



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 tubes 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 une couche de matière réfractaire isolante à travers laquelle la chaleur est transmise à un tube en nickel qui l'entoure étroitement. Enfin, la surface du tube en nickel est recouverte d'une couche émissive composée de différents oxydes et qui constitue la cathode proprement dite.

FIG. 24. — Composition de la cathode : F, filament chauffant ; P, couche de matière réfractaire ; 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 le tube, 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 milliampèremètre 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 tube est, pour les électrons, une rue à sens unique ?

CUR. — Oui, mais on le dit d'une manière plus savante en affirmant que ce tube 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 tubes utilisés dans les récepteurs. Leur courant dépasse rarement quelques dizaines de milliam-pères.

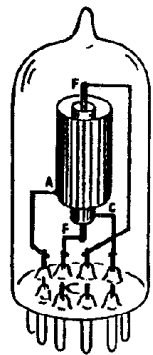
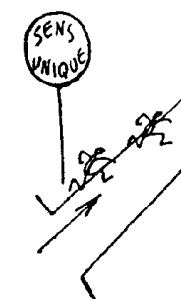
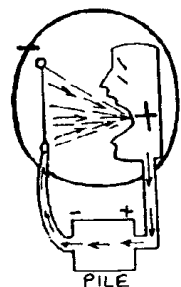


FIG. 28. — La diode : F, filament ; C, cathode ; A, anode.

IG. — Et de quels facteurs dépend ce courant ?

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 ils viennent nombreux à son appel.

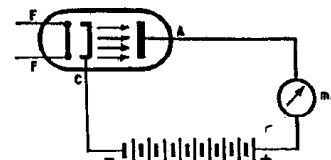


FIG. 26. — Le milliampèremètre mA permet de mesurer le courant qui va de la cathode C à l'anode A.

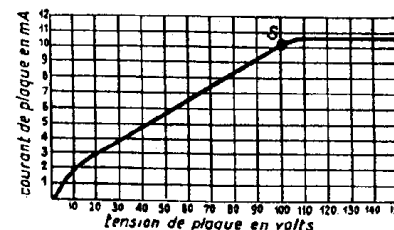


FIG. 27. — Courbe montrant la variation du courant de plaque en fonction de la tension de plaque. A partir de S c'est la saturation.

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

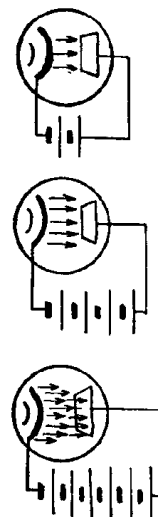
CUR. — Quelle est donc cette invention sensationnelle ?

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 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 tubes à chauffage direct ont été connus bien longtemps avant les tubes à chauffage indirect. Jusqu'à présent, d'ailleurs, le chauffage direct est utilisé dans les récepteurs alimentés par batteries et aussi, dans certains tubes des récepteurs alimentés par le courant du secteur.

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

CUR. — Au contraire, mais peut-être pas dans le domaine des tubes, où l'on a créé une grande variété de modèles. En augmentant le nombre de grilles, leur forme et leur disposition, les techniciens sont arrivés à faire des tubes très intéressants.



Dans le labyrinthe des grilles.

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 ou bien des spirales cylindriques, — 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 le tube le plus simple (après la diode) : ce sera un tube à une seule grille, ce qui fait, avec la cathode et l'anode trois électrodes seulement. On l'appelle triode, et auprès des modernes « heptodes » 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 sept 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

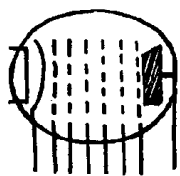
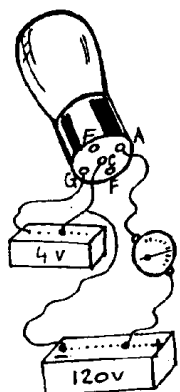
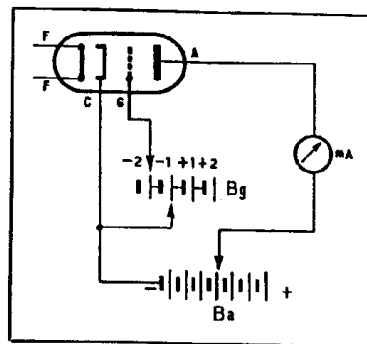


FIG. 28. — Voici un montage qui permet de comparer les influences relatives des tensions de la grille et de l'anode sur le courant de l'anode. La batterie de grille Bg et la batterie de plaque Ba sont à prises, ce qui permet d'en modifier aisément la tension utilisée.



une prise faite au milieu (fig. 28). Je pourrai ainsi appliquer à la grille des tensions soit négatives (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 $-2 + 2$ volts. De même, la tension de plaque pourra être variée par les prises sur la batterie de plaque Ba 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 est maintenant de 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 subie par 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 d'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.

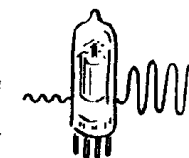
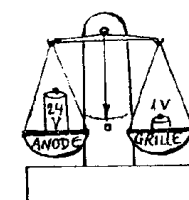
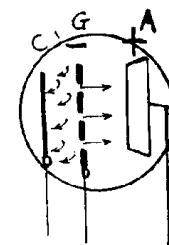
CUR. — Vous l'avez dit, Ignotus. Et le nombre qui montre combien de fois la variation de la tension de plaque est plus grande que la variation de la tension de grille qui produit le même effet, ce nombre s'appelle *coefficient d'amplification* de la lampe. Quel est, par exemple, le coefficient d'amplification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

CUR. — Et vous ne vous trompez pas.



Commentaires à la 7^{me} Causerie

TUBES 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 (ou tubes) électroniques, nos amis sont entrés de plain-pied dans le domaine de la radio proprement dite, car toute la technique des communications sans fil est actuellement fondée sur l'emploi de ces tubes ainsi que des semi-conducteurs dont il sera question dans un autre livre. En revanche, 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. On désigne, d'ailleurs, du terme ÉLECTRONIQUE l'ensemble de leurs applications.

De quoi se compose donc un TUBE ÉLECTRONIQUE ?

Extérieurement, c'est une ampoule comportant, dans certains modèles, un culot isolant et muni de plusieurs contacts en forme de fiches ou d'ergots. L'ampoule même est faite en verre ou en acier (tubes métalliques). Sa qualité essentielle est d'être parfaitement étanche aux gaz, car à l'intérieur on pratique un 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 des collisions électriquement chargées (on dit « ionisées ») et perturberaient ainsi le fonctionnement normal des lampes.

À 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.

LA 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, ce qui 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 chauffe-rette (filament) et d'émetteur d'électrons (cathode proprement dite) peuvent être assumées par le filament même, convenablement traité en vue d'y incorporer des matières émissives. Nous sommes alors en présence des tubes 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 nécessaire à 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 pourrait-on utiliser des cathodes sans chauffage. Ainsi, dans les cellules photo-électriques 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 sont 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 tube 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 leur 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 l'anode. Une faible variation du potentiel de la grille suffit pour déterminer une forte variation du courant anodique. Si nous laissons la grille à un potentiel constant et voulons provoquer la même variation du courant en modifiant la tension de l'anode, 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 l'anode. Et c'est sur ce phénomène qu'est basé le pouvoir amplificateur du tube électronique.

PENTE.

La variation qu'imprime au courant anodique 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 tubes courants 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 anodique, il faut modifier la tension de l'anode plus que la tension de la grille. Le rapport de ces deux variations porte le nom de COEFFICIENT D'AMPLIFICATION. Si, par exemple, pour augmenter le

courant de 1 milliampère, on peut procéder soit en augmentant de 28 volts la tension anodique, soit en augmentant de 2 volts la tension de grille, le coefficient d'amplification est égal à $28 : 2 = 14$.

Le coefficient d'amplification des triodes dépasse rarement 100, mais dans les tubes à plus de trois électrodes il atteint souvent une valeur supérieure à 1 000.

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 Curiosus a passée sous silence, mais qu'il n'est pas inutile de connaître : c'est la **RÉSISTANCE INTERNE** des tubes. 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 surpris en apprenant que la *résistance 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 ρ), 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 tubes à plus de trois électrodes, elle est de l'ordre de centaines de mille ohms.

Il faut noter que la pente et la résistance interne d'un tube donné 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.

RELATIONS ENTRE S, K ET ρ .

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 :

$$K = 3 \times 80 = 240.$$

HUITIÈME CAUSERIE

Qu'est-ce que l'« entrée » et la « sortie » d'un tube ? 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 un tube 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 attaché un fil au radiateur, et votre bonne n'est pas encore remise de la chute qu'elle a faite en se prenant le pied dedans.

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 radio-électricité, 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, 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... devrons-nous entendre de la musique.

CUR. — L'entendez-vous ?

IG. — Hélas ! je ne perçois aucun son, la lampe est probablement 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 radio-électriques.

IG. — Que faire alors ?

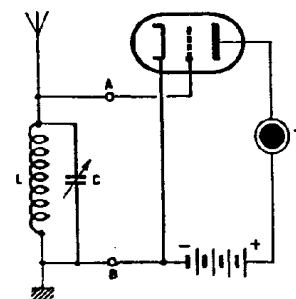
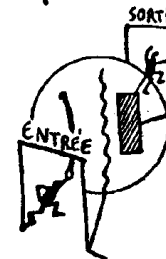


FIG. 29. — Récepteur dû à la conception technique d'Ignotus. La lampe est correctement montée en amplificatrice... mais les oscillations amplifiées ne feront entendre aucun son dans l'écouteur T.



Dans le règne des courbes.

CUR. — Laissez pour le moment votre montage de côté et occupons-nous des tubes. La dernière fois, nous avons examiné très sommairement la relation qui existe entre le courant anodique et la tension de grille. Pour la connaître plus à fond, reprenons le dispositif que nous avons déjà utilisé lors de notre dernière causerie (fig. 30) et notons soigneusement quelle est la valeur du courant anodique pour chaque valeur de la tension de grille qui sera ici réglable entre -4 et $+4$ volts.

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 notre tube (fig. 31). Cette courbe constitue en quelque sorte le passeport du tube. Elle nous 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.

Eg	Ia
-4	0
-3	0,2
-2	1
-1	4
0	7
+1	10
+2	11
+3	12
+4	12

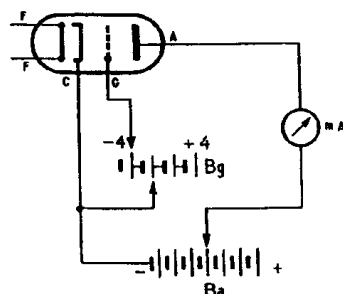


FIG. 30. — Dispositif permettant de relever la courbe caractéristique de la lampe.

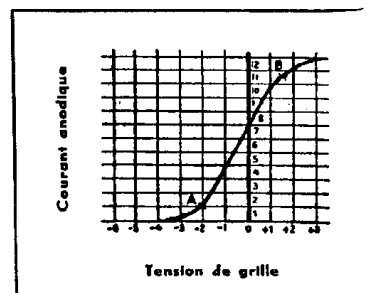


FIG. 31. — Courbe caractéristique d'une lampe.

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.

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.

Le domaine interdit.

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 je pense que normalement 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* négativement par rapport à la cathode ; c'est-à-dire qu'on lui applique une certaine

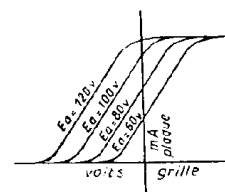


FIG. 32. — Famille de courbes dont chacune correspond à une tension E_a de plaque déterminée.

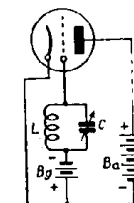


FIG. 33. — La grille est polarisée par la pile B_g de faible tension.

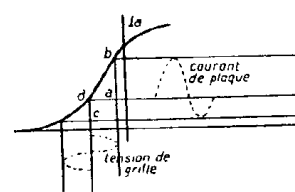


FIG. 34. — Si la lampe fonctionne près du coude de la courbe, le courant est déformé.

tension négative, par exemple à l'aide d'une petite pile qui n'aura à débiter aucun courant (fig. 33).

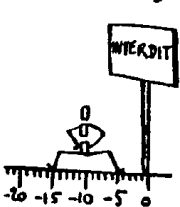
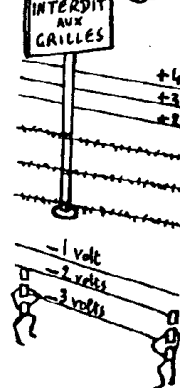
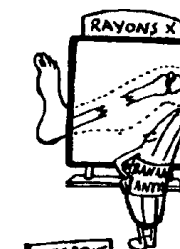
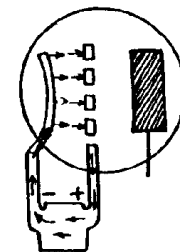
IG. — Oui, je comprends. C'est précisément pour que la grille demeure dans le domaine des tensions négatives.

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 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. Vous voyez que la polarisation, suffisante dans le premier cas, ne l'est plus maintenant.



Les conditions de bon fonctionnement.

CUR. — Vos conclusions sont frappées au coin du 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 du courant de plaque obtenue n'est pas aussi symétrique que celle de la tension de grille.

CUR. — Et c'est signe qu'une indésirable déformation s'est produite.

Dans un esprit de synthèse.

IG. — En somme, quand on a tracé le réseau des courbes montrant la variation du courant anodique en fonction de la tension de grille, on sait comment utiliser le tube.

CUR. — Oui. J'ajouterai que, bien souvent, on a intérêt à relever des courbes montrant comment le courant anodique varie en fonction de la tension appliquée à l'anode.

IG. — Je suppose qu'on relève de telles courbes en fixant la valeur de la tension de grille. Et, ici encore, on doit pouvoir tracer toute une famille de courbes dont chacune doit correspondre à une valeur donnée de la tension de grille.

CUR. — Vos suppositions sont justes, Ignotus.

IG. — Je constate, en somme, que nous avons toujours affaire ici à trois grandeurs :

- 1) La tension de grille E_g ;
- 2) La tension d'anode E_a ;
- 3) L'intensité du courant anodique I_a (qui dépend des deux premières).

On peut donc étudier les variations de cette intensité soit en variant la tension de grille (et en maintenant fixe celle d'anode), soit en variant la tension d'anode (mais en rendant alors fixe la tension de grille).

CUR. — Vous faites, aujourd'hui, preuve d'un louable esprit de synthèse, cher ami.

IG. — Je pourrais même pousser les choses plus loin en affirmant que de la même manière on détermine la pente (rapport des variations de I_a et de E_g pour E_a fixe) et le coefficient d'amplification (rapport des variations de E_a et de E_g pour la même variation de I_a). On change toujours deux grandeurs en immobilisant la troisième.

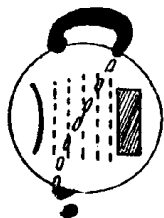
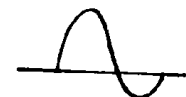
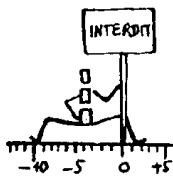
CUR. — C'est tellement vrai qu'il existe une troisième caractéristique dont je ne vous ai pas encore parlé : la *résistance interne* d'un tube qui est le rapport d'une faible variation de la tension anodique à la faible variation d'intensité du courant anodique qu'elle provoque...

IG. — ... en maintenant fixe la tension de la grille, je pense.

CUR. — Bien entendu, cher ami. Vous semblez décidément avoir bien compris ces choses. Vous connaissez donc maintenant les meilleures conditions d'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 tubes dont vous m'avez parlé.

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



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 anodique. 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 E_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 déterminera à la fois les deux valeurs correspondantes.

Après avoir tracé ainsi plusieurs points, nous les relierons par une ligne (fig. 31) 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'un tube à chauffage direct sujet au phénomène de la saturation.

AUTRES COURBES.

On pourra, 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 un tube, il est utile de relever tout

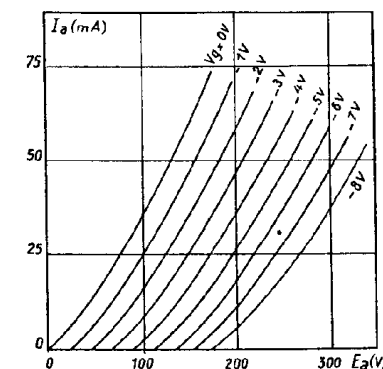


FIG. II. — Courbes montrant la variation du courant de plaque d'une triode en fonction des variations de la tension de plaque. Chaque courbe est relevée pour une tension de grille V_g (également appelée E_g).

un réseau (ou une « famille ») de ces courbes (fig. 32), 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 de la tension de grille, varier la tension anodique et noter les valeurs correspondantes du courant anodique. 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 ANODIQUE EN FONCTION DE LA TENSION DE L'ANODE (fig. II et III).

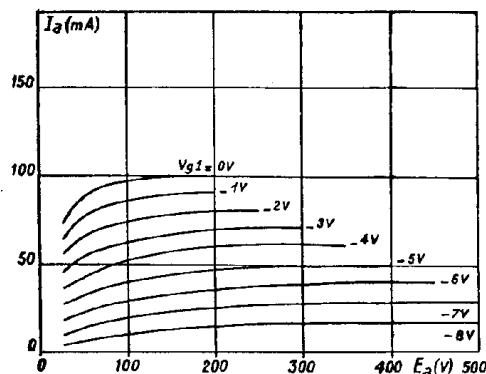


FIG. III. — Mêmes courbes relevées pour une pentode, c'est-à-dire un tube à 3 grilles (qui sera étudié plus loin).

Là encore, nous pouvons tracer tout un réseau de courbes, chacune correspondant à une tension de grille donnée. Et, par une opération relativement simple, mais que nous n'indiquerons pas ici, on peut passer d'un système de courbes à l'autre.

Les courbes d'un tube renseignent le radioélectricien sur ses propriétés, sur la meilleure façon de l'utiliser, sur la manière dont il se comportera dans tel ou tel montage. 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 anodique si nous variions de 1 volt la tension de grille. Sur le réseau des caractéristiques de la figure IV, 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 d'anode et de grille donnant lieu à la même variation du courant anodique. 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 (puisqu'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 variation 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

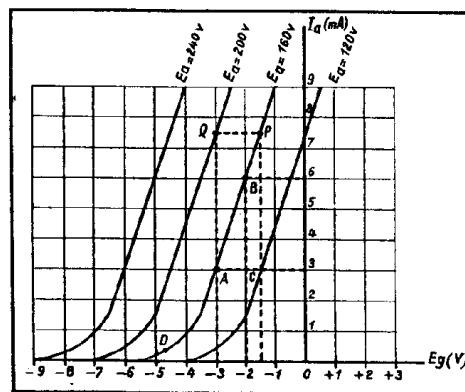


FIG. IV. — Les courbes de la variation du courant de plaque en fonction de la tension de grille permettent de déterminer la pente, le coefficient d'amplification et la résistance interne de la lampe.

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 (point Q), nous avons une variation 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, 0,0045 A. La résistance interne est donc égale à

$$40 : 0,0045 = 8\,900 \text{ ohms environ.}$$

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'UN TUBE.

Pour bénéficier du pouvoir amplificateur d'un tube, 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 un deuxième tube, 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). En revanche, 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 (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 IV, 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.

Dans cette causerie, entièrement consacrée à l'émission, Curiosus expose le mécanisme de l'hétérodyne ou oscillateur à tube électronique et le processus de la modulation musicale servant à incorporer la B.F. dans la H.F.

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 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. et les chiens les entendent fort bien.

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

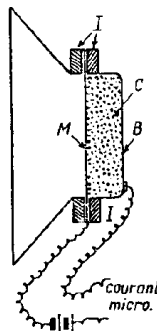
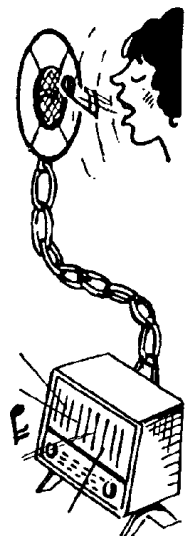
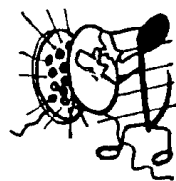


FIG. 35. — Microphone : M, membrane ; I, isolateur ; C, charbon ; B, boîtier.

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 radio-électriques... 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 (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 elle, puis la quitte.

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

Comment fabriquer de la H.F.

IG. — J'ai lu, dans les annonces des constructeurs de Radio, qu'ils vendent des « superhétérodynes », mais ils ne parlent jamais d'hétérodynes simples. Est-ce une exagération publicitaire ?

CUR. — Non, rassurez-vous. Le superhétérodyne est un montage de réception dont je vous entretiendrai plus tard. En revanche, l'hétérodyne est un dispositif servant à la production des courants alternatifs de haute ou de basse fréquence. Lorsque l'hétérodyne 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 hétérodyne. 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 accommoder le tube à mille usages divers. Voici (fig. 36, 1) le schéma très simple de l'hétérodyne. Qu'y voyez-vous ?

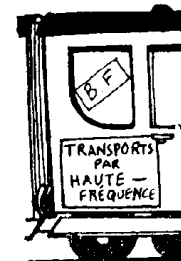
IG. — Je vois un circuit oscillant LC connecté entre la grille et la cathode. D'autre part, une bobine L' est intercalée dans le circuit de plaque. Enfin, une pile Bg polarise la grille négativement par rapport à la cathode.

CUR. — Remarquez également que les bobines L et L' sont disposées de telle façon qu'il existe entre elles 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 Ba.

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

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 attirés par l'anode à travers la grille ; ils traversent ensuite la bobine L' de gauche à droite et, à travers la batterie Ba, 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 couplées 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 entraînera 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...

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'alors 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, soit 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, fera finalement disparaître le 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 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, augmente et diminue, change de nouveau de sens et ainsi de suite.

IG. — C'est donc un courant alternatif ?

CUR. — C'est donc un courant alternatif ?

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.

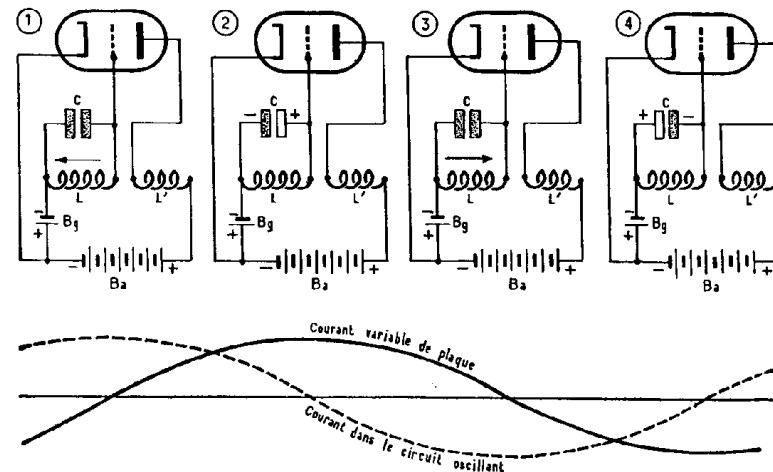
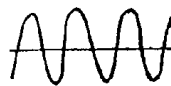
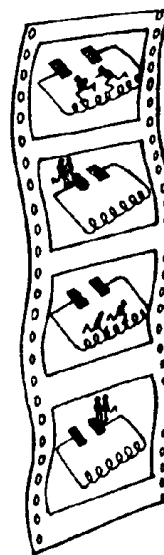
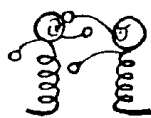


FIG. 36. — Quatre phases de l'oscillation du courant dans l'hétérodyne et, au-dessous, les courbes de variations du courant dans la bobine L' de plaque et dans la bobine L de grille. Remarquer la répartition des électrons sur les armatures du condensateur C .

CUR. — C'est juste. Seulement, au lieu de s'amortir et de s'arrêter au terme de quelques oscillations, le courant alternatif est entretenu par le constant apport d'énergie que fournit la batterie de plaque B_2 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 communique au pendule à chaque balancement un tout petit choc. Dans l'hétérodyne, c'est la batterie B_2 qui joue le rôle du ressort.

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

IG. — C'est la grille.

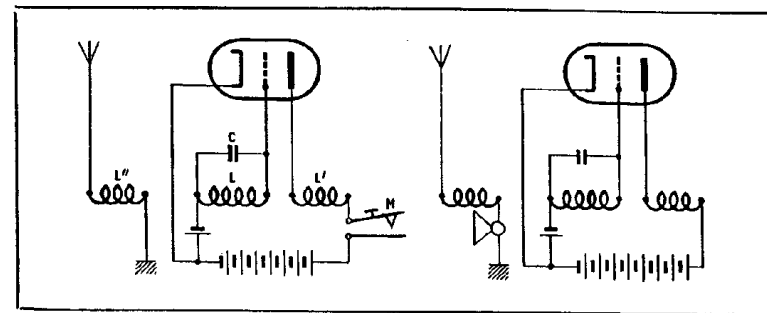
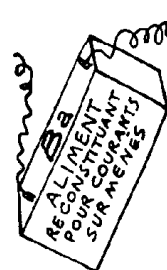
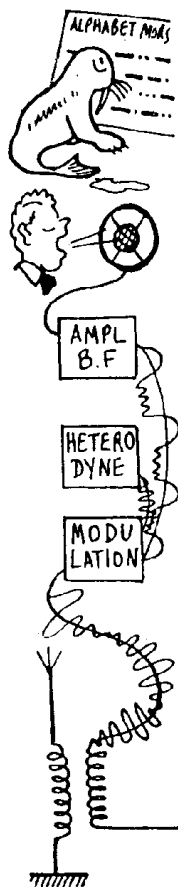


FIG. 37. — A gauche, émetteur radiotélégraphique avec son manipulateur M . — A droite, émetteur radio-téléphonique. Le microphone est branché dans le circuit d'antenne.





CUR. — Ignotus, je vous félicite et je vous prédis une brillante carrière dans la Radio.

IG. — Merci ! Mais maintenant que je sais comment l'hétérodyne produit des 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* ou « clef de Morse », nous pourrions émettre des signaux brefs ou longs correspondant aux « points » et « traits » de l'alphabet Morse. Nous ferons ainsi de la radiotélégraphie.

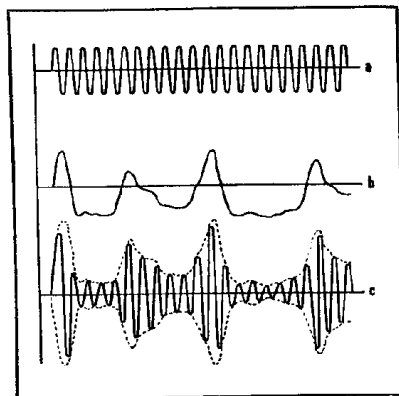


FIG. 38. — Courant H.F. non modulé en a.
— Modulation B.F. du microphone, en b.
— Courant H.F. modulé, en c.

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.

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 entretenues d'amplitude égale (fig. 38 a), nous aurons une série d'oscillations d'amplitude variable (fig. 38 c) 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.

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 radio-électrique. 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 hertz (pour les sons les plus graves) jusqu'à 16 000 hertz (pour les notes les plus aiguës), sont à l'aide du microphone « traduites » par des variations correspondantes d'un courant électrique.

Le MICROPHONE A CHARBON décrit par Curiosus et qui fonctionne par variation 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 ÉLECTRO-DYNAMIQUES 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.

MODULATION.

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.

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 ?

À 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 modeler.

Le système de modulation que nous venons d'analyser porte le nom de MODULATION D'AM-

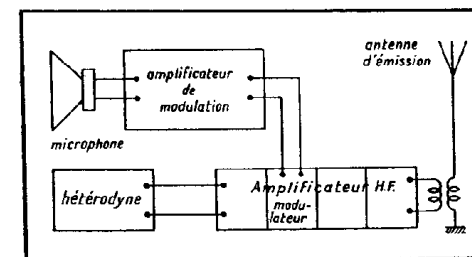


FIG. 5. — Composition d'un émetteur de radiophonie.

PLITUDE, puisque l'amplitude des oscillations H.F. (haute fréquence) varie à la cadence de la B.F. (basse fréquence). Cependant, on peut faire agir la B.F. sur une autre caractéristique de la H.F. : sur sa fréquence même. Dans la MODULATION DE FRÉQUENCE, comme on appelle ce procédé, les amplitudes du courant H.F. demeurent constantes ; par contre, sa fréquence varie en plus ou en moins autour d'une valeur moyenne proportionnellement aux valeurs instantanées du courant modulateur B.F.

Nous traiterons plus loin ce procédé de modulation qui n'est employé que sur ondes très courtes.

ÉMISSION.

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 terme d'un certain nombre de périodes (comme dans la figure 21 A) si, aux moments appropriés, la bobine de plaque ne réinjectait, par induction, dans la bobine du circuit oscillant, l'énergie nécessaire pour compenser les pertes. Grâce à cet apport constamment renouvelé d'énergie, les oscillations, une fois établies, sont entretenues avec une amplitude constante et une fréquence qui est celle de résonance du circuit oscillant.

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

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

SYMBOLES DES UNITÉS

les plus employées

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

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

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

DIXIÈME CAUSERIE

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

L'arrivée du train en gare.

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

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

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

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

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

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

IG. — Tout cela me paraît bien clair.

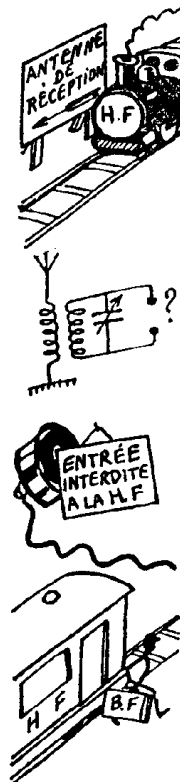
CUR. — Dès lors vous comprendrez aisément les raisons de votre échec. N'oubliez pas qu'à l'écouteur vous vouliez appliquer des tensions de haute fréquence modulée. Or, la membrane de l'écouteur est trop lourde pour osciller à une fréquence aussi élevée que celle que nous désignons par « haute fréquence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

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

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

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

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



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

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

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

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

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

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

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

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

Et voici comment l'on détecte...

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

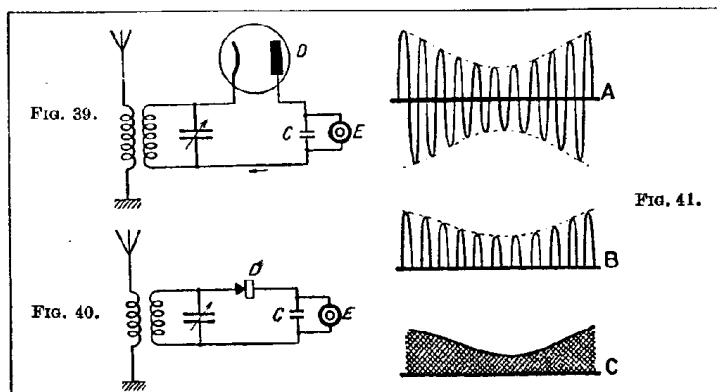


FIG. 39. — Une lampe diode D permet de redresser les oscillations qui, ainsi détectées, deviennent audibles dans l'écouteur E.

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

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

IG. — 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 gît notre basse fréquence musicale qui fera vibrer à sa cadence la membrane de l'écouteur.

Le réservoir accumulateur-distributeur d'électrons.

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

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

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

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

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

Ignotus a compris la détection.

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

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

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

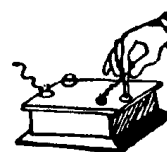
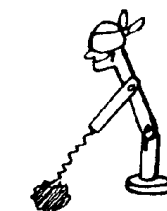
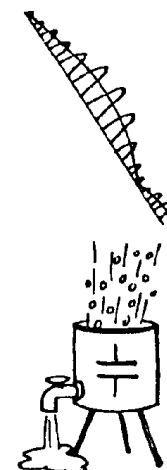
CUR. — Pas nécessairement. Un détecteur à contact peut être constitué de bien des manières. Dès que nous mettons en contact deux conducteurs présentant une dissymétrie quelconque (différence de composition chimique ou de température), la conductibilité n'est plus la même dans les deux sens. Et comme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

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

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

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

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



cet effet une lampe amplificatrice dont la grille est polarisée, par une batterie 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

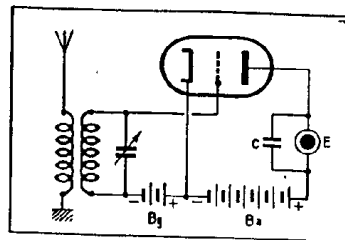
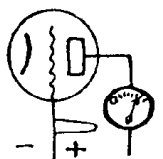
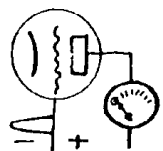
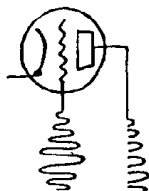


FIG. 42. — Schéma de la détection par courbure de la caractéristique de plaque.

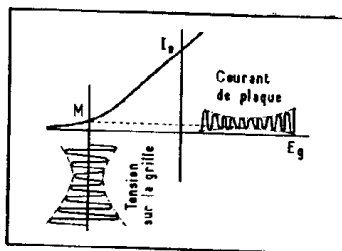


FIG. 43. — Au point de fonctionnement M des tensions alternatives de grille créent un courant redressé dans la plaque.

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

CUR. — Vous avez très bien compris la détection. 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 prétendue détection, nous reviendrons bientôt.

Commentaires à la 10^{me} Causerie

ÉCOUTEUR.

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

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

DÉTECTION.

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

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

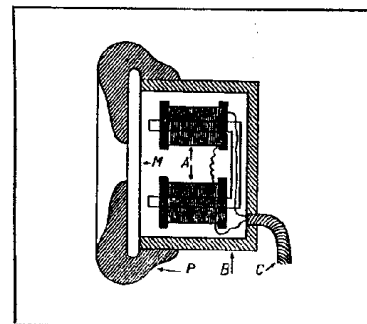


FIG. VI. — Constitution d'un écouteur : A, électroaimant ; M, membrane ; P, pavillon acoustique ; B, boîtier ; C, cordon d'arrivée du courant.

DÉTECTEURS.

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

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 galène a, sur la diode, l'avantage de ne pas nécessiter un courant de chauffage, en revanche, 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 « A 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'infime parcelle d'énergie recueillie dans l'espace par l'antenne suffit pour animer 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 mμF.

Ajoutons que, dans les récepteurs à lampes, on utilise souvent des détecteurs à semiconducteurs tels que germanium ou silicium qui forment des redresseurs aussi bons que la diode sans nécessiter un courant de chauffage.

DÉTECTION PAR LA PLAQUE.

Le tube triode 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 variant à la cadence de la B.F.

Un condensateur placé dans le circuit de plaque et chargé par des 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 ramène, en somme, à une amplification affligée d'une déformation voulue.

CE QU'IL NE FAUT PAS FAIRE :

1. Ecrire le symbole de l'unité entre la partie entière et la fraction (ne pas écrire 6 V 3, mais 6,3 V).
2. Ecrire les symboles avec des petites lettres supérieures (ne pas écrire 110 v, mais 110 V).
3. Mettre « s » au pluriel des symboles (ne pas écrire 10 cms, mais 10 cm).
4. Ecrire c/m pour centimètre (cm) et m/m pour millimètre (mm).

Etre correct n'est pas difficile... et c'est tellement mieux !

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 du 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

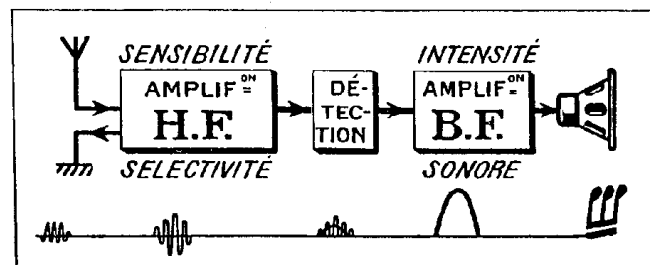
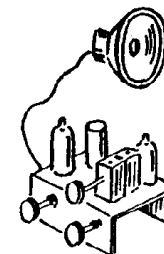


FIG. 44. — Schéma le plus... schématisé d'un récepteur.

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 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 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 le tube (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

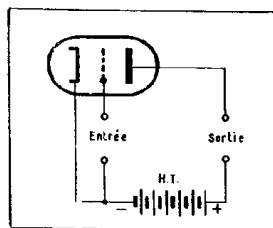
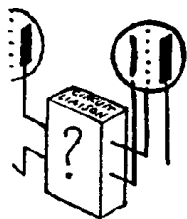


FIG. 45. — Les quatre « points cardinaux » du tube : l'entrée entre la grille et la cathode ; la sortie entre l'anode et le + H.T.

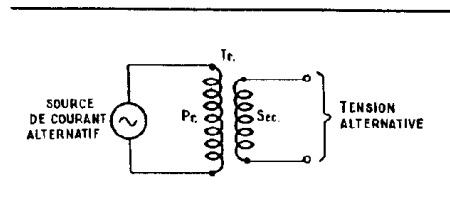
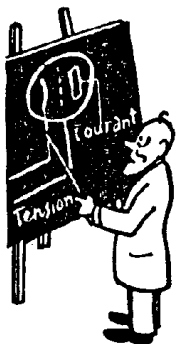


FIG. 46. — Le courant alternatif qui parcourt le primaire P_r du transformateur Tr , induit une tension alternative aux bornes de son secondaire Sec .

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.

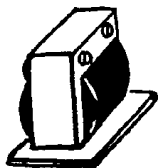
IG. — C'est facile à dire, mais je ne vois pas le moyen qui le permette.

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 ainsi, en effet, 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 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 déplacent constamment au rythme du courant inducteur en créant ainsi des tensions alternatives entre ses extrémités (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 tube 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 tubes, ce qui s'avèrera 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 toutes connectées au pôle négatif.

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.

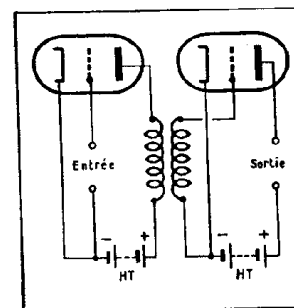


FIG. 47. — Couplage par transformateur de deux lampes amplificatrices.

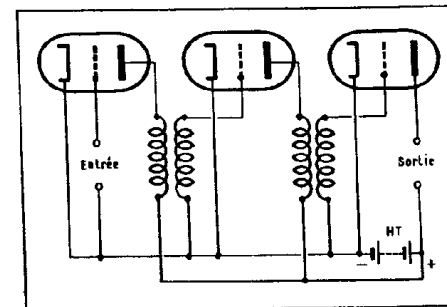
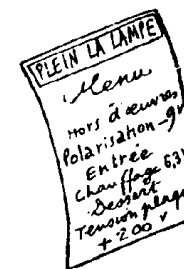
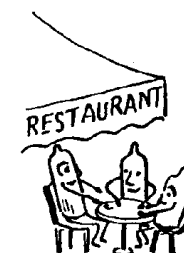
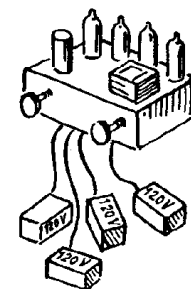
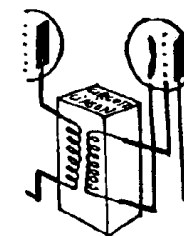


FIG. 48. — Alimentation de trois lampes par une source commune H.T. de haute tension.

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 signaux à amplifier.

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

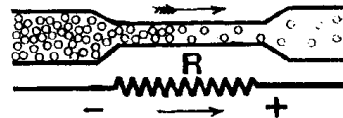
CUR. — C'est ainsi que l'on fait dans les récepteurs dont toute l'alimentation est assurée par batteries. Mais la majorité des récepteurs à tubes sont alimentés par le courant du secteur. Et, pour obtenir la tension de polarisation, on emploie un dispositif aussi ingénieux que simple, qui utilise la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

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



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...

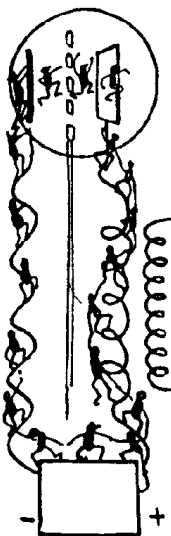
CUR. — Je vois que vous vous mettez aisément dans la peau de l'électron, si l'on peut dire. Pour en revenir à la polarisation, nous disposerons une résistance R sur le trajet du courant anodique (fig. 50), entre le pôle négatif de la source de haute tension et la cathode. Le courant anodique va de la 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 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 ?

(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.



CUR. — N'oubliez pas que le courant anodique 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 anodique, des variations de même fréquence. Ces variations passeront 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 en sorte que la composante continue, elle, assure une polarisation constante.

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

CUR. — Parfaitement. A titre d'exemple (fig. 51), je vous dessine le schéma de deux lampes amplificatrices liées par transformateur. La première est polarisée à l'aide de la résistance R₁, la seconde à l'aide de R₂.

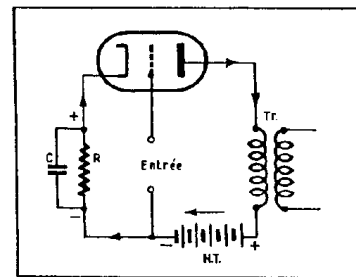


FIG. 50. — Le courant de plaque, en traversant la résistance R, crée une tension entre la grille et la cathode.

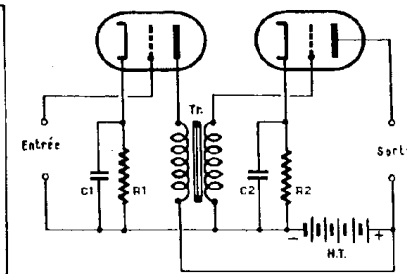


FIG. 51. — Amplificateur à deux lampes avec polarisation des grilles par les résistances R₁ et R₂.

Transformateurs H.F. et B.F.

IG. — Et qu'est-ce 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 composés de tôles isolées les unes des autres.

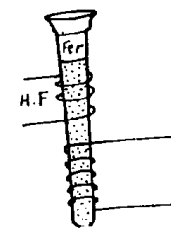
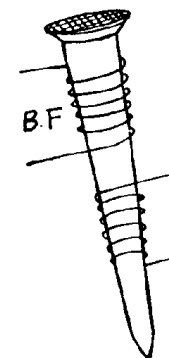
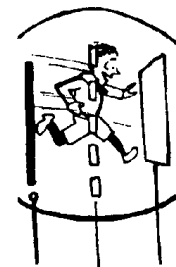
IG. — Et pourquoi n'emploie-t-on des noyaux que dans les transformateurs de basse fréquence ?

CUR. — Parce que les courants de haute fréquence, en raison de la rapidité de leurs variations, auraient induit dans le fer des courants qui seraient autant de pertes pour le courant inducteur. C'est pourquoi, en haute fréquence, on renonce aux noyaux en tôles isolées.

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 souvent. On utilise alors, pour les transformateurs de haute fréquence, des noyaux en poudre de fer enrobée dans une masse isolante. Mais, aux très hautes fréquences, on préfère des transformateurs à air.

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 ?

CUR. — Non, la différence va beaucoup plus loin. Lorsque nous amplifions les courants de basse fréquence, nous prenons toutes les précautions pour les amplifier 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

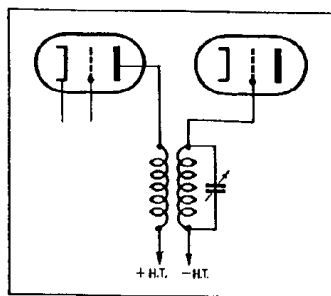
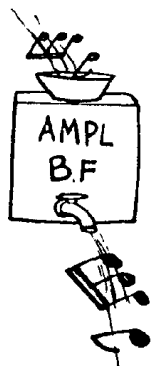


FIG. 52. — Liaison par transformateur H.F. à secondaire accordé.

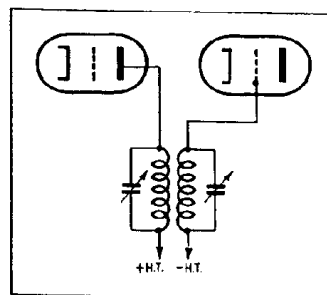


FIG. 53. — Liaison par transformateur H.F. à primaire et secondaire accordés.

courants de haute fréquence, nous n'oublierons 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.

L'art d'utiliser les oppositions.

Ig. — Il y a, Curiosus, quelque chose qui me « chiffonne ». Puisque le passage d'un courant variable dans l'enroulement primaire d'un transformateur fait apparaître des tensions alternatives aux extrémités de son secondaire, pourquoi n'utilisons-nous que celle de l'une des extrémités ?

CUR. — Que voulez-vous dire par là ?

Ig. — Je me demande si l'on ne pourrait pas faire sur l'enroulement secondaire une prise juste au milieu, que l'on relierait au négatif de la source de tension anodique. Dès lors, par rapport à ce point (qui, en somme, si j'ai bien compris, est considéré comme étant de « potentiel zéro »), chacune des extrémités serait à tour de rôle positive ou négative.

CUR. — C'est exact, cher ami. Cela ressemble à la balançoire que l'on forme à l'aide d'une planche posée par son milieu sur un point d'appui fixe et où l'enfant assis à l'une des extrémités s'élève en l'air alors que celui placé sur l'autre descend

et inversement. Votre idée est excellente. On peut, en effet, appliquer les tensions opposées des deux extrémités du secondaire simultanément aux grilles de deux tubes. Et l'on obtient ainsi un étage d'amplification *symétrique* ou *push-pull* (ces mots anglais, qu'il faut prononcer « pouche-poull » signifient « pousse » et « tire », montrant ainsi les variations opposées des potentiels appliqués aux deux grilles).

Ig. — Encore une invention que l'on me vole avant que je la fasse ! Qu'importe... Je suis content de voir ainsi deux tubes faire la balançoire. Mais, ce qui m'ennuie, c'est la manière d'utiliser leurs courants anodiques. C'est que, lorsque l'un augmente, parce que la grille correspondante devient plus positive, l'autre diminue au même instant, car la deuxième grille devient alors négative. Que faire ?

CUR. — Vous voilà bien ennuyé, mon pauvre Ignotus ! La solution est pourtant bien simple. Il suffit de diriger les deux courants anodiques présentant ainsi des variations inverses vers les extrémités de l'enroulement primaire d'un autre transformateur et de pratiquer sur cet enroulement une prise médiane qui, elle, sera reliée au positif de la source de tension anodique (fig. 54).

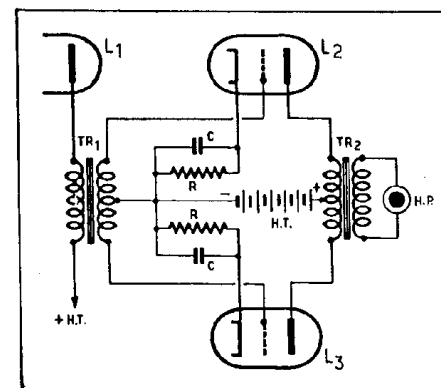


FIG. 54. — Schéma du montage push-pull.

Ig. — Et nous serons bien avancés ! Comment voulez-vous que cela donne quelque chose ? Lancés dans le même enroulement, nos deux courants vont s'annuler, puisque quand l'un augmente l'autre diminue et inversement.

CUR. — Vous oubliez simplement que nous les avons dirigés dans des sens opposés : des deux extrémités vers le milieu. Ainsi, quand un courant augmente en tournant dans les spires dans un sens, l'autre diminue, mais en tournant en sens contraire. Les effets, c'est-à-dire les courants induits dans le secondaire, s'ajoutent alors.

Ig. — Je suppose que vous avez raison, car deux négations équivalent à une affirmation. Mais, si vous permettez, je vais analyser les phénomènes méthodiquement. Supposons que le courant de L_2 augmente alors que celui de L_3 diminue au même moment.

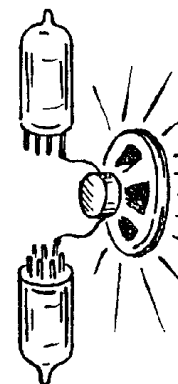
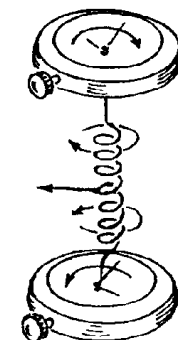
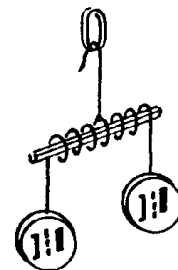
CUR. — Admettez, en plus, que, dans le primaire du deuxième transformateur, le courant de L_2 parcourt les spires en tournant dans le sens des aiguilles d'une montre, en sorte que celui de L_3 tournera en sens inverse. Que se passera-t-il ?

Ig. — Les lois de l'induction sont inexorables. Le courant de L_2 qui augmente induira dans le secondaire un courant de sens contraire, donc opposé à celui des aiguilles de notre fameuse montre.

CUR. — Et le courant de L_3 ?

Ig. — Puisqu'il diminue, il doit induire un courant du même sens, c'est-à-dire, une fois de plus, contraire à celui des aiguilles. Formidable ! Les deux courants induits sont du même sens !... Et à quoi sert le push-pull ?

CUR. — On utilise ce montage principalement dans les étages de sortie pour communiquer au haut-parleur une puissance plus élevée, due à la coopération des deux tubes. Mais je crains que si, ce soir, nous poussons plus loin notre coopération, la puissance de raisonnement diminuera...



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 correctement. 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 sera 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'additionneront.

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 feuilletter 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 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 tubes, le transformateur est branché ainsi :

le primaire à la sortie du premier tube (entre l'anode et le pôle positif de la source de tension anodique) ; le secondaire à l'entrée du deuxième tube (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 du tube suivant.

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 tube 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 anodique 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 montre que c'est l'extrémité de la résistance connectée au négatif de la tension anodique 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 le tube 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

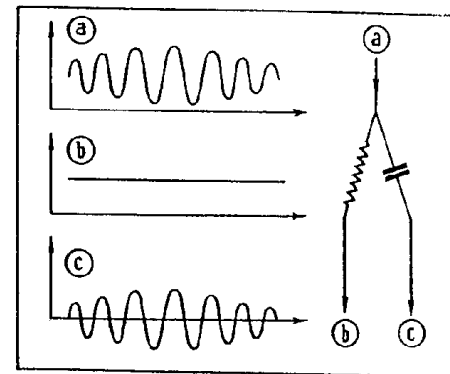


FIG. VII. — Un courant anodique variable a peut être considéré comme la somme de deux composantes : une continue b et une alternative c. — A droite : montage de séparation des deux composantes.

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 un 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 radio-électricité 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 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 qui est très répandu et mérite de l'être. Il s'agit du montage PUSH-PULL ou symétrique.

Dans ce montage (fig. 54), la première lampe L_1 attaque, à travers le transformateur TR_1 , simultanément les deux tubes L_2 et L_3 qui composent l'étage push-pull proprement dit. Le dessin met en évidence la parfaite symétrie du montage dont nous analyserons maintenant le fonctionnement.

Les grilles des deux lampes L_2 et L_3 sont,

à chaque instant, soumises à des tensions 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 tube 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 augmente lorsque l'intensité du champ diminue, 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 tubes, certaines déformations dues à la courbure de la caractéristique (distorsions non linéaires) se neutralisent.

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'un premier tube en variations de tension à appliquer entre la grille et la cathode d'un deuxième tube.

Il suffit donc de placer une résistance dans le circuit anodique 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. 55).

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, cette grille se conduira comme une anode.

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

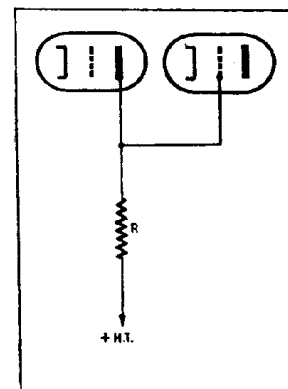
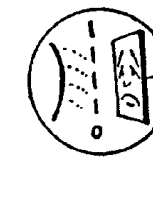
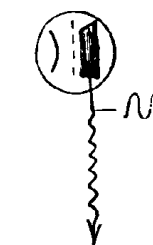
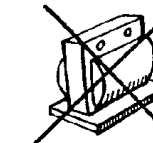


FIG. 55. — Les tensions développées dans R par le courant de plaque de la première lampe sont transmises à la grille de la deuxième.



CUR. — Vous voyez donc où nous conduit 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. 56) 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.

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

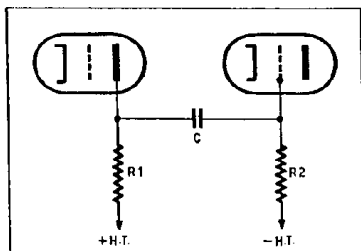


FIG. 56. — Liaison par résistances et capacité. R_1 , résistance de plaque; C , condensateur de liaison; R_2 , résistance de fuite.

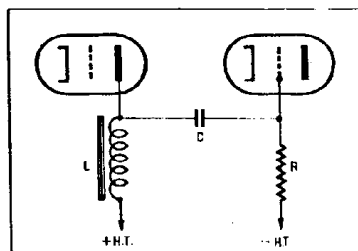


FIG. 57. — Liaison par inductance L à fer. Le condensateur C transmet les tensions alternatives au tube suivant.

cette « résistance de fuite » R_2 qui fixe le potentiel de la grille en la reliant au pôle négatif de la source de haute tension. En général, R_2 a une valeur assez élevée, de l'ordre du mégohm.

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. Parfois, dans l'amplification à basse fréquence, on utilise la liaison à inductance (fig. 57). 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. 56). 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 une amplification égale de toutes les fréquences. N'est-ce pas ?

CUR. — Oui, du moins en théorie. En réalité, dans les deux cas, des capacités parasites existant entre l'anode et le reste des éléments du montage atténuent les notes aiguës. Il reste, enfin, encore une impédance souvent utilisée dans les circuits de liaison.

IG. — La capacité ?...

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

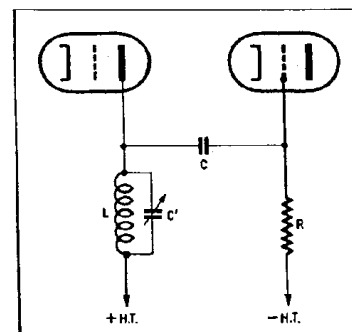


FIG. 58 (à gauche). — Liaison par circuit oscillant LC' avec condensateur de liaison C et résistance de fuite R .

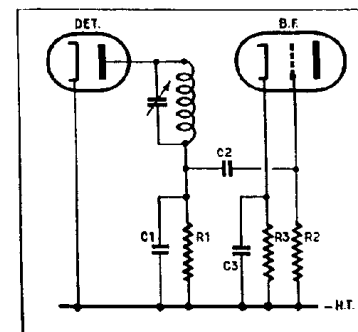
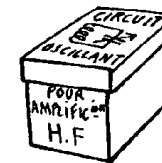
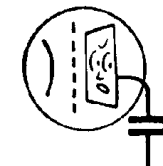
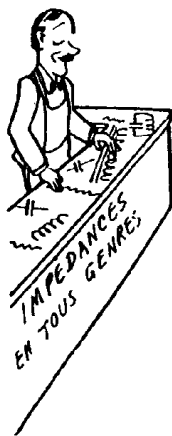


FIG. 59 (à droite). — Liaison entre diode et triode B. F. Les tensions développées dans C_1 , R_1 sont transmises à travers C_2 à la grille B. F. avec sa résistance de fuite R_2 . Quant à C_3 et R_3 , ils assurent la polarisation de la lampe B. F.

comme impédance un circuit oscillant LC' (fig. 58). 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.

IG. — Je crois avoir bien compris les différentes méthodes de liaison que vous m'avez expliquées, Curious. 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.



Un cas particulier.

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. 59). 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 !... Notez à présent que le circuit oscillant peut être

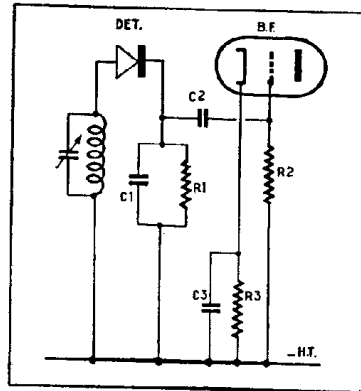
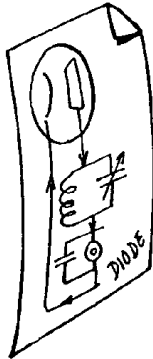


FIG. 60. — Emploi d'une diode à semiconducteur à la place de la diode à vide de la fig. 59.

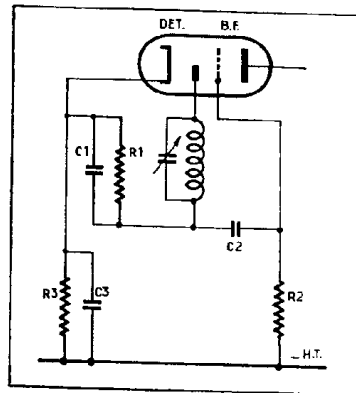


FIG. 61. — Les deux lampes de la fig. 59 sont réunies en une diode-triode. Le schéma demeure le même comme on constate en comparant les figures dont les éléments sont désignés par les mêmes lettres.

indifféremment placé dans la connexion de l'anode (comme le montre notre schéma) ou dans celle de la cathode.

IG. — Evidemment. Dans les deux cas, il déterminera des variations du potentiel de l'une des électrodes de la diode par rapport à l'autre.

CUR. — J'ajouterais encore que la diode à vide peut être remplacée par une diode à semiconducteur (fig. 60).

IG. — C'est-à-dire non plus la vieille galène, mais le germanium ou le silicium ?

CUR. — Exactement... 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, dans 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. 61) est absolument identique à celui de la diode et de la triode séparées. Vous remarquerez que la présence de la résistance R_2 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. 62) seront redressées par le procédé normal de la détection diode, la grille jouant en

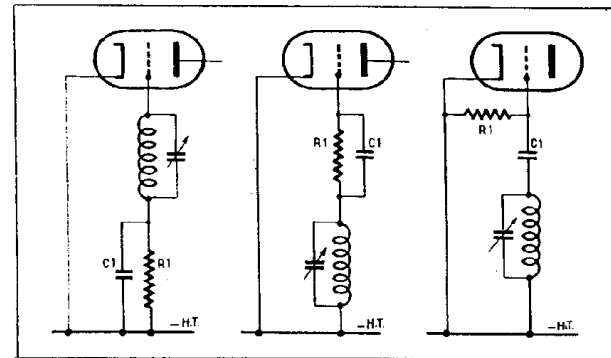


FIG. 62. — La soi-disant « détection par la grille ».

FIG. 63. — Modification du schéma de la fig. 62.

FIG. 63 bis. — Variante du schéma de la fig. 63.

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 radio-électricité.



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 ?

CUR. — Il n'en diffère guère. Pour des raisons de commodité de montage, on intervertit les places du circuit oscillant et de la résistance R_1 avec son condensateur C_1 (fig. 63), ce qui ne change rien. D'ailleurs, au lieu d'être connectée à la cathode à travers le circuit oscillant (fig. 63), la résistance R_1 peut y être reliée directement (fig. 63 bis)... Mais que griffonnez-vous là ?

Un schéma d'Ignotus.

IG. — Encouragé par les compliments que vous m'avez faits, j'ai dessiné le schéma d'un récepteur à 5 lampes (fig. 64). Il comporte, comme vous voyez, deux étages d'amplification à haute fréquence. La liaison entre les deux premières lampes est réalisée à l'aide de l'impédance du circuit oscillant L_3C' et du condensateur de liaison C_2 . Entre la deuxième amplificatrice à haute fréquence et la diode, la liaison

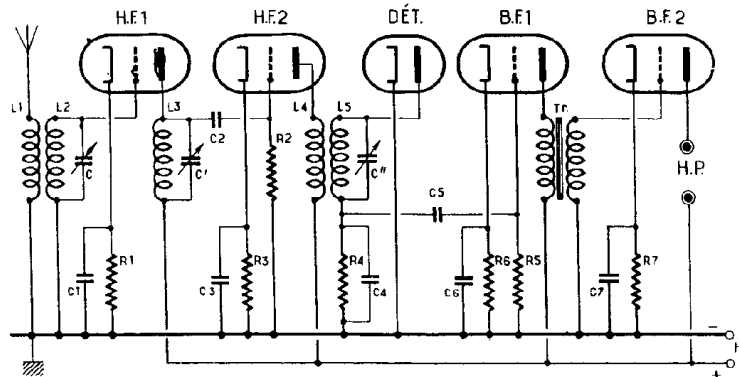


FIG. 64. — C'est Ignotus qui a tracé ce schéma !... Les résistances de polarisation sont désignées par R_1, R_2, R_3 et R_7 , et les condensateurs correspondants par C_1, C_2, C_3 et C_7 . — R_4 et R_5 sont les résistances de fuite.

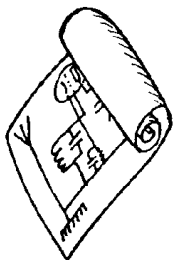
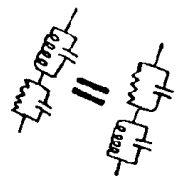
est établie à l'aide d'un transformateur L_4L_5 à secondaire accordé par C'' . Les tensions détectées et recueillies sur R_4 sont, à travers le condensateur C_5 , appliquées à la grille de la première lampe de basse fréquence. Celle-ci, par un transformateur Tr , attaque la dernière lampe dont le circuit de plaque comprendra le haut-parleur. Mon schéma est-il correct ?

CUR. — Tout ce qu'il y a de plus correct. Mais si vous réalisez un récepteur en suivant votre schéma, il y a des chances pour qu'il fonctionne mal.

IG. — Pourquoi, mon Dieu ?

CUR. — Parce que, dans ce montage, il y aura des choses que votre schéma ne montre pas, mais qui n'en seront pas moins nuisibles.

IG. — Cela me paraît bougrement compliqué et tout à fait idoine à me donner une bonne migraine...



Commentaires à la 12^{me} Causerie

DIVERS RÉGIMES D'AMPLIFICATION.

Dans le montage push-pull, on peut choisir le point de fonctionnement des tubes 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 tubes fonctionneront-ils alternativement. Mais, dans le transformateur de sortie TR_2 , les variations

On dit alors que les tubes fonctionnent en classe A' ou en classe AB (fig. VIII).

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 anodique. On ne fait usage d'un tel régime que dans certains émetteurs ou appareils de mesure.

LIAISONS A IMPÉDANCES.

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 ses 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 μF , mais la B.F. passant moins aisément à travers la capacité, il faudra adopter une valeur de l'ordre de 10 μF pour l'amplification B.F.

La résistance de fuite a généralement une valeur de plusieurs centaines de milliers d'ohms ; 0,5 $\text{M}\Omega$ est une des valeurs les plus usuelles.

AMPLIFICATEUR A RÉSTANCE.

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'amplificateur 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

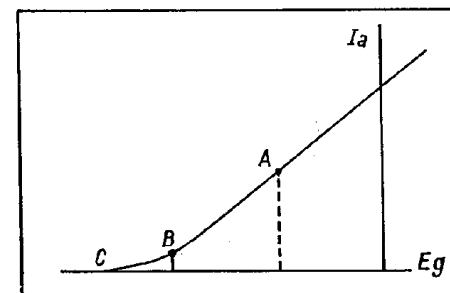


FIG. VIII. — Point de fonctionnement des lampes amplifiant en classes A, B et C.

complètes seront reconstituées, puisque les alternances s'y succéderont avec leurs sens respectifs.

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 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 tubes d'un push-pull peut être choisi dans un quelconque des points intermédiaires entre ceux qui correspondent aux classes A et B.

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 150 000 Ω et si le courant anodique moyen est de 1,2 mA (soit 0,0012 A) la chute de tension sera de

$$0,0012 \times 150\,000 = 180 \text{ V}$$

et il ne restera entre anode et cathode que 250 — 180 = 70 V.

AMPLIFICATEUR A 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 A 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. 58) 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 parfois « 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 IX. Dans ce montage, les deux composantes du courant anodique bifurquent à la sortie de l'anode.

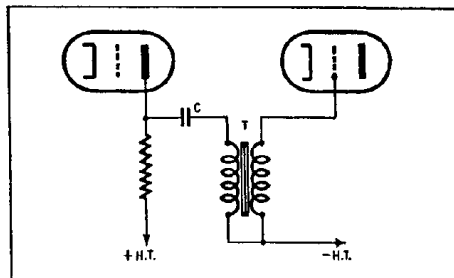


FIG. IX. — Circuit de liaison mixte à résistance et transformateur.

Alors que la composante continue emprunte le chemin de la résistance R_1 , la composante variable traverse le condensateur de liaison C et le primaire du transformateur T , en faisant apparaître au secondaire des tensions variables qui attaquent la grille de la lampe suivante. L'avantage de ce procédé réside 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.

MONTAGES DÉPHASEURS.

Et puisque nous mentionnons ce montage, saisissons l'occasion pour signaler que, là aussi, on peut aisément substituer à la liaison par transformateur une liaison par résistance et capacité. A la place du transformateur d'entrée, dont le rôle est d'appliquer aux grilles des deux tubes du push-pull des tensions en opposition de phase, on utilise un ÉTAGE DÉPHASEUR.

Un déphaseur classique est schématiquement représenté dans la figure X. On voit que le tube pré-amplificateur attaque la grille de la première lampe du push-pull à travers le condensateur C_1 . En même temps, à travers C_2 , une partie de la tension développée sur la résistance R_1 est appliquée à la grille du tube déphaseur. On trouve à sa sortie, sur la résistance R_2 , des tensions opposées en phase à celles qui sont appliquées à son entrée.

Pourquoi? Mais parce qu'une alternance positive sur la grille fait croître le courant anodique et, par conséquent, la chute de tension dans R_1 ; or, cette chute de tension se retranche de la tension de l'alimentation, en sorte que la tension restant sur l'anode diminue.

C'est donc cette tension, opposée en phase à celle transmise par C_1 au premier tube du push-pull PP_1 , que l'on applique au deuxième tube PP_2 .

On devine aisément que si l'on n'applique au tube déphaseur qu'une fraction de la tension développée sur R_1 , c'est pour tenir compte du pouvoir amplificateur de ce tube. Il faut, en effet, que les tensions appliquées aux deux tubes du push-pull soient équilibrées.

On notera que les grilles des deux tubes du push-pull sont polarisées par une résistance cathodique commune R_3 . De plus, celle-ci

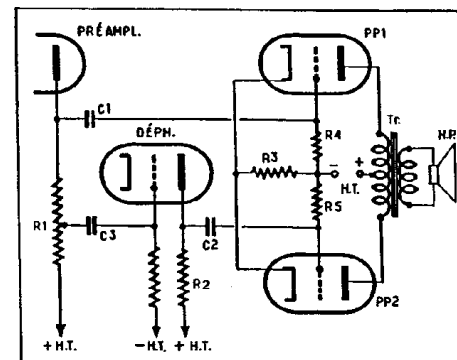


FIG. X. — Montage d'un étage déphaseur pour l'attaque d'un push-pull.

n'a pas besoin d'être découplée par un condensateur, car les composantes alternatives des deux tubes sont en opposition de phase et s'annulent ainsi.

Un autre montage déphaseur est constitué (fig. XI) par un CATHODYNE (ou montage à CHARGE CATHODIQUE). Dans ce montage, on trouve une résistance de liaison R_1 dans l'anode et une autre R_2 dans la cathode. On constate aisément que les tensions développées par les variations du courant anodique aux points A et B de ces résistances, sont en opposition de phase. Ainsi, lors d'une alternance positive sur la grille, qui entraîne une augmentation du courant anodique, le point B devient plus positif et le point A moins positif.

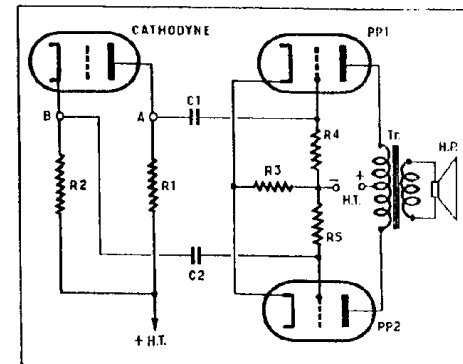


FIG. XI. — Dans le cathodyne, des tensions de phases opposées sont prélevées sur les résistances de charge placées dans l'anode (R_1) et dans la cathode (R_2) afin d'attaquer les deux tubes du push-pull.

On réunit ces deux points, à travers des condensateurs de liaison C_1 et C_2 , aux deux tubes du push-pull... et le tour est joué.

Remarquons qu'un étage cathodyne ne procure pas d'amplification.

LIAISON DE LA DIODE.

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 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.

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, un ou plusieurs tubes 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 59). 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 tubes comprenant deux diodes et une pentode, 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 59 et 61). 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_3 . 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_2 , 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 62 avec ses variantes équivalentes des figures 63 et 64. 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 distorsion, ne serait-ce que du fait que la grille ne peut pas être pola-

risée 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 μ 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 PRÉ-AMPLIFICATEUR 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 procure à la fois une amplification et une puissance suffisantes.

TREIZIÈME CAUSERIE

La réaction, qui faisait naguère les délices des premiers amateurs de radio et qui continue à se manifester (sans qu'on le veuille) dans les récepteurs modernes, fait les frais de cette causerie. Parmi les différentes méthodes proposées pour son réglage, Curiosus n'explique que les principales... Ignotus a, enfin, la joie de faire la connaissance des tubes à plus de trois électrodes : les tubes à grille-écran et les trigrids ou pentodes.

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 élan de ma pensée créatrice de radio-électricien...

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. 65). 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.

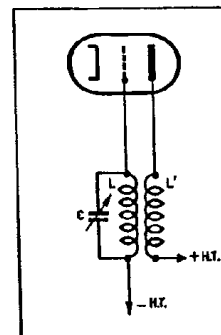
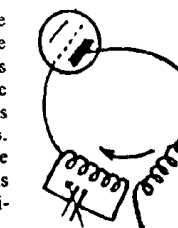
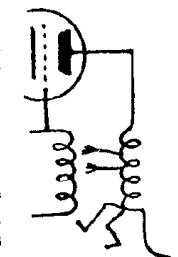


FIG. 65. — Schéma de l'hétérodyne : L , bobine de grille; L' , celle de plaque.

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 anciens : le serpent qui se mord la queue ?

CUR. — Si vous voulez... Admettez qu'une telle lampe (fig. 65) 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 de 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, renforcera 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 d'énergie (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 anodique. 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.

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'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 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.

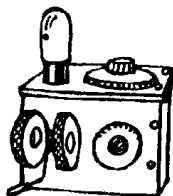
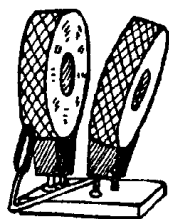
CUR. — Voulez-vous que des moustiques nous revenions à nos moutons... Je vous ai donc dit que l'effet de la réaction est le plus efficace lorsque le couplage entre les circuits de plaque et de grille maintient le tube au seuil de la naissance des oscillations sans toutefois le dépasser.

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, Ignoteux, 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. 66) de la détectrice à réaction qui faisait la joie de tous les amateurs, aux environs de 1925. C'est une lampe montée en détectrice dite « par la grille » et 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).



modèle 1927

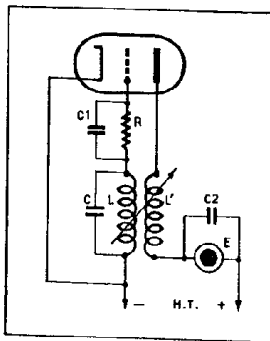


FIG. 66. — Détectrice à réaction réglable par variation du couplage entre les bobines L et L' .

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 jouera 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 continu, 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. 67). Nous faisons bifurquer le courant de plaque sur deux voies différentes. Celle marquée H.F. comprend un condensateur de faible

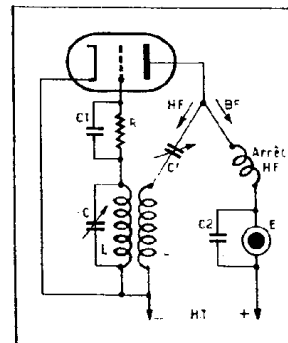


FIG. 67. — Réglage de la réaction à l'aide du condensateur variable C' .

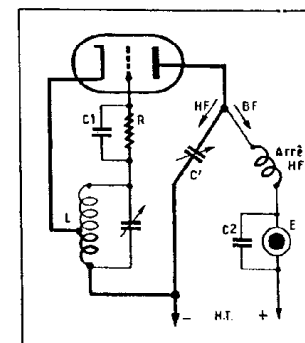


FIG. 68. — Montage dit « Hartley ». Le trajet de la haute fréquence est marqué en gros trait.

capacité. Ni le courant continu, ni la composante de basse fréquence ne pourront le traverser. 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-elle 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.

