préférable d'y avoir recours plutôt que de risquer d'introduire des

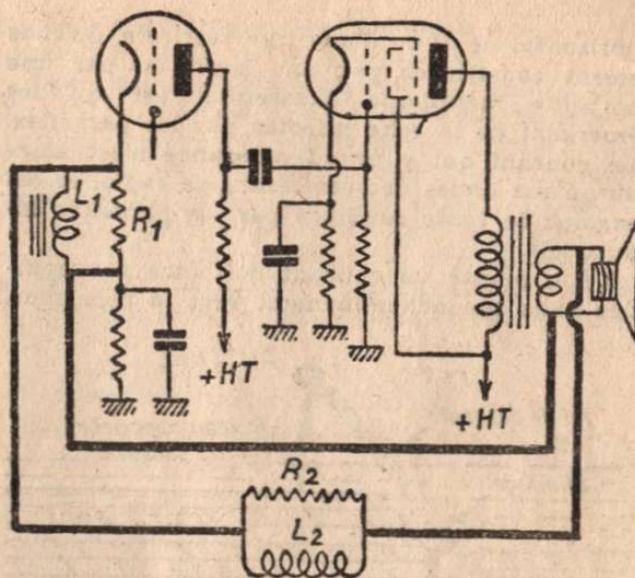


Fig. XXV — Contre-réaction sur l'amplificateur BF avec correction de tonalité. La résistance R_1 est de l'ordre de 10 à 20 ohms. R_2 est de 500 ohms. L_1 est de 25 millihenry. L_2 est de 15 millihenry.

déformations gênantes en s'attaquant à d'autres déformations... parfois moins importantes.

Commentaires à la 20^{me} Causerie

Parasites industriels.

Dans cette dernière causerie, Curlosus et Ignotus, en collaborant amicalement, ont dressé le schéma d'un excellent récepteur bien étudié dans tous ses détails. Ils ont cependant passé sous silence le problème du collecteur d'ondes.

Une telle omission est bien excusable. La sensibilité d'un récepteur moderne, tel que celui qu'ils vont mettre en chantier, permet de se contenter d'une antenne bien modeste. Quelques mètres de fil tendus au plafond d'une pièce et convenablement isolés des clous de soutien suffisent pour faire entendre « toute l'Europe en haut-parleur », suivant la triviale expression des placards de publicité. D'autre part, la prise de terre est obtenue en connectant la borne correspondante du récepteur à une canalisation d'eau, de chauffage central ou de gaz.

Bien souvent, d'ailleurs, les récepteurs se passent fort bien d'une prise de terre, la capacité propre du châssis métallique suffisant pour servir de réservoir aux électrons affluant et refluant vers l'antenne.

Cependant, si une telle antenne est soumise l'action des ondes radioélectriques, elle est

également impressionnée par des parasites industriels. Ces perturbations, nous l'avons déjà dit, sont engendrées par différentes installations d'électricité domestique, médicale et industrielle. Ce sont des oscillations de H.F. se propageant sous la forme d'ondes électromagnétiques occupant de très larges bandes de fréquences, en sorte qu'elles affectent la réception des émissions de presque toutes les fréquences.

Les ondes parasites sont de puissance relativement faible et ne rayonnent guère au-delà des limites d'un pâté d'immeubles où leur propagation est facilitée par toutes les canalisations et armatures métalliques. De même, dans le sens de la hauteur, le champ de ces ondes s'affaiblit très vite au-dessus des toits, en sorte qu'à quelques mètres au-dessus des toitures l'action des parasites devient souvent insignifiante.

Antennes antiparasites.

C'est sur ce fait qu'est basé l'emploi des antennes antiparasites que l'on installe sur des mâts de manière à les élever bien au-dessus du niveau des toits. Peu importe que de telles antennes affectent la forme d'un brin

horizontal de fil ou d'une tige verticale, qu'elles soient constituées par une boule ou par une corbeille métallique. L'essentiel est qu'elles émergent de la zone infestée par les parasites. Le courant qui y prend naissance n'est alors dû qu'aux ondes des émetteurs de radio, et est exempt de toute souillure par les parasites industriels.

Cette pureté du courant doit être sauvegardée dans son acheminement vers le récepteur.

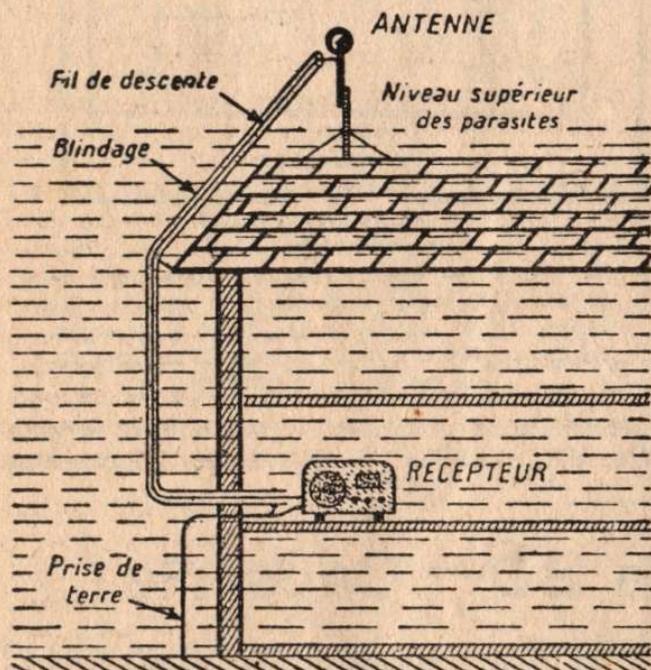


Fig. XXVI. — Installation d'une antenne antiparasite.

Autrement dit, il ne faut pas que les parasites puissent agir sur la descente d'antenne qui relie le récepteur au collecteur d'ondes. Sinon, à quoi servirait-il de pêcher les ondes là où elles sont pures pour les polluer ensuite sur le trajet dans la zone infestée.

Une fois de plus, c'est le blindage qui viendra résoudre heureusement le problème: grâce à l'utilisation d'une descente d'antenne blindée, le courant parvient intact au récepteur.

Le fil de descente blindé est constitué par un fil de cuivre placé dans un tube métallique souple (par exemple en tresse métallique) d'un diamètre sensiblement supérieur et est maintenu dans l'axe du blindage à l'aide d'isolateurs disposés à des courts intervalles les uns des autres. Il ne faut pas, en effet, que le blindage épouse de trop près le fil de descente, sinon la capacité se formant entre les deux conduirait à une fuite inadmissible du courant de haute fréquence. Le blindage est, bien entendu, connecté à la prise de terre.

Bien établi, un tel système est très efficace

contre les parasites industriels; mais il ne protège pas contre les perturbations atmosphériques dont la violence est, fort heureusement, moins grande, sauf au moment des orages.

Effet directif du cadre.

Les antennes de réception, sauf certains modèles prévus pour la réception des ondes courtes, ne possèdent pas d'effet directif. Autrement dit, elles reçoivent indifféremment les ondes venues de toutes les directions.

Mais il existe d'autres collecteurs d'ondes, les cadres, qui ont un effet directif prononcé. Qu'est-ce que le cadre? C'est une bobine d'un diamètre généralement grand. Les ondes interceptées par ses spires y engendrent des tensions de H.F. Ces tensions sont plus ou moins grandes suivant l'orientation du cadre par rapport à l'émetteur. La tension est maximum lorsque le plan des spires est orienté dans la direction de l'émetteur; à ce moment on entend avec la plus grande intensité. Mais en tournant le cadre d'un angle droit, on provoque l'extinction de l'audition. Elle sera plus ou moins forte dans les positions intermédiaires.

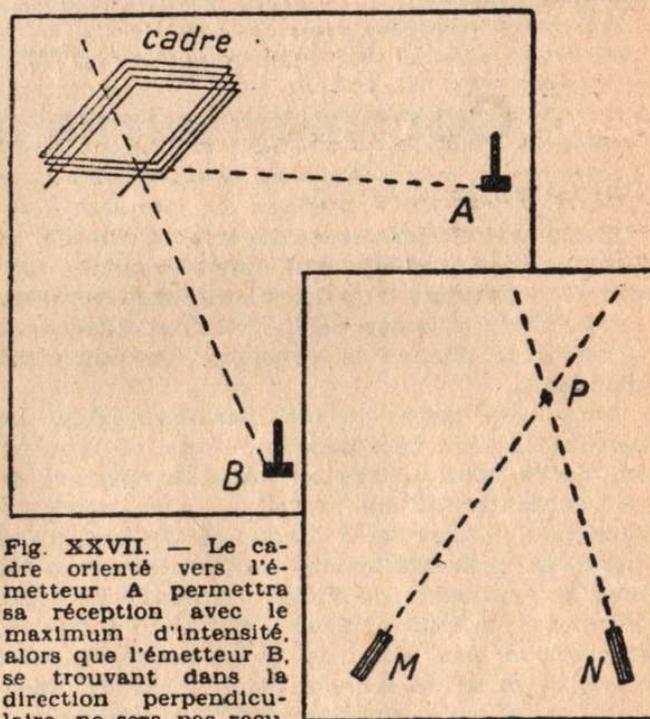


Fig. XXVII. — Le cadre orienté vers l'émetteur A permettra sa réception avec le maximum d'intensité, alors que l'émetteur B, se trouvant dans la direction perpendiculaire, ne sera pas reçu.

Fig. XXVIII. — La réception simultanée sur les cadres M et N suffisamment distants l'un de l'autre permet de déterminer la position de l'émetteur P.

Le cadre est connecté à un récepteur à la place de la bobine du circuit d'accord d'entrée, c'est-à-dire en dérivation au premier condensateur variable (qui sert alors à l'accorder). Le

pouvoir collecteur du cadre augmente avec le nombre de spires et avec l'aire embrassée par chaque spire. On ne peut augmenter à volonté ni l'un ni l'autre de ces facteurs, puisque cela conduirait à une self-induction trop élevée pour permettre un accord correct ou à un encombrement prohibitif.

Comparé à l'antenne, le pouvoir collecteur du cadre est faible. Mais, compte tenu de la sensibilité des superhétérodynes actuels, ce fait ne s'oppose guère à l'emploi courant du cadre.

L'effet directif du cadre constitue de son côté, dans beaucoup de cas, un avantage appréciable. Il permet notamment d'éliminer une bonne partie de parasites: tous ceux qui proviennent des directions dans lesquelles la réception est faible ou nulle. Bien mieux, pour cette même raison, la sélectivité apparente d'un récepteur muni d'un cadre se trouve accrue. Si deux émetteurs fonctionnant sur des fréquences voisines ne se trouvent pas sur la même droite que le récepteur, on oriente le cadre vers celui des émetteurs que l'on désire écouter et l'on affaiblit alors suffisamment l'action de l'émetteur indésirable.

Enfin, l'emploi des cadres permet de déterminer la position des émetteurs, opération connue sous le nom de **radiogoniométrie**. Ainsi, pour découvrir la position d'un émetteur, procède-t-on à sa réception sur cadre à partir de deux points suffisamment écartés l'un de l'autre. On relève soigneusement les directions donnant le maximum d'intensité de réception: ce sont, nous l'avons vu, les directions dans lesquelles, pour chaque point de réception, se trouve l'émetteur. En les traçant sur une carte,

on trouve au point de croisement la position de l'émetteur.

C'est de cette manière qu'un navire au large ou encore un avion en vol peut, en émettant des signaux de radio, faire déterminer sa position exacte en faisant faire des relevés radiogoniométriques à deux stations terrestres. On conçoit l'aide puissante que la radio apporte, grâce à l'emploi des cadres, à la navigation maritime et aérienne, notamment pour le pilotage et atterrissage sans visibilité.

De quoi demain sera-t-il fait?

Ces quelques lignes ouvrent des aperçus sur des multiples applications de la radio qui, loin de se borner à la transmission de la musique d'agrément, de conférences éducatives, d'informations plus ou moins agréables, assure des services essentiels, tel que celui de l'heure exacte, celui des signaux de détresse ou encore celui de la météo.

Chaque jour voit, d'ailleurs, s'élargir le domaine d'applications de la radio. Hier encore réservée à la transmission des signaux Morse, puis des sons de la parole et de la musique, ses ondes transportent aujourd'hui les images vivantes de la télévision.

Abolissant le temps et l'espace, ces ondes créeront-elles demain entre les peuples du globe des liens d'indestructible solidarité et de mutuelle compréhension? Nous mettront-elles après-demain en communication avec les habitants des autres planètes? Et le radioélectricien sera-t-il ainsi l'artisan d'un rapprochement vraiment universel?

Souhaitons-le...

FIN



TABLE DES MATIÈRES

des Commentaires & Compléments

<p>I. — Potentiel. Conducteurs et isolants. — Courant électrique. — Volt. Ampère. Ohm. — Loi d'Ohm. — Les trois expressions de la loi d'Ohm..... 105</p>	<p>XII. — Liaisons à impédance. — Amplificateur à résistances. — Amplificateur à inductance. — Autres montages à impédance. — Liaison de la diode. — Détection « par la grille ». — Nombre d'étages B.F..... 126</p>
<p>II. — Courant alternatif. — Ondes électromagnétiques. — Champ magnétique. — Induction. 106</p>	<p>XIII. — Réaction. — Détections à réaction. — Couplages parasites. — Blindage. — Tétrode. — Emission secondaire. — Penthode. 128</p>
<p>III. — Loi de Lenz. — Self-induction. — Inductance. — Condensateur. — Capacité. 108</p>	<p>XIV. — Couplage par impédances communes. — Découplage. — Réalisation des découplages 131</p>
<p>IV. — Passage du courant alternatif à travers un condensateur. — Capacitance. — Déphasage. — Associations d'impédances. — Impédances en série. — Impédances en parallèle 109</p>	<p>XV. — Problème de l'alimentation. — Cas du secteur alternatif. — Filtrage. — Condensateurs électrolytiques. Chauffage des filaments. — Cas du secteur continu. — Postes « tous courants »..... 132</p>
<p>V. — Résonance électrique — Décharge oscillante. — Impédance d'un circuit oscillant. — Résonance en série et en parallèle.... 111</p>	<p>XVI. — Amplification directe. — Principe du superhétérodyne. — Changeurs de fréquence à 2 lampes. — Lampes oscillatrices-modulatrices. — Amplification M.F. — Réglage unique 135</p>
<p>VI. — Formule de Thomson. — Sélectivité. — Accord des circuits 113</p>	<p>XVII. — Fréquences-images. — M.F. de valeur élevée. — Haut-parleur électrodynamique. — Conditions de bonne reproduction. — Excitation des haut-parleurs 138</p>
<p>VII. — Lampes électronique. — Cathode et son chauffage. — Diode. — Triode. — Pente. — Coefficient. — Relation entre S, K et ρ.. 114</p>	<p>XVIII. — Commande automatique de volume. — Nécessité d'une commande manuelle. — Analogie hydraulique. — Lampes à pente variable. — Fonctionnement de la C.A.V. — Constante de temps. — Antifading retardé. — Réglage silencieux. — Indicateurs visuels d'accord 140</p>
<p>VIII. — Courbe caractéristique. — Autres courbes. — Détermination graphique de S, K et ρ. — Entrée et sortie d'une lampe. — Polarisation de grille..... 117</p>	<p>XIX. — Diverses catégories des déformations. — Bandes latérales de modulation. — Musicalité et sélectivité. — Filtres de bande. — Sélectivité variable. — Distorsions dans la partie B.F. 145</p>
<p>IX. — Microphone. — Modulation. — Emission 120</p>	<p>XX. — Contre-réaction. — Contre-réaction sur lampe finale. — Contre-réaction avec correction de la tonalité. — Parasites industriels. — Antennes antiparasites. — Effet rectificatif du cadre. — De quoi demain sera-t-il fait? 149</p>
<p>X. — Ecouteur. — Détection. — Détecteurs. — Détection par la plaque..... 121</p>	
<p>XI. — Amplification H.F. et B.F. — Transformateur. — Liaison par transformateur. — Polarisation automatique. — Séparation de composantes. — Transformateurs B.F. et H.F. — Montage push pull. — Divers régimes d'amplification 122</p>	

LES MEILLEURS LIVRES TECHNIQUES

Lexique Officiel des lampes Radio , par L. GAUDILLAT. — Caractéristiques, culottage et remplacement de toutes les lampes usuelles.	35 fr.
Manuel de Construction Radio , par J. LAFAYE. — Le montage et la construction expliqués dans leurs détails.	35 fr.
La Pratique Radioélectrique , par A. CLAIR. — L'étude d'une maquette de récepteur, Volume I : La conception.	70 fr.
Volume II : La réalisation.	70 fr.
La modulation de fréquence , par E. AISBERG. — Théorie et applications.	80 fr.
Schémas de Radio-Récepteurs , par L. GAUDILLAT — Postes alternatifs et universels avec valeurs des éléments.	45 fr.
La Guerre aux Parasites , par L. SAVOURNIN — Méthodes de suppression des perturbations parasites.	36 fr.
De l'Electricité à la Radio , par J. E. LAVIGNE. — Cours complet de radiotechnique.	
Tome I : Electricité.	50 fr.
Tome II : Notions théoriques de Radio.	120 fr.
Méthode Dynamique de Dépannage et de Mise au Point , par E. AISBERG et A. et G. NISSEN. — Mesures des récepteurs et leurs applications.	90 fr.
Dépannage Professionnel Radio , par E. AISBERG. — Méthodes modernes de diagnostic et de réparation.	50 fr.
100 Pannes , par W. SOROKINE. — Etude pratique de 161 pannes types. Diagnostic et remèdes.	75 fr.
Schémathèque 40. — Documentation technique avec schémas annotés sur 142 récepteurs commerciaux à l'usage des dépanneurs.	100 fr.
Fascicules supplémentaires de la Schémathèque. — Ces brochures, actuellement au nombre de 14, complètent la Schémathèque 40. Chacun contient 20 à 25 schémas. Le fascicule.	30 fr.
Amélioration et Modernisation des Récepteurs , par E. AISBERG. — L'Art de transformer les récepteurs.	50 fr.
Les Lampemètres , par M. JAMAIN et HAAS. — Conception et réalisation des lampemètres d'atelier et de laboratoire.	30 fr.
Le Multiscopie , par R. DUMONT. — Réalisation d'un pont de mesure pour résistances et condensateurs.	30 fr.

Majoration de 10 % pour frais d'expédition
avec un minimum de 10 francs

SOCIÉTÉ DES ÉDITIONS RADIO

42, Rue Jacob - PARIS (6^e) — Téléph. : LITré 43-83

C. Ch. Postal : Paris 1164.34

Cet ouvrage s'adresse aux débutants et techniciens de tout âge animés du désir de comprendre la Radio.

Sa lecture ne nécessite pas de connaissances préalables puisqu'il contient toutes les notions préliminaires d'électricité indispensables à l'étude de la Radio. C'est le meilleur et le plus vivant des livres d'initiation conduisant le lecteur avec sûreté à la connaissance de tous les domaines de la Radio moderne et expliquant en détail le fonctionnement des appareils actuels. Cette nouvelle édition est mise à jour des progrès les plus récents de la technique et constitue un cours complet de radioélectricité.

Prix : 100 fr.

Dépôt légal 1^{er} trimestre 1946
N° d'Éditeur 36 - N° Imprimeur 42
Imp. Comte-Jacquet C.O.I. 310.575