

A. CLAVIER

Ingénieur de l'École Supérieure d'Électricité



LES

ONDES COURTES

ÉMISSION — RÉCEPTION
CONSTRUCTION DES APPAREILS

5^e édition entièrement refondue



ÉTIENNE CHIRON, ÉDITEUR

40, RUE DE SEINE, 40

PARIS

LES ONDES COURTES
ÉMISSION -- RÉCEPTION

Ouvrages sur la T. S. F. et l'Électricité
en vente à la même librairie.

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| DUFOUR, <i>chargé de cours à la Sorbonne.</i> — Oscillographe cathodique pour l'étude des basses, moyennes et hautes fréquences. | 6 fr. |
| REYNAUD-BONIN (E.). — L'Acoustique téléphonique. — La Téléphonie. — La Télégraphie. | 10 fr. |
| CURIE (Mme Pierre). — Radioactivité et phénomènes connexes. | 4 fr. |
| POMEY (J.-B.). — Principes de calcul vectoriel et tensoriel. | 30 fr. |
| JOUAUST (R.). — La télégraphie par le sol et les moyens de communication spéciaux. | 8 fr. |
| BLOCH (L.). — Procédés d'enregistrement des messages de T. S. F. | 6 fr. |
| MESNY (R.). — Radiogoniométrie | 8 fr. |
| DRIENCOURT (L.). — Emploi de la T. S. F. pour la détermination des longitudes et l'unification de l'heure. | 4 fr. |
| BARRE (C. E.). — Éléments d'électrotechnique générale | 30 fr. |

A. CLAVIER

Ingénieur de l'École Supérieure d'Électricité

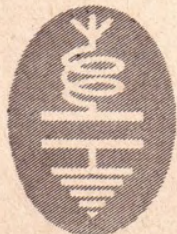


LES
ONDES COURTES

ÉMISSION -- RÉCEPTION
CONSTRUCTION DES APPAREILS

5^e ÉDITION

entièrement refondue



ÉTIENNE CHIRON, ÉDITEUR

40, RUE DE SEINE, 40

PARIS

INTRODUCTION

Depuis l'apparition de la première édition de ce petit livre, les essais transatlantiques entre amateurs français et américains sont venus, par leur brillant succès, confirmer l'intérêt que présente l'étude des ondes dont la longueur est de l'ordre de 200 mètres ou inférieure.

Ces ondes donnent la possibilité d'expériences importantes sur les conditions de propagation des signaux radiotélégraphiques et l'influence, sur cette propagation, des divers facteurs, physiques et météorologiques.

C'est, d'autre part, la gamme de longueurs d'ondes que semblent devoir réserver aux amateurs de télégraphie sans fil les règlements nationaux et internationaux.

D'intéressantes et ingénieuses méthodes de réception ont déjà été imaginées pour surmonter les difficultés particulières à l'emploi de la très haute fréquence; les amateurs ont beaucoup contribué à ces progrès.

La collaboration entre tous les chercheurs, avivant pour les amateurs l'attrait de leurs recherches par la perspective d'une utilité scientifique, fournissant aux techniciens un réseau d'observateurs habiles et enthousiastes, ne peut manquer d'être féconde, tant au point de vue proprement scientifique, qu'à celui de la diffusion des méthodes modernes de recherche expérimentale.

Nous avons tenté de tenir à jour cet exposé des principales connaissances acquises sur le sujet.

Rédigée sous une forme simple, cette étude s'adresse aux amateurs qui, déjà habitués à l'emploi des lampes à trois électrodes, sont désireux de préciser et d'améliorer l'intérêt de leurs expériences. Heureux de leur être utile, nous leur serons aussi reconnaissant de leurs critiques et de leurs observations.

A. C.

LES ONDES COURTES

ÉMISSION ET RÉCEPTION

CHAPITRE I

PRINCIPALES DIFFICULTÉS RENCONTRÉES DANS L'EXPÉRIMENTATION DES ONDES COURTES

Les ondes dont nous allons étudier l'emploi n'ont évidemment rien de spécifiquement différent de celles dont la longueur d'onde est plus usuelle. Mais l'expérimentation se heurte à des difficultés d'autant plus grandes que la fréquence est plus élevée.

L'onde de 200 mètres correspond à une fréquence de 1,5 million d'oscillations à la seconde (ou comme on doit dire 1500 kilocycles). Cette fréquence est le quotient de la vitesse de propagation de l'onde ($3 \cdot 10^8$ m. à la seconde) par sa longueur (200 m.).

Cette fréquence élevée a une répercussion considérable sur le fonctionnement des appareils émetteurs et récepteurs de télégraphie sans fil, parce qu'elle influe sur la valeur et l'importance relative des grandeurs électriques fondamentales : résistance, self, capacité. Elle provoque aussi des phénomènes d'induction très intenses.

Résistance. Self. Capacité.

Quand entre deux bornes A et B, on dispose d'une force électromotrice alternative de fréquence f , d'amplitude U et que l'on relie ces bornes par un circuit conducteur, trois cas élémentaires peuvent se produire :

1° Le conducteur AB est constitué par un fil rectiligne ;

dans ce cas, la valeur du courant qui le parcourt est limitée par la résistance R du fil AB . La résistance agit de façon analogue à un frottement qui s'opposerait au mouvement d'une masse, proportionnellement à la vitesse de déplacement. Force électro-motrice et courant sont alors en phase.

2° Le conducteur AB est constitué par un fil enroulé en hélice et de résistance négligeable. On dit qu'il est pourvu de self-induction, c'est-à-dire que le courant qui le parcourt

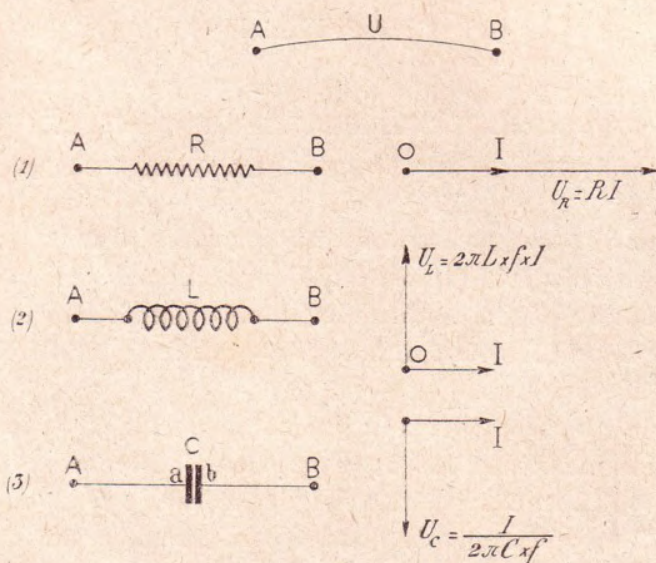


Fig. 1. — Action d'une force électromotrice alternative dans les circuits conducteurs types.

- 1) Résistance pure. Le courant est en phase avec la force électromotrice.
- 2) Self pure. Le courant est en retard sur la force électromotrice.
- 3) Capacité pure. Le courant est en avance sur la force électromotrice.

créé un champ dont les lignes de force traversent les spires du conducteur. Dans ce cas, le courant est déterminé par la valeur de la self-induction. Cette self fonctionne de manière analogue à une masse qu'on voudrait mettre en mouvement : elle oppose à la force électro-motrice une inertie d'autant plus grande qu'elle est plus forte. Son action, qui tend à limiter le courant, est proportionnelle à la fréquence. Dans ce cas, d'autre part le courant est en retard sur la force électromotrice d'un quart de période.

3° Le conducteur AB est constitué par un fil de résistance et de self négligeables, coupé par un condensateur. Les armatures *a* et *b* sont à chaque instant chargées de quantités d'électricité égales et de signes contraires. Quand le courant va de A à *a*, chargeant l'armature *a* positivement, l'armature *b* se charge négativement par un courant allant de *b* vers B, et *vice-versa*. Le courant garde à chaque instant un même sens dans le conducteur. Quand le condensateur est chargé au maximum dans un sens ou dans l'autre, le courant s'annule et change de sens ; le courant est, au contraire, maximum quand le condensateur est complètement déchargé. Le courant est en avance d'un quart de période sur la force électromotrice. La quantité d'électricité qui passe dans le conducteur en un temps donné est, d'autre part, d'autant plus grande que le condensateur se charge et décharge plus fréquemment. Le courant, pour une force électromotrice d'amplitude donnée, est proportionnel à la fréquence (fig. 1).

Ainsi quand la fréquence croît, à résistance égale, les effets de la self et de la capacité varient en sens inverse. Par suite, dans la résistance apparente offerte par un conducteur complexe, la self et la capacité interviennent en sens inverse, la résistance apparente du conducteur AB varie considérablement avec la fréquence, et peut se réduire, pour une fréquence donnée, à la résistance pure (résonance) (fig. 2).

*
**

Mais, d'autre part, dans un circuit conducteur donné, de self et de capacité déterminées, la résistance même varie, croît avec la fréquence.

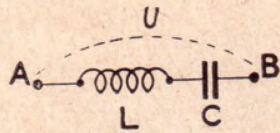
Reprenons avec plus de détails l'influence de ces phénomènes.

Effet des capacités parasites en très haute fréquence.

Les capacités parasites sont à ce point gênantes que les capacités intérieures des lampes sont assez souvent la source de grosses difficultés : ces capacités (filament grille, filament

plaque, grille plaque) sont cependant très petites, de l'ordre de 10 à 20 micromicrofarads.

Certains montages marchent mieux avec des lampes à



1) basse fréquence.

2) la fréquence croît; il y a résonance quand

$$U_L = -U_C$$

I est un maximum et égal à

$$\frac{U}{R}$$

3) la fréquence est élevée.

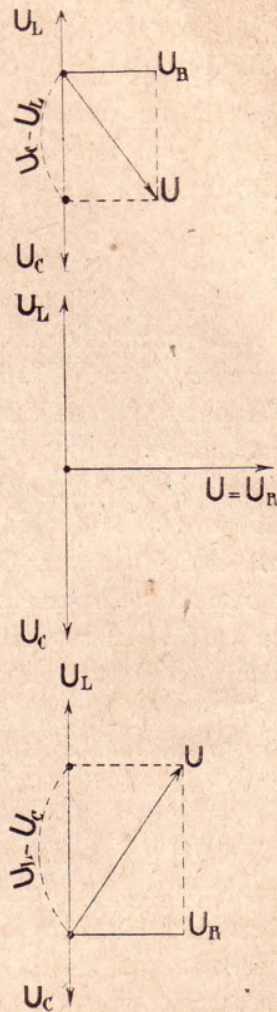


Fig. 2. — Effet de la fréquence de la force électromotrice alternative appliquée aux bornes d'un circuit conducteur.

cornes, où les connexions de sortie, éloignées, donnent moins de capacité interne.

On trouvera figure 3 le schéma des capacités internes d'une lampe montée en amplificatrice. On applique la force électromotrice E_g entre filament et grille; il en résulte une force électromotrice KE_g entre filament et plaque (K est ce qu'on

appelle la coefficient d'amplification). A est l'appareil d'utilisation. C_{FG} et C_{FP} sont les capacités filament grille et filament plaque. ρ est la résistance offerte par l'intervalle filament plaque au passage de la haute fréquence. Ce schéma doit rester présent à l'esprit si on veut s'expliquer beaucoup

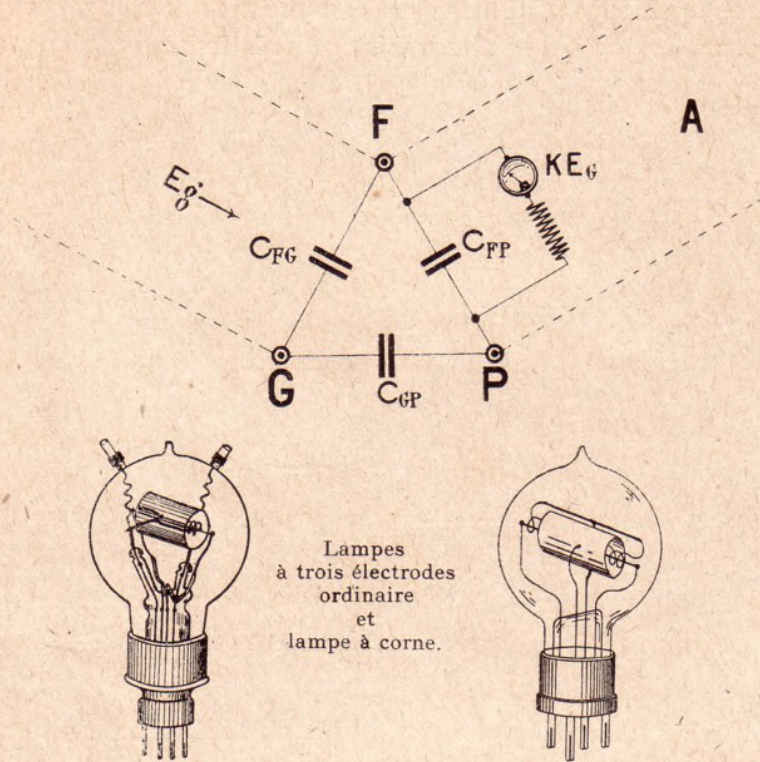


Fig. 3. — Schéma des capacités internes des lampes.

d'anomalies obtenues avec les lampes sur les ondes courtes, pour lesquelles les plus petites capacités prennent, comme nous l'avons vu, une grande importance.

Pour la même raison, la construction des bobines de self doit être particulièrement soignée, il faut éviter les capacités entre spires. Le mieux est de bobiner en hélice, en une seule couche, à spires non jointives.

Enfin, un autre ennui, de même origine, c'est l'influence sur les réglages du corps même de l'opérateur. Aussi, est-on

amené à munir les condensateurs de manches isolants ou d'autres systèmes de manœuvre à distance. L'un des plus commodes est la vis tangente micrométrique. On peut aussi munir un condensateur d'un second bouton, qui permet autour de chaque position du premier, la variation d'une très petite capacité additionnelle. Ces systèmes ont l'avantage de procurer le moyen d'une variation très lente de la capacité,

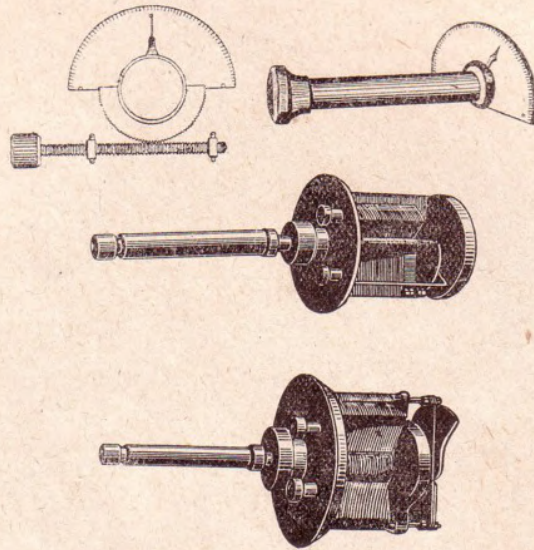


Fig. 4. — Dispositif de variation lente des condensateurs.

en même temps qu'une atténuation de l'influence de la main et du corps de l'opérateur (fig. 4).

On peut aussi, dans le même but, enfermer les appareils dans des cages métalliques reliées au sol, qui les rendent insensibles aux variations de capacité extérieure. Mais ce moyen, susceptible d'amener des pertes nuisibles, ne doit être employé qu'avec prudence, en en contrôlant l'effet expérimentalement.

Effet des selfs en très haute fréquence.

Si toute capacité tend à écouler les courants haute fréquence, toute self tend à les arrêter. On en profite pour leur interdire les chemins nuisibles, en interposant d'assez grosses

sels que, du nom anglais *choke coil*, on a appelé assez imprudemment self de choc. On protège ainsi, en particulier, les sources d'alimentation des émetteurs contre les retours haute fréquence. Par contre, il faut prendre garde de ne pas placer de self inutile dans les circuits normalement parcourus par la haute fréquence.

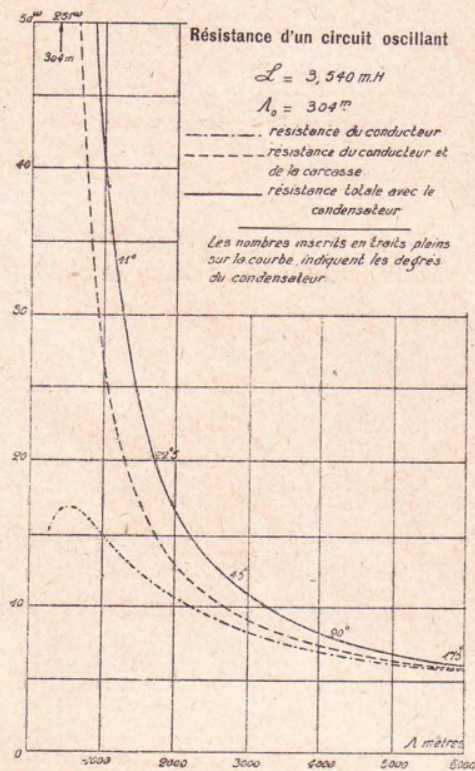


Fig. 5.

Résistance en très haute fréquence.

Les fréquences élevées accroissent notablement les pertes dues aux conducteurs et aux diélectriques. La localisation et la variation de ces pertes avec la fréquence a fait l'objet de nombreuses et délicates recherches. Nous empruntons à M. Mesny les résultats des études qu'il a fait paraître dans *l'Onde Électrique*, numéros 3 et 4. Rien ne les traduit mieux que les courbes figure 5 que nous reproduisons d'après lui.

Ces courbes représentent les résistances des différentes parties d'un circuit oscillant, constitué par un condensateur variable à air de 3 millièmes de microfarads, dont la résistance, sur une bobine de 1 millihenry et pour une onde de 1 000 mètres, vaut 1,8 ohm, et une bobine dont la self-induction est de 3,54 millihenrys et qui est enroulée sur une carcasse carrée en bois de peuplier de 18 centimètres de côté et de 0,8 centimètres d'épaisseur. Le fil est isolé à la soie et a un diamètre de 0,09 centimètres. C'est donc une bobine d'un type courant.

Pour les faibles valeurs de la capacité, la résistance du conducteur ne représente qu'une part peu importante de la résistance totale qui provient surtout de la carcasse et du condensateur. Au contraire, pour des capacités un peu fortes, la résistance est presque tout entière dans le conducteur. On voit l'intérêt d'un choix judicieux de la carcasse, du condensateur et du conducteur.

L'accroissement de résistance du conducteur en haute fréquence est dû à la tendance qu'ont les courants haute fréquence à se propager superficiellement. C'est l'effet de Lord Kelvin. Il y a par suite intérêt à donner au conducteur un fort diamètre, mais il vaut mieux ne pas l'augmenter jusqu'à rendre les spires jointives, car alors les pertes dans l'isolant du fil peuvent prendre sur les petites ondes une importance exagérée.

Les condensateurs peuvent donner lieu à des pertes qui se traduisent par une augmentation de résistance des circuits oscillants dont ils font partie. Ces pertes sont localisées dans les diélectriques qui entrent dans leur constitution. Les condensateurs à air n'en sont pas exempts, car il y a toujours des pièces de diélectrique pour séparer l'une de l'autre les armatures. Ces pertes n'ont d'ailleurs aucun rapport avec des défauts d'isolement et tel condensateur, dont l'isolement est de 20 ou 30 mégohms, peut introduire dans les circuits des résistances très élevées.

Dans une masse donnée de diélectrique, les pertes sont proportionnelles au carré du champ électrique qui y existe et à la fréquence des oscillations qui produisent ce champ. Pour

diminuer les pertes sur une onde donnée, il faut donc diminuer le champ électrique; or, pour une pièce située dans un condensateur, ce champ est d'autant plus fort que les armatures qui se trouvent de part et d'autre de cette pièce sont plus voisines; on doit donc chercher à éviter les dispositifs dans lesquels le diélectrique est découpé en rondelles ou en canons de faible épaisseur pour séparer des armatures voisines. C'est

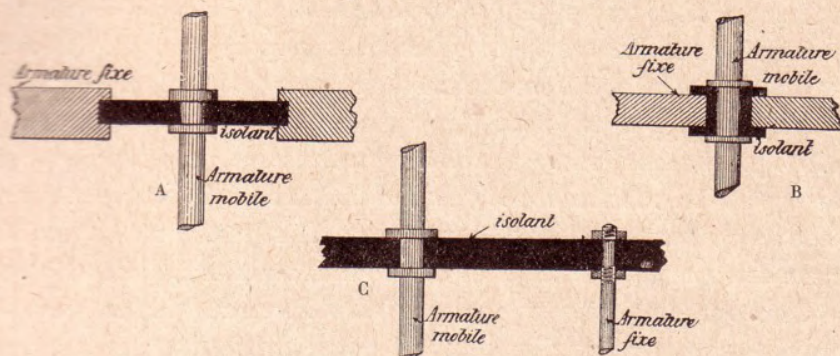


Fig. 6. — Construction des condensateurs :
A et C sont de bonnes dispositions, B est défectueuse (M. MESNY).

ainsi que les dispositions ci-dessus, employées pour isoler l'armature mobile d'un condensateur variable de son armature fixe, présentent des propriétés toutes différentes (fig. 6).

Toutes choses égales d'ailleurs, les principaux diélectriques donnent lieu à des pertes proportionnelles aux nombres suivants :

| | | | |
|-------------|-----------|------------|---------|
| Bons micras | 0,5 à 1,5 | Verre | 11 à 25 |
| Quartz | 1 | Ébonite | 18 à 25 |
| Paraffine | 1 à 3 | Bakélite | 100 |
| Résine | 3 | Presspahn | 70 |
| Porcelaine | 25 | Caoutchouc | 82 |
| | | Émail | 40 |

Lorsqu'un condensateur à air est monté sur une self de valeur L (exprimée en millihenrys), il est sensiblement équivalent pour une onde de longueur Λ (exprimée en kilomètres) à une résistance en série r dont la valeur en ohms est :

$$r = A \frac{L^2}{\Lambda^2}$$

A étant un coefficient qui dépend de la nature du diélectrique employé comme isolant et de la façon dont est fait le montage. Pour un bon condensateur, ce nombre doit être voisin de 1, ce qui revient à dire qu'un bon condensateur à air monté sur une self de 1 millihenry, introduit, pour une onde de 1 kilomètre, une résistance de 1 ohm environ.

Dans les condensateurs actuellement fournis par l'industrie, ce nombre varie généralement de 0,2 à 5; mais il monte parfois à 60 et même à 100 dans des appareils dont l'allure générale ne ferait nullement présager un semblable défaut.

Il est cependant juste de remarquer que, dans certains montages, l'amortissement dû au condensateur est contrebattu par un effet antagoniste « désamortissant », si l'on peut dire. C'est le cas des montages à réaction. Il n'y a pas d'objection grave dans ce cas, à l'emploi des condensateurs à diélectrique.

On doit aussi remarquer que les résistances des condensateurs se comportent d'une façon pour ainsi dire inverse des résistances des conducteurs. La résistance de deux condensateurs en parallèle est égale à la somme de leurs résistances.

En effet, les pertes d'énergie s'ajoutent, et la perte dans chacun d'eux est la même que s'il était seul, le champ dans le diélectrique ne dépendant que de la différence de potentiel aux bornes de la bobine.

Quand on a fait choix d'un condensateur peu résistant, c'est surtout dans la construction de la carcasse et dans la nature du diélectrique qui la constitue que l'on doit chercher une diminution de la résistance sur les ondes les plus courtes sur lesquelles le système puisse s'accorder.

Il sera bon de bobiner sur des carcasses aussi minces que possible, en ébonite ou en presspahn. On gagnera aussi à augmenter le pas de l'enroulement, mais on est vite limité dans cette voie.

Lorsque l'on réunit les extrémités de la bobine d'un circuit oscillant aux bornes d'un condensateur par des fils cordés un peu longs, on augmente notablement l'amortissement de ce circuit. Cet effet est exactement de même nature que celui qui se produit dans les condensateurs. Entre les deux

fil, le champ électrique est très fort. Comme les pertes varient en raison directe du carré du champ et en raison inverse du cube de la longueur d'onde, on arrive à des résistances considérables pour les ondes les plus courtes du circuit.

Il est recommandable d'exécuter toutes les connexions haute fréquence entre les divers éléments avec du fil rigide et nu et de les faire courtes, droites et dégagées.

Phénomènes d'induction en très haute fréquence. Rayonnement.

Les phénomènes d'induction étant d'autant plus intenses que la variation du phénomène inducteur est plus rapide, l'emploi de la très haute fréquence amène à cet égard des précautions importantes à prendre.

Il faut éviter tout voisinage dangereux des organes, en particulier récepteurs et amplificateurs.

Pour ne pas se heurter dès l'abord à des difficultés rebutantes, il sera prudent de commencer par des montages sur table : telle disposition qui marche bien ainsi, grince abominablement sous l'ébonite. Il faut rapprocher pas à pas les organes, les écouteurs aux oreilles, et proscrire tout mauvais voisinage.

La très haute fréquence est une condition qui permet aux circuits émetteurs d'envoyer une puissance considérable sous forme d'ondes électromagnétiques rayonnées. C'est un avantage important des ondes courtes, qui ont ainsi des qualités propres pouvant faire présager une portée considérable. Malheureusement, d'autres conditions, d'ordre physique et météorologique, viennent contrebattre ces qualités. Les ondes courtes ont une propagation irrégulière selon l'heure du jour, l'état de l'atmosphère. Elles sont absorbées énergiquement par les bois, arrêtées assez facilement par les obstacles naturels.

D'autre part, ces ondes trouvent facilement sur leur chemin des circuits dont la longueur d'onde propre n'est pas très éloignée de la leur, et qui, par suite, absorbent en oscillant une partie de l'énergie transmise. Il faut proscrire tout circuit oscillant parasite et toute masse métallique amortissante dans le voisinage des émetteurs.

Autres difficultés.

D'autres difficultés sont à signaler. Les réglages de condensateurs variables de réception sont particulièrement délicats aux longueurs d'ondes que nous envisageons. La méthode de réception par hétérodyne apporte, en effet, de grosses difficultés.

On sait que pour entendre une onde entretenue incidente, il faut la faire « battre » avec une onde locale dont la fréquence ne diffère pas de la fréquence incidente de plus de 3.000 environ, afin d'obtenir, après détection, une hauteur de son commodément audible.

On peut écrire cette condition :

$$\frac{f-f'}{f} < \frac{3000}{f}$$

qui montre clairement que plus la fréquence f est élevée, plus le réglage est pointu.

Pour entendre par battements une onde de 200 mètres, il faut régler l'onde locale interférante à 200 m \pm 0 m 40 et l'on conçoit que peu de chose, l'approche de la main par exemple, suffise à troubler ce décevant réglage.

Enfin, il ne faut pas perdre de vue, dans la réalisation d'un système récepteur pour ondes courtes, que l'énergie incidente est généralement extrêmement faible; quelques dizaines de watts représentent l'énergie à l'émission. C'est une merveille d'en percevoir quelque chose à distance, d'autant plus que, pour ces ondes, la lampe à trois électrodes est d'un emploi difficile en amplificateur haute fréquence et d'un rendement assez mauvais en détectrice. Pourtant, comme tous les amateurs le savent, l'expérience s'est montrée désormais convaincante.

CHAPITRE II

RÉALISATION DES PREMIERS APPAREILS POUR ONDES COURTES (HÉTÉRODYNE, CONTROLEUR D'ONDE).

Avant d'envisager la réalisation d'appareils émetteurs ou récepteurs complexes, il nous semble bon de conseiller la construction de deux appareils élémentaires : l'hétérodyne et l'ondemètre. On s'habitue ainsi aux *ordres de grandeur des éléments à employer* : selfs et capacités. Ces appareils présentent d'ailleurs un raccourci des montages émetteurs et récepteurs ; l'hétérodyne est un émetteur de faible puissance d'ondes entretenues ; l'ondemètre est un récepteur étalonné ; il peut devenir aussi, par l'emploi d'un buzzer, un émetteur local d'ondes amorties de longueurs connues.

La partie principale de ces premiers montages est un circuit oscillant (fig. 7).

Un circuit oscillant se compose d'une self et d'une capacité

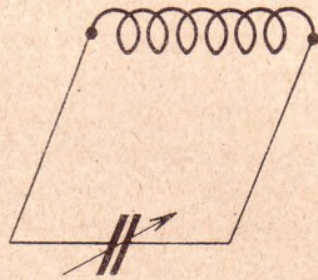


Fig. 7.

branchées en série comme l'indique la figure 7. Une troisième composante électrique est disséminée dans l'ensemble du cir-

cuit, c'est la résistance. On comprend facilement ce qui se passe au point de vue électrique dans un tel circuit en recourant à une analogie mécanique approximative. A un point d'attache, supposons fixés un ressort et une masse frottant sur un plan horizontal (fig. 8). Si nous ébranlons ce système par une traction brusque, il oscille un moment avec des amplitudes décroissantes et revient à l'équilibre et cela d'autant plus vite que le frottement de la masse sur le plan est plus grand. De même, une variation rapide et instantanée de flux à travers la self du circuit oscillant provoque un courant dans ce circuit qui

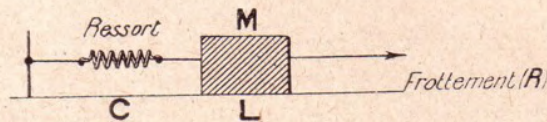


Fig. 8.

s'éteint plus ou moins rapidement selon la valeur de la résistance.

Si notre système mécanique est soumis alternativement à une traction et à une poussée, il oscille avec la même fréquence que celle de la force qui lui est imposée. De même, si on soumet le circuit électrique à une force électromotrice alternative, il oscille avec la même fréquence que celle de la force électromotrice imposée.

Il existe une fréquence privilégiée qui, à force égale, provoque dans le système du ressort et de la masse des oscillations très grandes. Il peut même arriver que pour une petite valeur de la force imposée, les oscillations soient si fortes que le ressort se rompe.

Il existe une fréquence privilégiée qui provoque dans le circuit oscillant des oscillations de plus grande amplitude. Il peut arriver que la tension aux bornes du condensateur soit si grande qu'il ne puisse pas résister.

On dit qu'on est en résonance quand la force électromotrice incidente provoque les grandes oscillations de courant dont nous venons de parler. De même que dans le système mécanique, toute la force est alors employée à vaincre le frotte-

ment, l'élasticité du ressort et l'inertie de la masse constituant alors deux forces qui s'opposent et s'équilibrent à tout instant; de même, dans le cas du circuit oscillant, toute l'énergie dissipée est employée à vaincre la résistance, l'inertie de la self et l'élasticité du condensateur s'opposant de façon égale.

On peut donc, en cherchant les effets obtenus par des forces électromotrices égales, mais de différentes fréquences, tracer

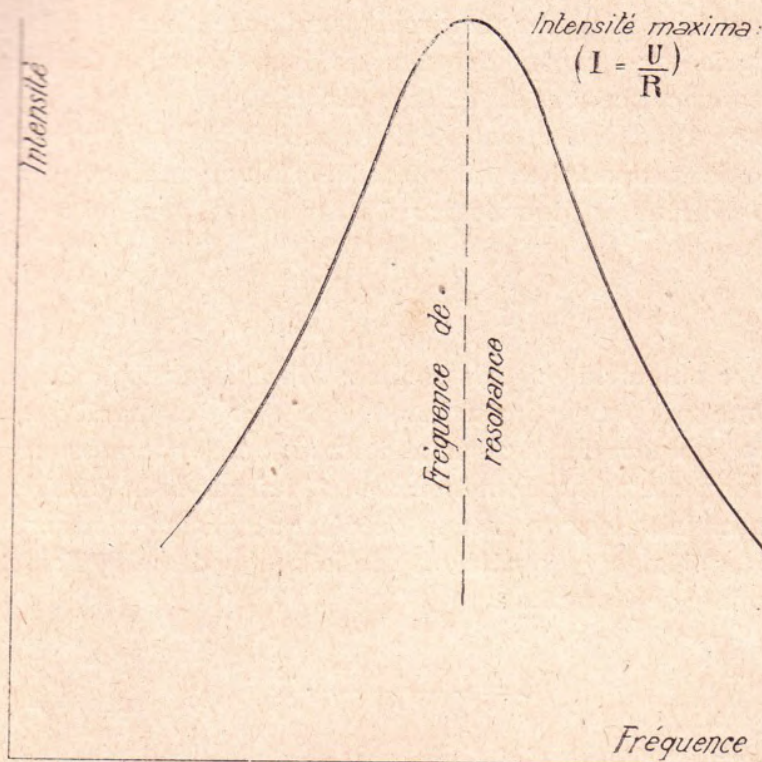


Fig. 9.

ce qu'on appelle une courbe de résonance; cette courbe présente un maximum très accusé pour la fréquence privilégiée inhérente au circuit (fig. 9). Le courant circulant dans le circuit à ce moment de résonance est proportionnel à la valeur de la force électromotrice appliquée et inversement proportionnel à la résistance.

On voit donc que pour utiliser au mieux un circuit destiné à recevoir une onde de fréquence donnée, il faut :

- 1° Obtenir une force électromotrice incidente aussi élevée que possible;
- 2° Provoquer la résonance sur la fréquence désirée;
- 3° Diminuer autant que faire se peut la résistance offerte par le circuit.

Pour faire résonner un circuit sur l'onde cherchée, il faut choisir de bonne façon les quantités dont dépend la fréquence de résonance; ce sont la self et la capacité.

Si on appelle L la valeur de la self en microhenrys, C la valeur de la capacité en microfarads, la longueur d'onde propre d'un tel circuit est donnée par la formule de Thomson :

$$\lambda^m = 1884 \sqrt{L \cdot C}.$$

Pour obtenir un circuit oscillant vibrant sur 200 mètres, il est donc loisible de choisir L et C de bien des manières. En général, on part d'une capacité connue; on s'évitera beaucoup de tâtonnements expérimentaux en déduisant de la formule de Thomson la valeur de L et en prédéterminant approximativement les éléments géométriques de la bobine de self à l'aide de la formule de Nagaoka :

$$L = \frac{0,0395 a^2 n^2}{b} \cdot K.$$

en microhenrys où :

a) est le rayon (depuis l'axe de la bobine jusqu'au milieu du fil) en cm;

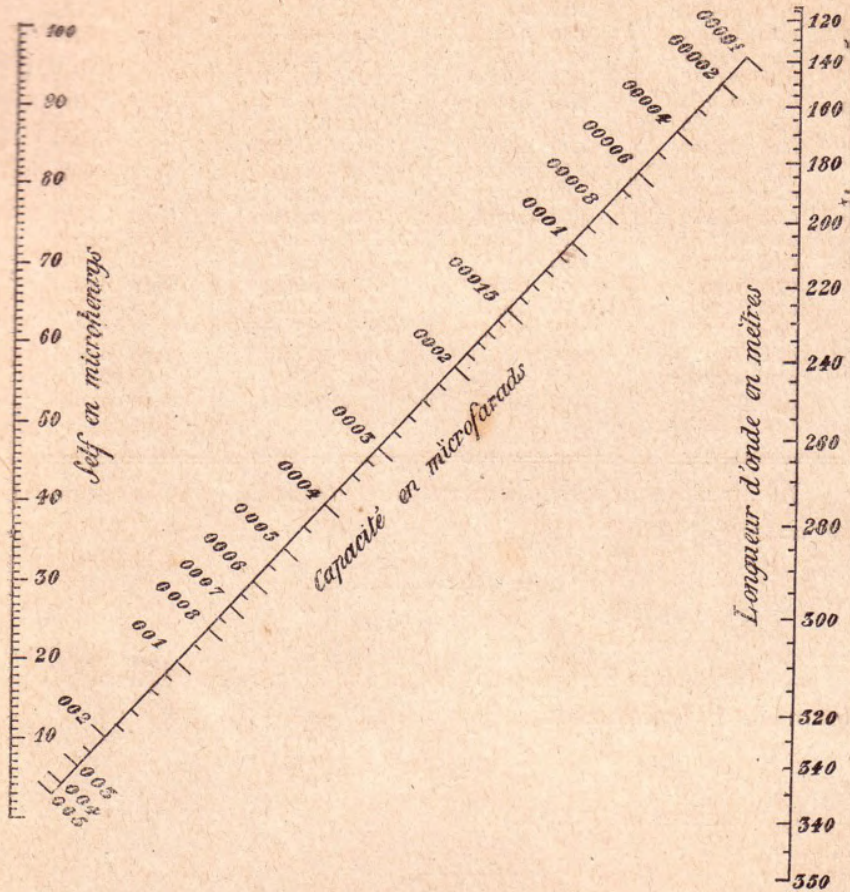
n) le nombre de tours total;

b) la longueur de la bobine en cm;

K est un coefficient numérique, fonction du rapport $\frac{2a}{b}$, du diamètre à la longueur de la bobine.

On trouvera ci-contre le tableau de valeurs de K .

Abaque pour trouver la longueur d'onde d'un circuit oscillant connaissant sa self en microhenrys et sa capacité en microfarads.



Pour trouver la longueur d'onde d'un circuit oscillant connaissant sa self en microhenrys et sa capacité en microfarads, placer une règle croisant les droites de self et de capacité aux valeurs voulues, la longueur d'onde est lue sur la troisième droite. L'abaque permet évidemment, connaissant deux des trois grandeurs, self, capacité, longueur d'onde, de trouver la troisième.

Exemple : Quelle est la capacité qu'il faut pour accorder sur 200 mètres une self de 10 microhenrys ?

On trouve 0,6 millièmes de microfarad.

Tableau des valeurs de la constante de Nagaoka.

| $2 \frac{a}{b}$ | K | $2 \frac{a}{b}$ | K | $2 \frac{a}{b}$ | K | $2 \frac{a}{b}$ | K |
|-----------------|--------|-----------------|--------|-----------------|--------|-----------------|--------|
| 0,01 | 0,9957 | 1,05 | 0,6777 | 2,10 | 0,5137 | 4,10 | 0,3602 |
| 0,03 | 0,9791 | 1,10 | 0,6673 | 2,20 | 0,5025 | 4,20 | 0,3551 |
| 0,10 | 0,9588 | 1,15 | 0,6573 | 2,30 | 0,4918 | 4,30 | 0,3502 |
| 0,15 | 0,9391 | 1,20 | 0,6475 | 2,40 | 0,4816 | 4,40 | 0,3455 |
| 0,20 | 0,9201 | 1,25 | 0,6381 | 2,50 | 0,4719 | 4,50 | 0,3409 |
| 0,25 | 0,9016 | 1,30 | 0,6290 | 2,60 | 0,4626 | 4,60 | 0,3364 |
| 0,30 | 0,8838 | 1,35 | 0,6201 | 2,70 | 0,4537 | 4,70 | 0,3321 |
| 0,35 | 0,8665 | 1,40 | 0,6115 | 2,80 | 0,4452 | 4,80 | 0,3279 |
| 0,40 | 0,8499 | 1,45 | 0,6031 | 2,90 | 0,4370 | 4,90 | 0,3238 |
| 0,45 | 0,8337 | 1,50 | 0,5950 | 3,00 | 0,4292 | 5,00 | 0,3198 |
| 0,50 | 0,8181 | 1,55 | 0,5871 | 3,10 | 0,4217 | 5,50 | 0,3015 |
| 0,55 | 0,8037 | 1,60 | 0,7595 | 3,20 | 0,4145 | 6,00 | 0,2854 |
| 0,60 | 0,7885 | 1,65 | 0,5721 | 3,30 | 0,4075 | 6,50 | 0,2712 |
| 0,65 | 0,7745 | 1,70 | 0,5649 | 3,40 | 0,4008 | 7,00 | 0,2584 |
| 0,70 | 0,7609 | 1,75 | 0,5579 | 3,50 | 0,3944 | 7,50 | 0,2469 |
| 0,75 | 0,7478 | 1,80 | 0,5511 | 3,60 | 0,3882 | 8,00 | 0,2366 |
| 0,80 | 0,7351 | 1,85 | 0,5444 | 3,70 | 0,3822 | 8,50 | 0,2272 |
| 0,85 | 0,7228 | 1,90 | 0,5379 | 3,80 | 0,3764 | 9,00 | 0,2185 |
| 0,90 | 0,7110 | 1,95 | 0,5316 | 3,90 | 0,3708 | 9,50 | 0,2106 |
| 0,95 | 0,6995 | 2,00 | 0,5255 | 4,00 | 0,3654 | 10,00 | 0,2033 |
| 1,00 | 0,6884 | | | | | | |

On peut aussi appliquer plus rapidement la formule $L^{cm} = k n^2 D^{cm}$ ou

$$k = \frac{1}{0,04 + 0,14 \frac{l}{D}}$$

l et D sont indiqués dans la figure ci-contre (fig. 10). Cette formule est valable dans les limites

$$0,1 < \frac{D}{l} < 1,5.$$

n) nombre de tours.

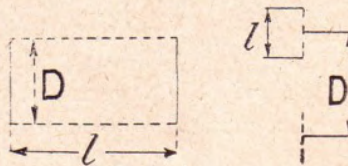


Fig. 10.

La figure de gauche donne les éléments l et D pour un bobinage en hélice, et celle de droite pour un bobinage en spirale.

Voici, à titre d'exemple, la constitution d'un circuit oscillant qui donnera, par variation de son condensateur, la gamme de 100 à 250 mètres :

On enroulera sur une bobine de 10 cm de diamètre, onze spires réparties sur 2 cm 5 de longueur d'enroulement avec un condensateur ayant une valeur maxima de $\frac{1}{1000}$ de microfarad. Le fil utilisé peut être du 5/10; 2 couches coton.

Pour réduire autant que possible la résistance offerte par un circuit oscillant, il importe de construire ce circuit oscillant avec le plus grand soin. Les précautions sont particulièrement importantes quand on veut réaliser un ondemètre.

Réalisation d'un ondemètre pour ondes courtes.

Un ondemètre est un appareil servant à mesurer la fréquence (et par suite la longueur d'onde) d'une onde reçue. L'ondemètre met en jeu le phénomène de la résonance. Comme nous l'avons vu, quand la self et la capacité d'un circuit auquel on a appliqué une force électro-motrice alternative sont réglées de telle sorte que le courant parcourant le circuit soit maximum, le circuit est, dit-on, en résonance. La fréquence propre du circuit récepteur est alors égale à la fréquence de l'onde reçue.

Un ondemètre se compose donc de trois éléments : un condensateur variable, une self fixe et un appareil indicateur du passage du courant.

Choix du condensateur.

Il sera bon, pour commencer, d'éliminer les condensateurs que leur construction rend inutilisables dans les circuits des ondemètres. Les condensateurs variables à diélectriques autres que l'air, et les condensateurs dont la capacité est modifiée par une vis qui change la distance des armatures, quels que soient les services qu'ils peuvent rendre dans d'autres cas, ne gardent pas, en général, leur étalonnage et sont, par conséquent, impropres à l'emploi que nous envisageons. Cette élimination nous laisse seulement en présence des condensateurs à air dont les variations de capacité sont obtenues en faisant se recouvrir plus ou moins des séries de plaques métalliques

parallèles équidistantes. C'est d'ailleurs le type ordinaire du condensateur variable.

Mais tous les condensateurs de ce genre ne peuvent être employés dans les ondemètres. Un condensateur destiné à être employé dans un ondemètre doit avoir : des lames épaisses, maintenues rigide^ment écartées à l'aide de bons supports isolants et des lames mobiles d'assez grand diamètre, et suffisamment épaisses, supportées par un axe bien construit, tournant dans un bon coussinet conique, avec, de préférence, une rotation possible de 360°.

Les défauts qui, d'ordinaire, font que les condensateurs variables ne remplissent pas ces conditions sont : des plaques trop minces, un coussinet d'axe mal établi, des plaques extrêmement proches, du jeu vertical ou latéral dans l'axe, des contacts par balais frottant sur des parties mobiles, des arrêts qui, en interrompant la rotation des plaques mobiles, les désaxent, des échelles et des indices sans fixité, et une construction défectueuse provoquant des courts-circuits en certains endroits. D'une façon générale, tout ce qui permet un changement de capacité sans un changement à l'échelle de lecture ou un changement à cette échelle sans un changement de capacité, empêche un condensateur de servir dans un ondemètre. Un moyen de protection est utile pour éliminer les changements de capacité dus aux mouvements des corps environnants, on emploie habituellement une boîte de métal reposant sur le sol et entourant le condensateur.

Construction de la bobine de self.

Les conditions à remplir sont les suivantes, il faut :

- 1° que l'inductance de la bobine soit telle que, étant donné le condensateur employé, la gamme de longueurs d'onde soit couverte;
- 2° que sa résistance effective et sa capacité répartie soient petites;
- 3° que son inductance, sa résistance et sa capacité soient toutes trois constantes.

Voyons le premier point : il sera bon de réduire la partie de l'échelle du condensateur employée pour la mesure des fréquences, à un secteur allant de 15° à 170° sur une échelle gra-

duée en degrés, et de 8 ou 95 sur une échelle comprenant 100 divisions. Étant donné que la capacité à 170° ou 95 centièmes vaudra presque toujours plus de six fois la capacité à 15° ou 8 centièmes, la fréquence obtenue avec une bobine au bas de l'échelle ne vaudra pas moins de deux fois et demi celle qui sera obtenue avec la même bobine à l'autre extrémité. Cela permettra avec une bobine de couvrir la gamme de 3 000 à 1 200 kilocycles par seconde (100 à 250 mètres).

On emploiera l'une des bobines suivantes, selon la capacité employée :

Gamme de 3 000 à 1 200 kilocycles par seconde (100 à 250 m).
Diamètre 10 cm; longueur d'enroulement 2 cm 5.

| Capacité maxima du condensateur. | Nombre de spires. |
|----------------------------------|-------------------|
| 0,0005 microfarad | 16 |
| 0,0010 — | 11 |

Pour réaliser la gamme 225 à 570 mètres sur la même carcasse, il faudrait :

| Capacité maxima du condensateur. | Nombre de spires. |
|----------------------------------|-------------------|
| 0,0005 | 42 |
| 0,0010 | 30 |

On emploiera du fil 5/10 deux couches de coton ou du fil plus gros; l'espacement des spires dérive directement du nombre de spires et de la longueur d'enroulement.

La deuxième condition mentionnée était que la résistance effective et la capacité propre soient petites. Une faible résistance est désirable afin de sauvegarder la sensibilité de l'appareil. Il y a plusieurs raisons pour s'assurer une capacité faible. Cette capacité sert à accroître la capacité totale du circuit. Cet accroissement sera seulement une petite partie de la capacité totale lorsque l'on est dans le haut de l'échelle du condensateur et, par conséquent, n'abaissera pas d'une façon appréciable la fréquence, mais cet accroissement peut être une partie considérable de la capacité lorsque l'on est au bas de l'échelle et peut sérieusement limiter l'extension de la gamme

de fréquences. Une autre et plus sérieuse objection à une grande capacité propre, c'est que cette capacité est toujours plus ou moins sujette à variations venant de variations à l'entour de la bobine. Cette capacité ne pouvant être réglée, elle devra être réduite le plus possible. L'habitude d'entourer une bobine de self de vernis quelconque ou autres isolants hétérogènes, ne doit être suivie dans aucun montage sérieux et il faut particulièrement l'éviter avec les bobines d'ondemètres. Les matières isolantes défectueuses que l'on emploie ainsi augmentent non seulement la capacité répartie, mais aussi la résistance effective de la bobine. Cela ne veut pas dire que tous les genres de matières isolantes fabriquées ne conviennent pas à la construction d'enveloppes pour les bobines d'ondemètres. Il est probable cependant que la meilleure façon d'enrouler la bobine d'un ondemètre telle que celle que nous avons décrite, c'est de la placer sur un cylindre de bois sec évidé à l'intérieur et enduit simplement d'une légère couche d'un bon vernis isolant. L'emploi de gomme laque ne semble pas devoir être conseillé. Quant au bois, il suffit qu'il soit légèrement humide pour abaisser sérieusement la sensibilité de l'ondemètre. On prend cependant du bois bien choisi comme substance isolante de préférence au verre ou au carton ou à d'autres substances. Un grand nombre de matières qui sont de bons isolants, accroissent beaucoup la résistance et la capacité de la bobine. Alors que ses propriétés électriques font du verre un bon isolant, il se laisse trop difficilement travailler. Quant au carton, il n'est pas assez rigide pour qu'on puisse le conseiller dans le cas présent ⁽¹⁾.

Le fil utilisé doit être légèrement recouvert d'une seule couche de vernis isolant. Un isolement plus grand accroîtrait beaucoup la résistance effective et la capacité de la bobine sans autres avantages. La résistance peut souvent être considérablement réduite par l'emploi de fils divisés. Toutefois, il faut prendre garde, en utilisant ces conducteurs, que tous les brins soient continus, bien isolés, et que chacun d'eux soit rat-

(1) Voir circulaire n° 78, du Bureau of Standards, d'où est tirée cette description d'ondemètre. (*Onde Electrique*, n° 14, pages 110 et suivantes.)

taché aux bornes de la bobine. Si l'isolement est mauvais entre deux brins adjacents, ces contacts de grande résistance amènent un accroissement considérable des pertes. Des brins rompus rendent à la fois la capacité et la résistance de la bobine beaucoup plus grandes. On peut s'assurer de la continuité des brins en plongeant l'une des extrémités du câble dans un bain de mercure et en joignant successivement à l'autre extrémité chacun des brins à un buzzer ou à un volt-mètre relié à une batterie de piles, le circuit se fermant à l'aide du mercure. L'émail peut être enlevé à l'extrémité de chacun des brins en chauffant soigneusement au rouge le bout du câble métallique et en le plongeant dans l'alcool. Mais ce procédé rend les brins plus fragiles et il faut prendre particulièrement soin de ne pas les briser.

Une bobine à une seule couche a, en général, une capacité propre plus faible qu'une bobine à couches multiples de même inductance et de même diamètre. Pour cette raison et aussi parce que l'on peut fournir avec plus de précision les données d'une bobine à une seule couche, nous avons choisi ce type dans la table donnée plus haut. Étant donné que des capacités appréciables existent lorsque se trouvent rapprochées des parties du circuit ayant des surfaces comparativement grandes et des potentiels différents, il s'ensuit que les conducteurs allant de la bobine au condensateur ne devront être ni longs, ni rapprochés. Une autre raison pour prendre des conducteurs courts est fournie par la troisième des conditions que nous avons préalablement établies, à savoir que l'inductance, la capacité et la résistance de la bobine, y compris ses connexions, devraient être constantes. De longs conducteurs sont aisément flexibles; et des conducteurs flexibles, longs ou courts, introduisent des possibilités de variations dans l'inductance, la capacité et la résistance qu'un avantage comme un maniement plus facile ne peut compenser. Les meilleurs contacts sont assurés par des parties métalliques rigides soudées aux extrémités du fil de la bobine et vissées dans le support en bois. La position de la bobine doit être telle que le plan de ses spires soit perpendiculaire aux plaques du condensateur si le condensateur n'est pas

protégé, afin d'éviter que le courant induit de la bobine ne fasse naître des courants de Foucault dans les plaques du condensateur. Étant donné, d'ailleurs, que presque toujours il est plus facile pour coupler d'avoir le plan de la bobine vertical et les plaques du condensateur horizontales, ce point se trouvera réalisé de lui-même en général. Il est très important, en construisant définitivement la bobine, de serrer assez toutes les spires pour que, en les maniant avec soin, elles ne bougent absolument pas.

Les bobines doivent être fixées à des supports, de façon à pouvoir être convenablement connectées ou enlevées.

La troisième partie de l'ondemètre est l'appareil qui marque le passage du courant et indique ainsi la résonance. Avec un détecteur à cristal et des récepteurs téléphoniques, il pourra n'y avoir qu'un seul point de connexion, c'est-à-dire que le détecteur et les téléphones formeront un circuit clos dont l'un des points sera joint à l'une des bornes de la bobine. Ce dispositif est suffisamment sensible et rend la mesure de l'ondemètre très indépendante de la position des conducteurs téléphoniques, au moins tant qu'ils ne croisent pas quelque partie de l'ondemètre ou tant qu'ils ne l'entourent pas. On peut aussi employer le thermogalvanomètre ou le milliampèremètre haute-fréquence. On trouve d'ordinaire que les appareils à couple thermoélectrique donnent de meilleurs résultats que les appareils thermiques, parce qu'ils répondent plus vite aux variations de courant. L'instrument devra donner la déviation maxima pour un courant d'environ 0,1 ampère. Mais il devra pouvoir supporter une surcharge considérable. Il est généralement intercalé directement dans le circuit de l'ondemètre, *quelquefois on le shunte pour maintenir faible la résistance du circuit*. Il est important de noter que la présence de l'appareil modifiera probablement la capacité, l'inductance et la résistance du circuit, de telle sorte que l'ondemètre doit être étalonné en ayant dans son circuit l'appareil qui servira à la mesure des fréquences. Un appareil bon marché et qui donne des résultats satisfaisants, est une petite lampe à incandes-

cence branchée directement dans le circuit de l'ondemètre. Pour éviter de changer l'étalonnage de l'ondemètre, on ne changera la lampe que le moins souvent possible. S'il faut la changer, on la remplacera par une lampe tout à fait semblable. La sensibilité de cet appareil peut être beaucoup accrue par l'emploi d'une pile sèche et d'un rhéostat mis en parallèle sur la lampe de l'ondemètre. En réglant le rhéostat de façon à ce que le filament de la lampe soit presque au point d'incandescence, il est possible de faire allumer la lampe par des courants induits beaucoup plus faibles que ceux qui autrement l'allumeraient. Toutefois, des changements dans la batterie et le rhéostat changeront les caractéristiques du circuit et, par conséquent, l'étalonnage de l'ondemètre. Cet appareil devra, par conséquent, être employé avec précaution.

L'ondemètre peut être excité par choc, par une source d'ondes très amorties ayant seulement un très petit nombre d'ondes par seconde. L'ondemètre peut alors être employé comme source d'ondes amorties pour déterminer la fréquence pour laquelle un appareil récepteur est accordé. Le buzzer, en série avec la batterie, est connecté aux bornes du condensateur, complétant son circuit, quand le contact est fermé, avec la bobine de self de l'ondemètre. On n'utilisera pas plus de quatre volts pour actionner le buzzer. Celui-ci augmentera la capacité du circuit, faisant par là décroître sa fréquence. Cela sera particulièrement notable lorsque l'on sera au bas de l'échelle du condensateur, où il pourra y avoir un abaissement de la fréquence de *plusieurs unités* %, ce qui peut être réduit par l'emploi de conducteurs courts et espacés entre la batterie et le buzzer. Si l'ondemètre est construit avec à la fois un buzzer et un ampèremètre, l'ampèremètre devra être connecté dans le circuit de façon que le courant de la batterie qui alimente le buzzer ne traverse pas l'ampèremètre. S'il n'en est pas ainsi, l'ampèremètre pourra être grillé par le courant venant de la batterie du buzzer.

Le montage des parties d'un ondemètre doit être tel que chacun des éléments soit uni au reste du circuit par des conduc-

teurs rigides. Le montage dans une boîte est l'égal de tout autre montage pour ce qui est de la rigidité, et il est supérieur à tout autre pour la facilité de transport et la protection des diverses parties. La figure 11 montre un exemple de boîte de montage.

Les dimensions sont déterminées par celui qui construit, étant donné que les dimensions des différents éléments sont sujettes à variation. Le coffre doit pouvoir supporter le transport. Les différents éléments sont montés sur un panneau de matière isolante rigide ne pouvant absorber l'humidité. Ce panneau est à son tour protégé par le coffre qui le supporte. On peut employer un panneau de bois très sec recouvert de vernis isolant. La figure 11 montre une disposition des différentes parties. Il faut se soucier de rendre facile le maniement de l'appareil et de distribuer les connexions de façon à garder

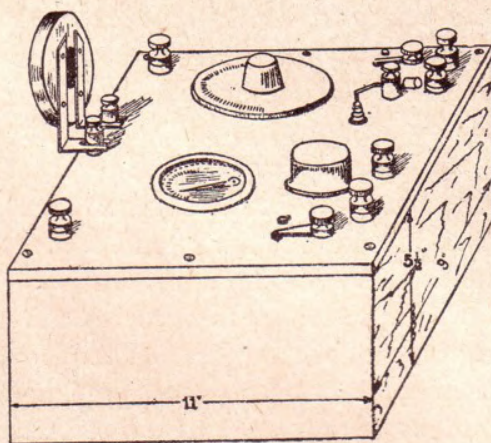


Fig. 11. — Exemple de réalisation d'un ondemètre. La forme et la mise en place peuvent naturellement varier au gré de celui qui construit.

aux capacités réparties de faibles valeurs. La meilleure disposition des éléments sur le panneau dépend des appareils employés et le constructeur devra chercher le meilleur dispositif dans chaque cas particulier. La figure 12 donne le schéma des connexions qui doivent être faites en fil de cuivre de 2 millimètres ou plus et soudées à des cosses. Là où il faut faire des angles, on courbe à angle droit. Si l'on désire avoir en même temps un appareil récepteur pour ondes courtes,

des bornes pour l'antenne et des connexions au sol pourront être ajoutées sans nuire à la valeur de l'appareil en aucune manière à condition de le manier avec soin. Un ondemètre doit être touché avec beaucoup plus de soin qu'un appareil récepteur ordinaire. Si l'on veut protéger l'ondemètre, une feuille de cuivre ou de laiton percée de trous pour laisser passer les fils peut être fixée au-dessous du panneau. Les trous devront avoir au moins 3 millimètres 1/2. La figure 12 donne les dimensions et la construction des bobines de self.

Les carcasses sont faites au tour et sont en bois très sec. Une couche de bon vernis isolant appliquée sur la carcasse empêchera l'absorption de l'humidité. Les spires dont on a

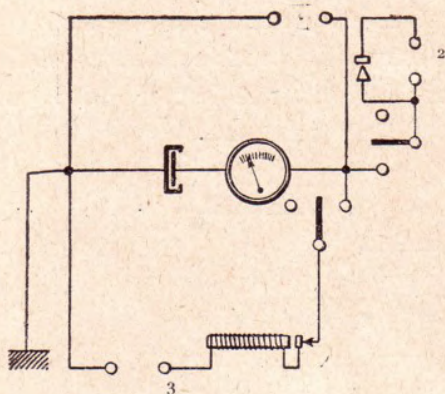


Fig. 12.

1. Bornes de la self. 2. Bornes d'antennes. 3. Bornes de la pile.

calculé le nombre et qui sont faites de fil de grosseur convenable, sont enroulées en une seule couche sur la carcasse destinée à cet usage, une légère couche de vernis isolant est passée sur le fil pour le maintenir en place et empêcher l'humidité de changer la distribution de la capacité. Les extrémités de la bobine de self sont soudées aux bornes. Les vis rattachant les carcasses de la bobine aux bornes doivent être en laiton plutôt qu'en un métal possédant des propriétés magnétiques.

Il est bon que le coffre soit pourvu d'une enveloppe protectrice et d'une poignée.

Après sa construction l'ondemètre doit être étalonné.

L'emploi d'un ondemètre étalonné exige deux précautions : 1° ne soumettre l'appareil à aucun traitement pouvant changer son étalonnage; 2° ne pas le coupler trop à la source du courant haute fréquence que l'on doit mesurer. La seconde condition se trouve remplie si l'on met toujours l'ondemètre assez loin de la source du courant pour que, en l'approchant, on ne change pas la résonance.

Pour graduer un tel contrôleur avec précision comme récepteur ou émetteur, il faut la mise en œuvre de méthodes très délicates réservées aux laboratoires spécialisés (1).

Quand on a établi un circuit oscillant avec toutes les précautions nécessaires pour rendre faible sa résistance, on dispose d'un excellent outil dont les usages sont multiples.

Le circuit ainsi constitué est d'abord un utile instru-

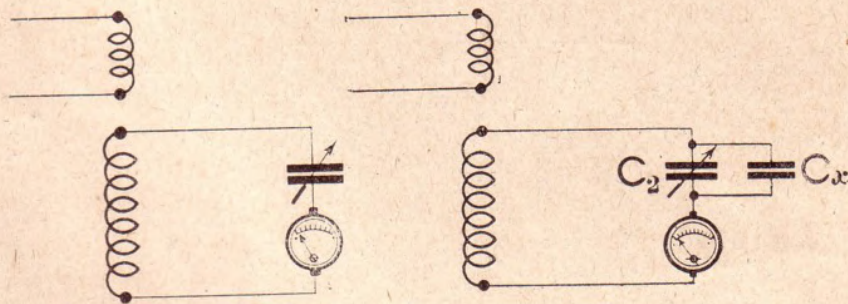


Fig. 13.

ment de mesure; soigneusement étalonné et pourvu d'un appareil indicateur de courant qui peut être un appareil à aiguille, un système couple-galvanomètre, une lampe à incandescence ou un téléphone, il permet, comme nous venons de le voir la mesure des longueurs d'onde par résonance : si l'on cherche quelle est la longueur d'onde d'un émetteur, on fait varier la capacité du circuit oscillant jusqu'à résonance; la longueur d'onde propre du circuit est alors égale à la longueur incidente.

(1) La méthode employée dans les laboratoires de la radiotélégraphie militaire est celle du multivibrateur due à M. le Professeur Abraham.

Il permet la mesure d'une capacité; pour cela, on règle le circuit oscillant sur une longueur d'onde déterminée et l'on branche la capacité à mesurer en parallèle avec celle du circuit oscillant. La quantité dont il faut faire varier le condensateur du circuit oscillant pour retrouver la résonance sur la même longueur d'onde est égale à la capacité à mesurer. On peut de façon analogue mesurer une valeur de self-induction (fig. 13).

Nous avons vu que l'une des constantes les plus impor-

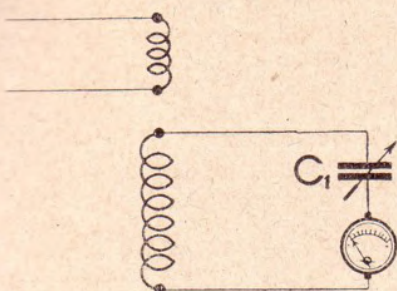


Fig. 14.

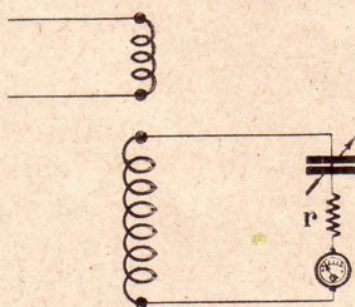


Fig. 15.

tantes d'un circuit oscillant était sa résistance. Il est, par suite, intéressant d'en déterminer la valeur. Il suffit pour cela de disposer d'un appareil indicateur de courant donnant par exemple une déviation proportionnelle au carré du courant efficace (thermique; couple galvanomètre) et d'une résistance connue et sans self. On fait deux lectures; l'une sans, l'autre avec la résistance. Le rapport des racines carrées des déviations est égal au rapport inverse des résistances présentées dans les deux cas par le circuit (*) (fig. 14 et 15).

Si le circuit oscillant expérimenté a été bien construit, la valeur trouvée doit être faible, mais on peut en réduire l'effet à une bien plus faible valeur encore, grâce à l'apport d'une quantité d'énergie de même fréquence que celle qui agit sur le circuit et en phase avec elle; c'est ce à quoi on arrive dans la lampe montée à réaction (fig. 16).

(*) La résistance de comparaison peut être constituée par un fil très fin, résistant (ferro-nickel, manganèse) enroulé sans self. La valeur de sa résistance peut être mesurée en courant continu, par les méthodes ordinaires.

L'énergie apportée ainsi en surplus contrebalance l'amortissement dû à la résistance du circuit. Pour une même valeur de force électromotrice imposée, le courant obtenu est plus

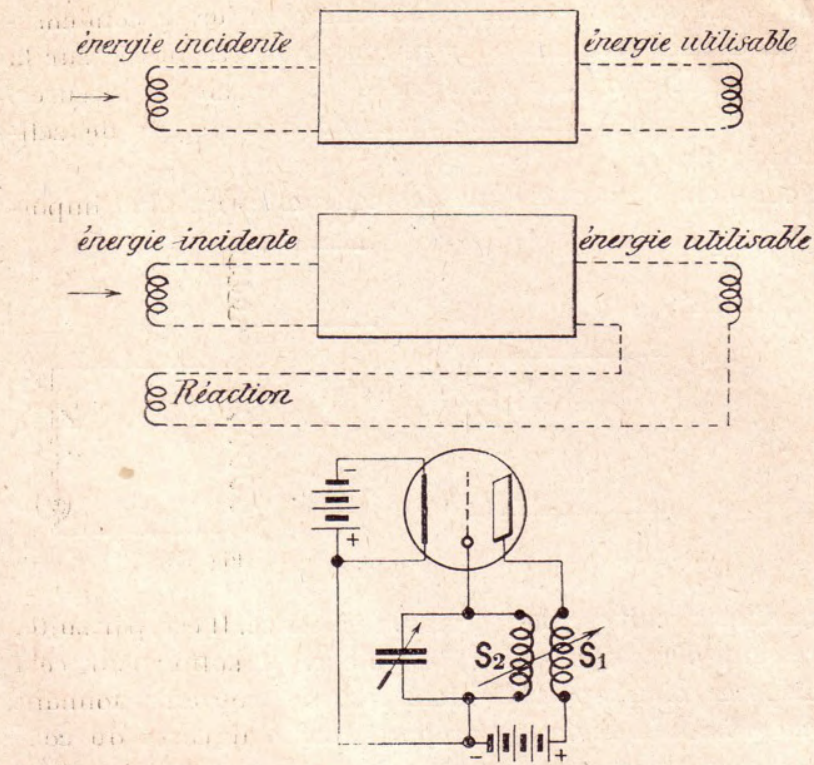


Fig. 16.

La lampe est un relais amplificateur ; l'énergie utilisable est plus grande que l'énergie incidente grâce à une dépense d'énergie locale.

On peut encore augmenter l'amplification due à une lampe en faisant faire retour à une partie de l'énergie utilisable vers le circuit d'entrée. L'apport d'énergie doit augmenter l'énergie incidente (courant en phase).

Le couplage de la self plaque S_1 avec la self S_2 du circuit oscillant peut, pour un sens convenable de couplage, diminuer l'amortissement apparent du circuit S_2 .

grand qu'auparavant. On peut dire que la résistance apparente du circuit a diminué.

La limite de cette diminution dans un système à réaction est zéro. Le circuit oscillant se comportant alors comme une résistance nulle se met à osciller indéfiniment sous l'action de la moindre force extérieure.

Notre circuit oscillant devient ainsi l'élément central

d'un système générateur d'ondes entretenues autoexcitateur. Ce montage réalisé à faible puissance sert d'émetteur local et s'appelle montage hétérodyne. Il est aussi le principe des montages émetteurs à plus forte puissance.

On peut obtenir ce retour d'énergie de la plaque à la grille à l'aide d'une self, d'une capacité ou d'une combinaison des deux ou par l'emploi d'une autre lampe.

Le montage (fig. 17) réalise par exemple un couplage des

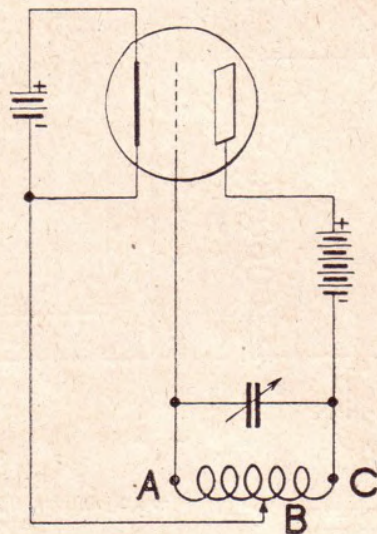


Fig. 17. — Schéma de montage hétérodyne.
Montage hétérodyne à couplage mixte, électro magnétique et électro statique.

circuits plaque et grille, à la fois magnétique et électrique. Pour qu'un tel système oscille, il faut que ce couplage soit suffisant, et d'autant plus grand que la longueur d'onde d'oscillation est plus grande. Le couplage par capacité réalise presque automatiquement cette condition. La plupart du temps, la « condition d'entretien » est ainsi largement satisfaite sur une grande étendue de longueurs d'ondes. Les oscillations obtenues sont, d'autre part, loin d'être sinusoïdales : on dit qu'elles sont riches en harmoniques. Un circuit récepteur voisin indique des résonances sur des accords égaux à la moitié, au tiers de la longueur d'onde fondamentale de l'hété-

rodyne. C'est quelquefois là un avantage, et souvent un inconvénient.

On réglera la prise B au mieux en partant en première expérience d'une prise sensiblement médiane. Un milliampère-

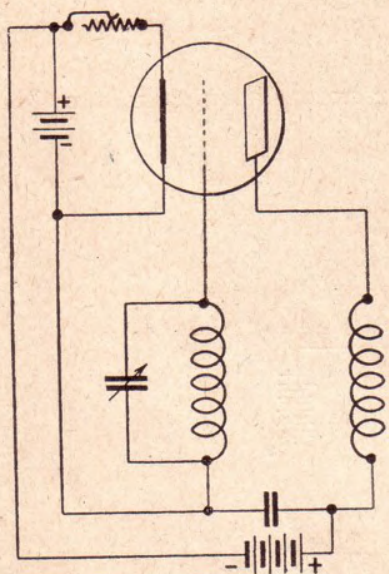


Fig. 18.

Bobine grille :

28 sp. $\frac{1}{10}$, une couche coton occupant $30^m/m$ sur tube de $73^m/m$ de diamètre.

Bobine plaque :

17 sp. $\frac{1}{10}$ à la suite, sur le même tube, avec intervalle de $3^m/m$, occupant $19^m/m$.
Condensateur variable, 0,0025 Mf max.
Condensateur fixe, 0,01 Mf.

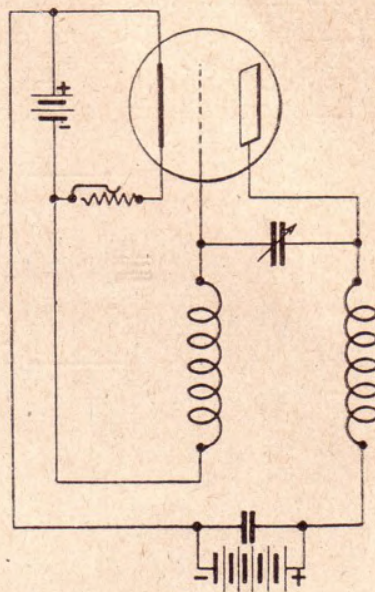


Fig. 19.

Bobine grille :

22 sp. jointives, $\frac{1}{10}$, deux couches coton sur tube de $85^m/m$.

Bobine plaque :

22 sp. jointives $\frac{1}{10}$, deux couches coton sur tube de $62^m/m$ de diam.
Couplage serré des deux bobines introduites l'une dans l'autre.
Condensateur variable, 0,001 Mf max.
Condensateur fixe, 0,004 Mf.

mètre intercalé dans la connexion du circuit oscillant à la grille servira utilement à déceler l'accrochage des oscillations.

La tension de plaque peut être assez basse; quelques dizaines de volts sont amplement suffisantes.

A titre de variantes, nous donnons figures 18 et 19 des montages hétérodynes conseillés l'un par le *Wireless World* du 12 novembre 1921, l'autre par le journal américain *Q. S. T.* d'août 1921. Les légendes accompagnant ces figures permettront de réaliser facilement ces montages.

CHAPITRE III

L'ÉMISSION DES ONDES COURTES

Les ondes de 100 mètres sont loin d'être les plus courtes d'entre celles qui font partie du domaine de la radiotélégraphie.

On sait depuis longtemps produire des ondes beaucoup plus courtes à l'aide des lampes à trois électrodes. La figure 20

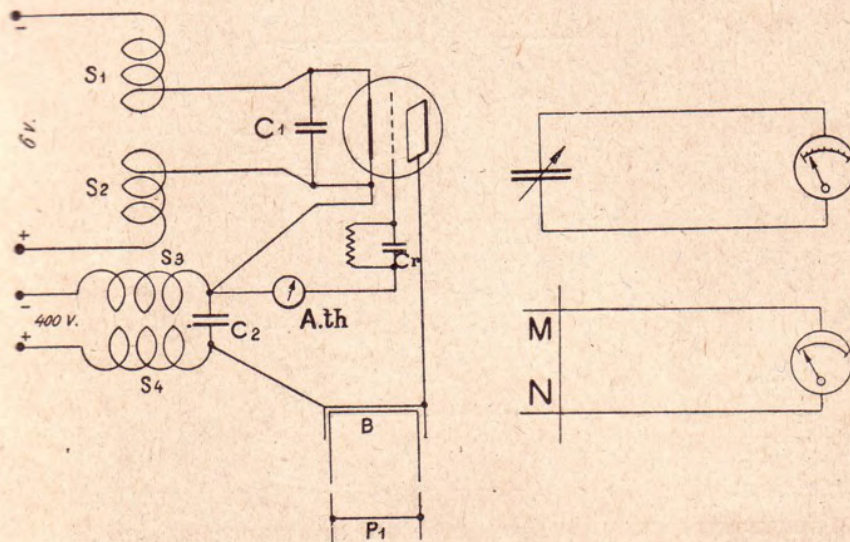


Fig. 20.

représente la construction d'un tel générateur. On obtient ainsi des ondes de quelques mètres qui permettent la réalisation de belles expériences, et mettent en évidence les propriétés de la propagation des ondes le long des conducteurs.

Les oscillations obtenues font résonner des circuits oscillants à très courte période. Un carré (fig. 20) de 10 cm de côté

sur lequel est intercalé un ampèremètre thermique T et un condensateur variable de capacité très petite (1 à 2/100 000 de microfarad) constitue un résonateur qui accuse des résonances très aiguës.

Pour mesurer la longueur d'onde, on fait agir le circuit oscillant sur un rectangle (fig. 20) formé de deux fils parallèles réunis d'un côté par un ampèremètre, de l'autre par un pont MN et on détermine la position du pont qui correspond à la résonance. La longueur totale du circuit est la longueur d'onde. La position du pont se détermine avec une extrême

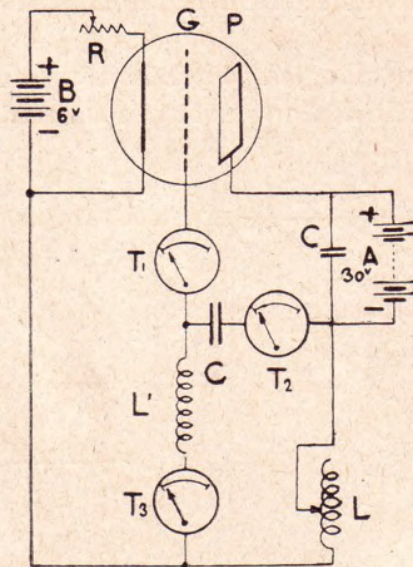


Fig. 21.

précision. Il est bon, lorsque celle-ci est à peu près trouvée, de supprimer presque tout le fil qui se trouve au delà.

La facilité avec laquelle les ondes courtes se produisent permet d'expliquer certaines anomalies, que l'on observe dans le fonctionnement de postes radiotélégraphiques à ondes entretenues.

On réalise très facilement une disposition qui donne des ondes longues ou courtes à volonté.

Dans la disposition de la figure 21, on fait le retour au filament par deux bobines de quelques tours L et L'.

Si la self L a la valeur convenable pour l'amorçage des oscillations de grande longueur d'onde du circuit CLL' , on obtient celles-ci et les ampèremètres T_2 et T_3 dévient.

Pour les selfs L trop grandes ou trop petites, ce sont les oscillations courtes du circuit $CcGP$ qui s'accrochent et les ampèremètres T_1 et T_2 dévient.

On passe ainsi facilement d'ondes de quelques centaines de mètres à des ondes de quelques mètres.

Ces dernières paraissent très stables; si, par exemple, en augmentant le chauffage on fait décrocher les ondes longues, les petites prennent immédiatement naissance.

On n'observe pas d'entretien simultané des deux espèces d'oscillations ⁽¹⁾.

Pour les ondes de l'ordre de 200 mètres, l'antenne d'émission peut affecter toutes les formes normalement employées.

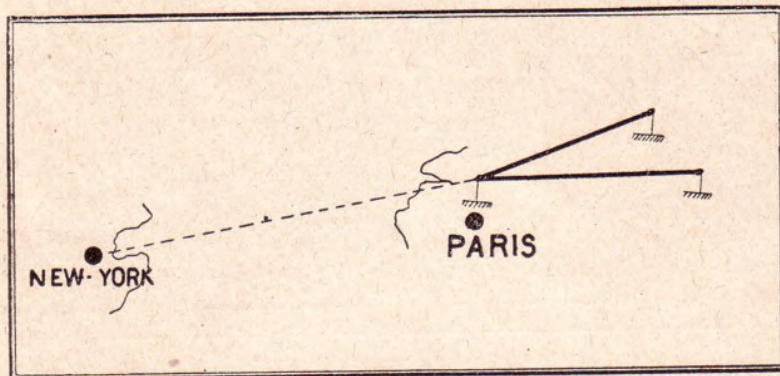


Fig. 22.

On pourra simplement se servir par exemple de deux brins en V de 15 à 20 mètres de longueur (fil d'antenne 7 brins 5/10); placés à une hauteur d'environ 8 mètres avec une entrée de poste de 7 mètres. On placera cette antenne par rapport au correspondant préféré comme l'indique le schéma 22, afin de placer ce correspondant dans la direction de rayonnement maximum de l'antenne.

⁽¹⁾ Le montage numéro 20 et ces études sur les ondes très courtes ont été faites par MM. Gutton et Touly en novembre 1917.

L'établissement de la prise de terre ou du contre-poids doit être particulièrement soigné. La prise de terre serait, au mieux, constituée par 4 ou 5 bandes de grillage de 3 m. \times 0 m. 50, enterrées l'aussi près que possible du poste et reliées entre elles par des connexions soigneusement faites. Le contre-poids est souvent avantageux, on le constitue par des brins rayonnants au-dessous de l'antenne, en particulier par deux brins symétriques de ceux de l'antenne, montés sur les mêmes supports, mais à 2 mètres environ de hauteur seulement, et bien isolés de l'antenne et de la terre. Le point de liaison des brins est attaché à la borne terre du poste, par un fil isolé et éloigné autant que possible du fil d'entrée de poste.

Pour les postes émetteurs plus puissants, il est avantageux d'employer une antenne en prisme dont la figure 23 donne un

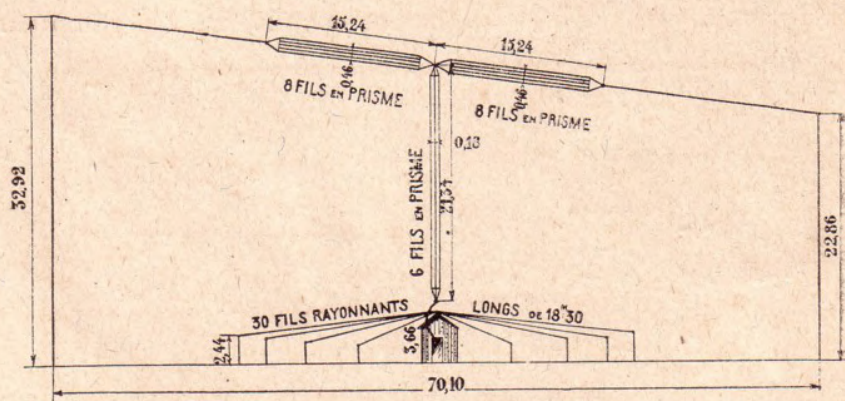


Fig. 23. — Antenne I B. C. G.
Onde propre entre 190 et 194 mètres; Onde employée, 230 mètres.

exemple; 6 à 8 fils sont attachés sur des cerceaux en bois; l'isolement se fait avec des chaînes d'isolateurs à 3 ou 4 mailons. L'antenne I.B.C.G. représentée sur la figure est montée avec un contre-poids. L'entrée de poste est aussi constituée par un prisme.

Pour l'émission d'ondes de l'ordre de 200 mètres, nous conseillons le schéma suivant, simple à construire (fig. 24).

L'antenne et la plaque viennent se brancher sur une self à 2 curseurs aux points A et P.

Le couplage grille plaque est obtenu par un petit transformateur haute fréquence T, enroulé sur un petit cylindre de bois de 27 mm de diamètre; le primaire du côté plaque comprend environ 20 spires; le secondaire enroulé sur carcasse

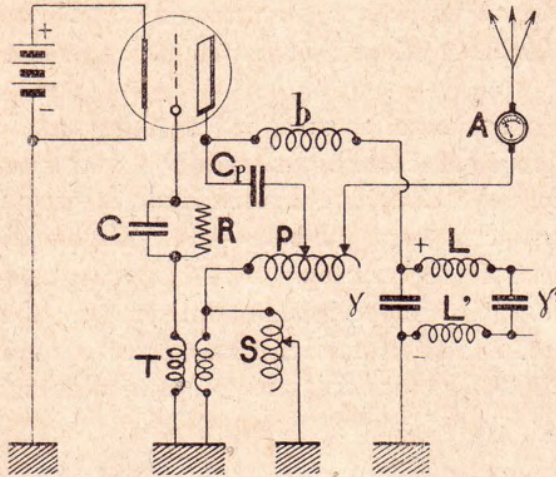


Fig. 24. — Schéma de poste émetteur à couplage localisé.

de fibre de 30 mm de diamètre intérieur et 33 de diamètre extérieur comprend 30 à 40 spires enroulées en sens inverse. Pour ajuster le couplage, on branche en dérivation sur le primaire une self S analogue au primaire, en ménageant quelques plots.

Le système R.C (2/1000 pour C, 8000 ohms pour R) protège la vie des lampes et permet d'augmenter la tension d'alimentation. Avec les valeurs indiquées et des lampes du modèle de réception TM, on peut pousser jusqu'à 450 et même 500 volts.

Cette tension est obtenue dans les conditions les plus pratiques par un petit convertisseur rotatif. Pour corriger les inégalités du courant d'alimentation, on emploie un filtre composé de deux selfs L et L' et de deux capacités γ et γ'. Les selfs L et L' sont des selfs à noyaux de fer obtenues en enroulant du fil 4/10, deux couches coton autour d'un paquet de fils de fer doux de 10 cm sur base de 1 cm 5 de diamètre environ.

Les capacités fixes C et C' , de 1 microfarad, doivent présenter un bon coefficient de sécurité pour la tension utilisée.

Une self b sert à empêcher la haute fréquence de passer par le circuit d'alimentation (600 à 800 spires en nid d'abeille).

Le poste ainsi construit s'amorce aisément. La prise A règle, à très peu de chose près, la longueur d'onde. On n'y touche plus. P est déplacée jusqu'à l'amorçage qu'on règle au mieux, grâce à S .

Ce poste est très robuste; il ne contient aucun condensateur variable; il est d'autre part très peu encombrant.

Pour faire de la télégraphie sans fil, on intercale un manipulateur dans le fil venu du pôle — de l'alimentation plaque.

Quel que soit le montage utilisé, quelques précautions sont nécessaires quand on veut réaliser un émetteur pour ondes courtes. Il faut, en particulier, se souvenir que les petites antennes utilisées rayonnent une quantité d'énergie relative-

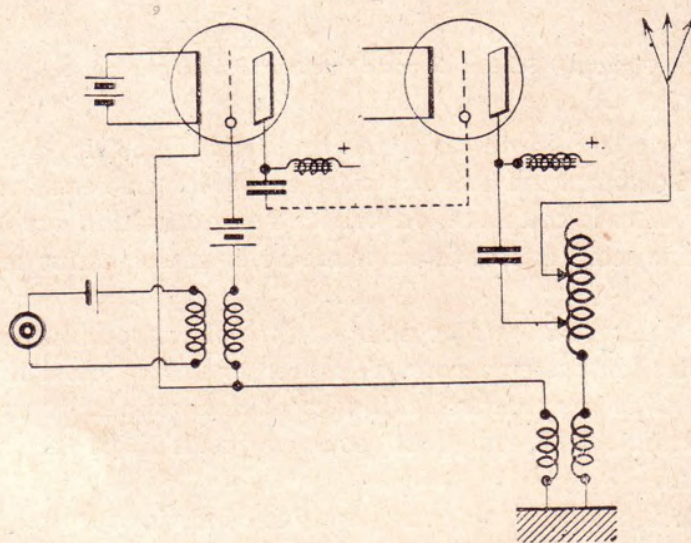


Fig. 25. — Modulation sur grille par lampe.

ment grande, présentent donc une résistance de rayonnement assez forte, et assez variable d'une antenne à l'autre. Il est bon de s'assurer un moyen de variation dans le couplage grille-

(a) *Modulation sur grille par lampe.*

On intercale sur le circuit de grille des lampes d'émission, une résistance constituée par la résistance intérieure filament plaque d'une lampe auxiliaire.

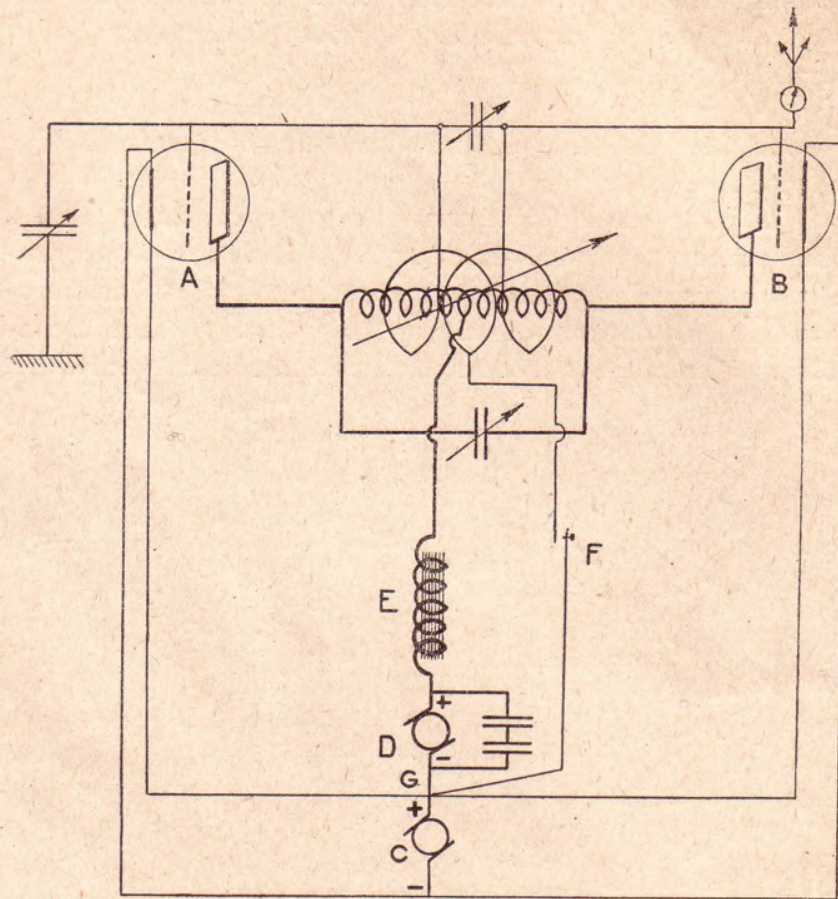


Fig. 27. — Émetteur à lampes symétriques.

On agit sur [la grille de cette dernière par un transformateur téléphonique (fig. 25).

(b) *Modulation par lampe en dérivation.*

Le second procédé consiste à shunter les lampes émettrices par une ou plusieurs lampes modulatrices dont on fait varier la résistance intérieure par modulation sur grille. Pour que

ce procédé marche bien, il faut que la puissance en jeu dans les modulatrices soit peu différente de celle des émettrices (fig. 26).

Un autre schéma d'émission est dû à M. Mesny et convient très bien à l'émission des ondes très courtes (fig. 27). Le système oscillant se compose en principe de deux lampes A et B dont les plaques et les grilles sont réunies par des selfs couplées entre elles. Sur chacune des selfs un condensateur variable est monté en parallèle. L'antenne est connectée à la grille de l'une des lampes, la terre est connectée à l'autre lampe à travers un condensateur variable. Le milieu^{de} de la self-grille est réuni à la source de chauffage C; celui de la self-plaque également, mais par l'intermédiaire d'une source de haute tension D et d'une self à fer E destinée à éteindre les bruits de commutation quand la source D est une dynamo. Dans le même but, deux capacités de $2\mu F$ en série sont placées en parallèle aux bornes de cette dynamo.

Nous rappellerons que l'on doit veiller avec beaucoup d'attention à exclure du voisinage de l'émetteur tout circuit oscillant parasite absorbant. Beaucoup d'anomalies que l'on constate à l'expérience proviennent de là. La disposition optimale des connexions doit aussi être recherchée avec beaucoup de soin.

CHAPITRE IV

RÉCEPTION

ANTENNE ET CADRE. LA LAMPE EN RELAIS AMPLIFICATEUR

Jusqu'ici les postes émetteurs sur petites longueurs d'ondes n'ont possédé qu'une faible puissance; l'énergie incidente, à la réception, est donc extrêmement petite; il importe d'en capter le plus possible et, par suite, de soigner particulièrement l'antenne ou le cadre employé.

Deux systèmes d'antenne de réception sont actuellement utilisés :

1° L'antenne accordée, d'une forme courante, en nappe, en V, ou de préférence en prisme, ou en tronc de pyramide évasé vers l'extérieur.

Cette sorte d'antenne, dont on trouvera figure 28 un nouvel exemple d'installation, est soumise pour sa construction aux précautions ordinaires; il faut assurer un bon isolement et une bonne prise de terre; l'emploi d'un contre-poids est assez souvent favorable. Il faut avoir soin de proscrire, autour de l'antenne, tout circuit oscillant parasite, ouvert ou fermé.

Le circuit récepteur ouvert formé par l'antenne est, dans ce cas, accordé sur la longueur d'onde à recevoir par l'adjonction en série dans l'antenne, d'une bobine de self et d'un condensateur formant le primaire de réception.

Cette antenne peut évidemment servir, telle quelle, pour l'émission de longueurs d'ondes du même ordre.

2° L'antenne horizontale de grande longueur dont le type est l'antenne Beverage, appelée ainsi du nom de son auteur. Elle est constituée par un long fil horizontal suspendu à une assez faible hauteur (4 à 5 mètres). Une extrémité, celle qui est tournée vers le poste émetteur, est reliée à la terre à travers

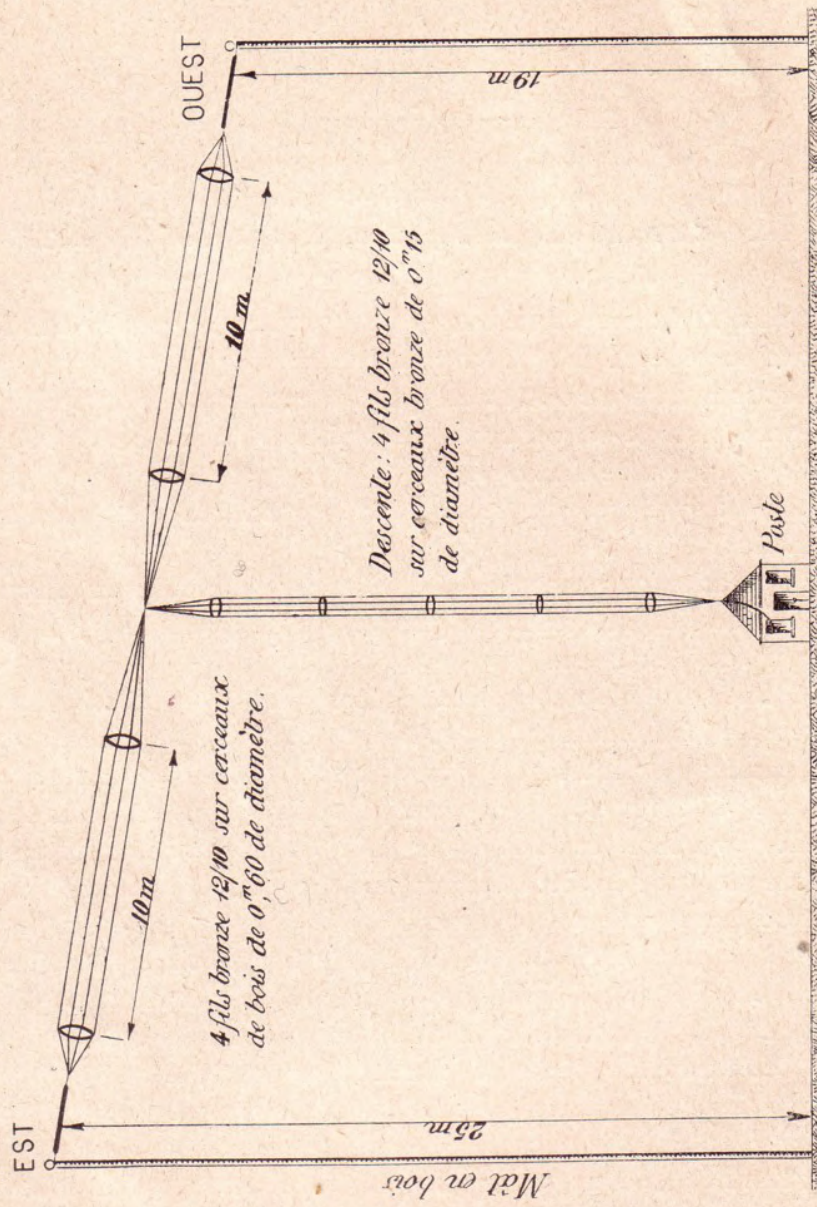


Fig. 28. — Type d'une bonne antenne de réception d'amateur.

une résistance réglable. A l'autre extrémité est branché le récepteur (fig. 29).

On peut expliquer le fonctionnement d'une telle antenne par la théorie élémentaire suivante : En chaque point P du fil horizontal, l'onde incidente induit deux courants qui se propagent en sens contraires; seul importe celui qui voyage dans le sens de l'onde; il se renforce de A vers B. Mais la vitesse de

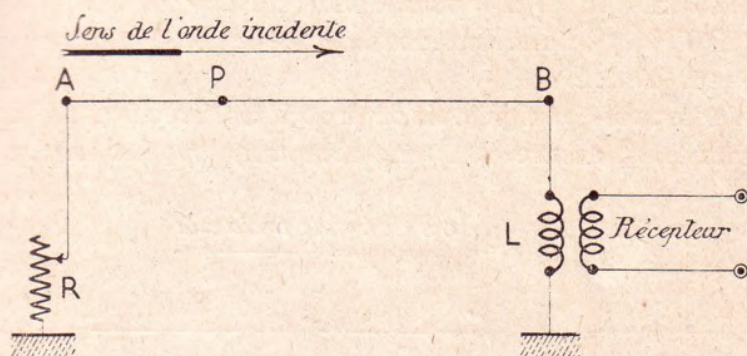


Fig. 29. — Antenne du type Beverage.

propagation sur le fil d'antenne (v_a) n'est pas aussi grande que la vitesse de propagation de l'onde incidente (v , vitesse de la lumière). Elle ne lui deviendrait égale que pour un fil indéfini, isolé dans l'espace. La longueur maxima du fil d'antenne que l'on peut utiliser est donc limitée par la nécessité de ne pas dépasser entre l'onde incidente et le courant induit une différence de phase d'un quart de période; car le courant induit en ce point contrarierait les courants induits aux points plus proches du récepteur.

Beverage indique par exemple (*Q. S. T.*, novembre 1922) des résultats de recherches sur une antenne de 195 m de long à 5 m environ de hauteur.

Pour déterminer le rapport $\frac{v_a}{v}$, approximativement, on détermine expérimentalement la longueur d'onde λ_a sur laquelle résonne l'antenne, A étant isolé, en l'excitant par un petit émetteur local possédant une gamme de fréquences appropriée. Si la vitesse de propagation était égale à v , l'antenne

résonnerait sur une longueur d'onde égale à quatre fois sa longueur géométrique L (compte non tenu de la partie verticale de l'antenne). Le rapport $\frac{v_a}{v}$ est égal à $\frac{L_a}{\lambda_a}$. On répète l'opération pour des harmoniques de même rang. Cette théorie élémentaire paraît s'accorder très suffisamment avec l'expérience. Pour l'antenne de 195 m dont nous avons parlé, le rapport trouvé était de $\frac{93}{100}$ pour l'onde de 200 m, ce qui aurait permis l'usage d'une antenne longue de plus de trois fois la longueur d'onde.

L'antenne Beverage jouit de propriétés directives nettement marquées, et assure ainsi une réception souvent exempte de

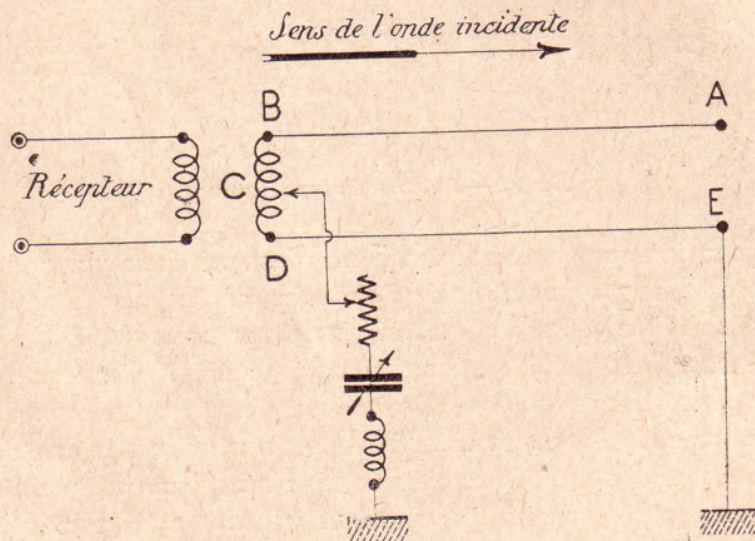


Fig. 30. — Antenne Beverage à deux fils.

brouillages, et quelquefois de parasites. La résistance R est ajustée de façon à ce que les signaux venant de B vers A ne rencontrent pas au point A de changement dans les constantes de la ligne, qui provoquerait une réflexion des ondes. R doit ainsi être égale à l'impédance caractéristique de la ligne. On peut déterminer R expérimentalement en cherchant la valeur pour laquelle il ne se produit plus de résonance quand

on excite l'antenne sur toute la gamme de fréquences donnée par l'émetteur local auxiliaire mentionné ci-dessus.

Pour éviter l'inconvénient d'avoir à opérer un réglage loin du récepteur, on peut employer des systèmes à deux fils, qui permettent de ramener la résistance R au poste récepteur même. La figure 30 en donne un exemple. Les ondes se propageant de B vers A induisent des courants qui se réfléchissent en A et E avec une différence de phase de 180° , provoquant aux bornes B D une différence de potentiel qui actionne le récepteur. On doit tenir compte évidemment, dans ce cas, des pertes de transmission le long des lignes A B et E D.

Quand on utilise un cadre pour la réception des ondes de petite longueur, on doit évidemment en soigner au mieux la construction. On a souvent avantage, dans beaucoup de mon-

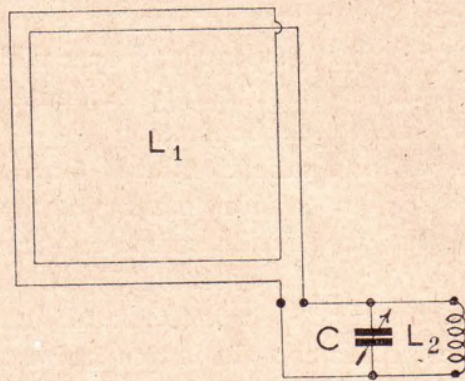


Fig. 31. — Montage d'un cadre pour la réception des petites longueurs d'onde.

tages, à brancher le cadre en parallèle à la fois sur la capacité d'accord et sur une self servant à l'intérieur du montage récepteur. Un pareil système (fig. 31) résonne sur une onde :

$$\lambda = \lambda_1 \sqrt{\frac{L_2}{L_1 + L_2}}$$

en appelant λ_1 la longueur propre du circuit $L_1 C$; il permet donc d'augmenter le nombre de spires du cadre récepteur.

Mais il faut tout de suite remarquer que les antennes et cadres ici décrits constituent des appareils « optima » et qu'en

pratique, surtout à faible distance, on peut se contenter de beaucoup moins bien.

Quel que soit le système, antenne ou cadre, que l'on emploie pour capter à la réception les ondes incidentes, nous disposons par ce moyen aux bornes d'une self ou d'une capacité d'une certaine force électromotrice de haute fréquence qui est capable d'induire dans d'autres circuits des courants. C'est cette énergie disponible qu'il convient d'utiliser au mieux. Pour permettre une étude moins embrouillée de la question, nous allons d'abord considérer le cas où l'on cherche à recevoir de la téléphonie. Les signaux qui arrivent sont alors constitués par des oscillations de haute-fréquence dont l'amplitude est modulée en accord avec les inflexions de la voix humaine ou de la musique. Pour arriver à entendre ces signaux, il faut les détecter. Quand les signaux arrivent avec une énergie suffisante, le détecteur suffit. On peut employer alors simplement une galène. Mais, en général, l'énergie incidente, considérablement encore diminuée par l'opération de la détection, ne permet pas une audition satisfaisante. Il faut, d'ailleurs, que les signaux perçus soient suffisamment plus intenses que les bruits parasites pour que l'oreille puisse comprendre la parole ou suivre avec agrément la musique. Il est donc nécessaire d'amplifier l'énergie reçue en mettant à contribution une énergie dépensée localement. La lampe qui est un détecteur donne aussi les moyens d'amplifier commodément.

Deux sortes d'amplification sont possibles : l'amplification haute fréquence qui a lieu avant la détection ; l'amplification basse fréquence qui a lieu après la détection. L'amplification basse fréquence ne présente évidemment pas, pour les petites longueurs d'onde, de particularité. Elle a pour but de renforcer l'intensité des signaux qui ont été capables d'actionner le détecteur. Mais la lampe employée en détectrice fonctionnant suivant une loi telle que l'intensité détectée est proportionnelle au carré de la tension appliquée à l'entrée de la lampe et, d'autre part, la détection nécessitant une certaine tension minima à l'entrée de la lampe, on voit qu'il est de

première importance de pouvoir amplifier à haute-fréquence avant la détection. C'est ici que surgissent des difficultés spéciales aux petites longueurs d'onde. Ces difficultés tiennent au fait que les éléments dont est composée une lampe : plaque, grille et filament, présentent entre eux des capacités parasites qui sont d'autant plus nuisibles que la fréquence est plus haute. Cet effet nuisible se produit aussi pour l'action détectrice de la lampe qui a un plus mauvais rendement comme détecteur aux très hautes fréquences. Nous allons donc d'abord examiner comment se comporte la lampe employée dans son rôle primitif de relais amplificateur et détecteur.

La lampe en relais amplificateur.

Rappelons le schéma précédemment donné d'une lampe à trois électrodes (fig. 32) : G, P, F représentent la grille, la plaque

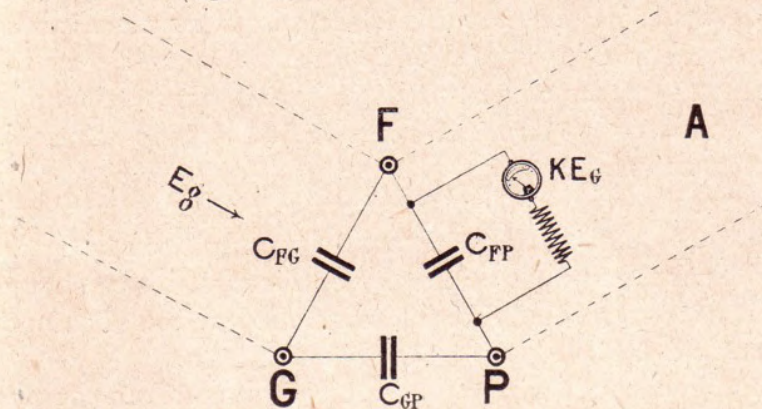


Fig. 32. — Schéma des capacités intérieures d'un triode.

et le filament. Entre grille et filament, on branche le circuit d'entrée; entre plaque et filament, le circuit de sortie. Une force électromotrice produite par un signal entre grille et filament E_g , agit dans le circuit de sortie comme s'il se trouvait entre plaque et filament une force électromotrice $k E_g$. k est ce qu'on appelle la constante d'amplification en volts de la lampe; elle dépend des données géométriques de sa construction. Dans les lampes de la télégraphie militaire k , est de l'ordre de 8 à 10.

ρ est la résistance interne de la lampe (20 000 ohms environ).

Voyons ce qui se passe dans la lampe amplificatrice pour des signaux de fréquence différente. Tant que cette fréquence ne dépasse pas une certaine valeur, mettons 500 000 par seconde (onde de 600 mètres), on peut négliger l'influence de la capacité entre plaque et filament, de l'ordre d'une dizaine de microfarads. Le chemin offert par ρ est beaucoup plus aisé pour la haute fréquence que le chemin offert par CFP. Mais dès que la fréquence croît, il n'en est plus ainsi. Déjà à la fréquence 10^6 le chemin offert par la capacité ne représente que 14 000 ohms environ de résistance apparente. Le courant utile, celui qui passe dans ρ , tombe de moitié environ. En plus haute fréquence, le dommage est encore plus grand.

Pour rattraper, il faut faire appel au phénomène de résonance. Pour cela, on peut par exemple brancher en parallèle avec le circuit P F une capacité d'accord qui assurera la résonance sur l'onde envisagée. On pourra faire croître ainsi la tension aux bornes de la self d'utilisation dans de notables proportions. Nous verrons ci-après différents montages couramment utilisés.

La capacité entre grille et filament a aussi un très mauvais effet, dû à la diminution, du fait de ce shunt, de la tension produite par les signaux à l'entrée de la lampe. C'est pourquoi il serait nécessaire, en dehors de toute autre raison, d'accorder le circuit d'entrée.

Enfin, la capacité entre plaque et grille produit un couplage entre les circuits de sortie et d'entrée, et tend à faire s'amorcer des oscillations propres.

Ce couplage est plus ou moins efficace selon la constitution du circuit de plaque; si ce dernier contient beaucoup de self, on a une forte tendance à l'amorçage; l'effet de la capacité est inverse. Ceci explique, en particulier, que dans les amplificateurs à transformateurs usuels on réduise la tendance à l'auto-excitation en shuntant le primaire par une capacité, et que dans les amplificateurs à résistance, on intercale souvent une self sur la dernière plaque pour faciliter l'amorçage.

Une autre conséquence de cette remarque est la possibilité

de constituer un système récepteur amplificateur à réaction qui ne se serve comme moyen de couplage que de la capacité interne des lampes.

Le schéma suivant donne le montage connu en Amérique comme le « Standard Short wave regenerative set ». Il pré-

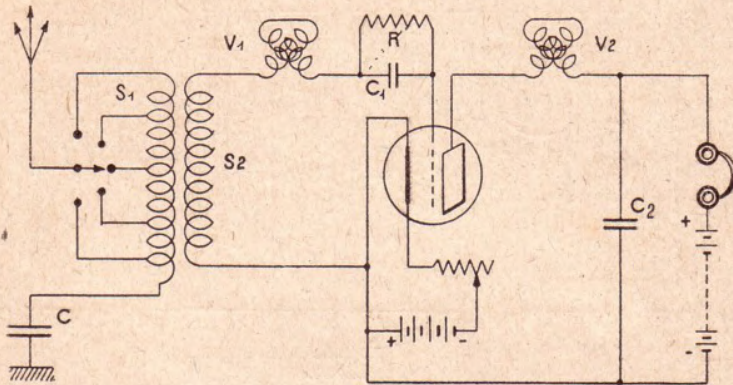


Fig. 33.

sente d'intéressantes particularités. Ce montage est simple, et ne comporte aucun condensateur variable, d'où moins d'occasions de perte d'énergie. L'entretien est obtenu par l'accord des circuits plaque et grille, qui se règle par variation des inductances au moyen des variomètres V_1 et V_2 ; c'est la

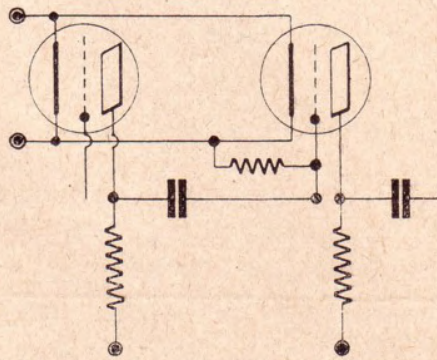


Fig. 34. — Liaison résistance-capacité.

capacité interne de la lampe qui assure le couplage. Un pareil récepteur s'adapte fort bien à la gamme 100-400 mètres. Il se

prête naturellement à d'assez nombreuses combinaisons, où il reste l'élément central (adjonction de lampes amplificatrices). Mais le réglage de ce poste à trois circuits est assez délicat :

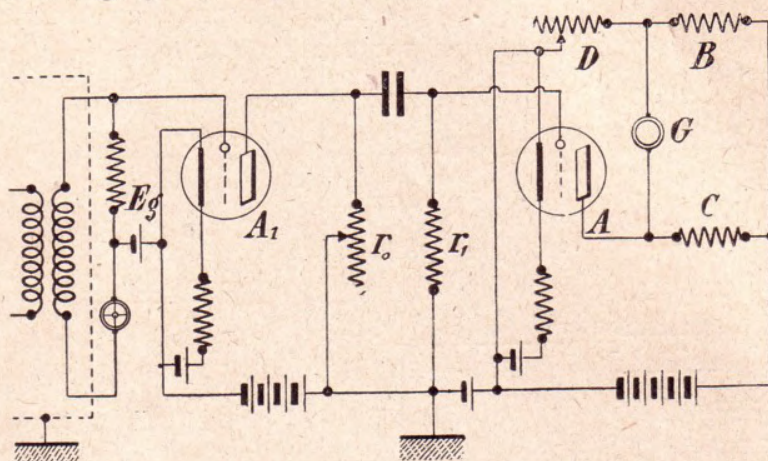


Fig. 34 bis. — Recherche de l'influence de la fréquence sur l'amplification haute fréquence.

accord de l'antenne, accord du circuit de grille, accord du circuit de plaque (fig. 33).

C'est là une très bonne façon d'utiliser une lampe, mais

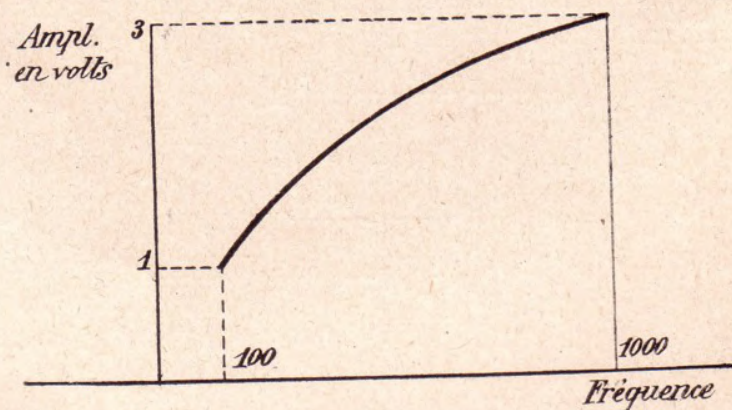


Fig. 34 ter. — Amplification par liaison résistance-capacité en fonction de la fréquence.

pour recevoir les signaux éloignés et faibles, il est indispensable de s'assurer un moyen d'amplification haute fréquence.

L'amplificateur haute fréquence le plus usuel et le plus simple est à liaison résistance-capacité (fig. 34). Malheureusement, cet amplificateur perd beaucoup de son efficacité aux fréquences très élevées ⁽¹⁾.

On peut le montrer par la méthode suivante.

On provoque dans le circuit grille à étudier, une variation de haute fréquence, de grandeur connue, de la manière suivante :

Une résistance connue R sans self et sans effet de peau appréciable donne à ses bornes une amplitude de potentiel égale à RI . I est mesuré au moyen d'un couple associé à la manière connue à un galvanomètre. On isole par cage métallique l'excitation HF.

La plaque est d'autre part reliée à une seconde lampe par liaison résistance capacité. Cette seconde est montée en détectrice, son circuit-plaque constitue l'un des bras d'un pont de Wheatstone préalablement étalonné. La moindre force électromotrice appliquée à la lampe détectrice dérègle le pont, et l'on peut ainsi mesurer l'amplification en volts due à la première lampe. La seconde lampe doit d'ailleurs être construite de façon à présenter de faibles capacités intérieures. On obtient alors, en fonction de la fréquence, des courbes comme la suivante, légèrement différentes suivant la tension plaque. Pour 100 m, on constate une amplification pouvant être le tiers de celle constatée à 1 000 m et à peine supérieure à 1.

On voit par cet exemple que la liaison d'une lampe à l'autre par résistance-capacité est peu favorable au-dessous de 300 mètres. On a pu cependant remédier à ses défauts en contrebalançant l'effet de la capacité grille-plaque par une inductance reliant la grille à la plaque, mais cette inductance doit être réglée pour provoquer la résonance, en fonction de la longueur d'onde et des constantes des circuits employés. On règle alors aussi soigneusement la résonance du côté grille et

⁽¹⁾ Toutefois, en construisant un amplificateur à résistance avec des soins particuliers, on peut obtenir de bons résultats jusque vers 200 mètres. (Voir Beauvais et Brillouin, *Onde Electrique*, n° 17.)

ce système fonctionne bien, mais est visiblement trop compliqué (1).

Les chercheurs et constructeurs ont beaucoup travaillé ces derniers temps, et surtout en Amérique pour réaliser des amplificateurs à lampes multiples pour ondes courtes, susceptibles de fournir une bonne amplification dans une gamme de longueur d'ondes qui ne soit pas trop étroite. Bien que les résultats actuellement obtenus ne soient peut être pas aussi brillants que ceux que réclament le superhétérodyne ou la super-régénération, ils ne laissent pas d'être intéressants, et sans doute susceptibles de progrès.

La plupart des modèles se privent dans ces amplificateurs de tout effet de régénération : il y a là évidemment une perte

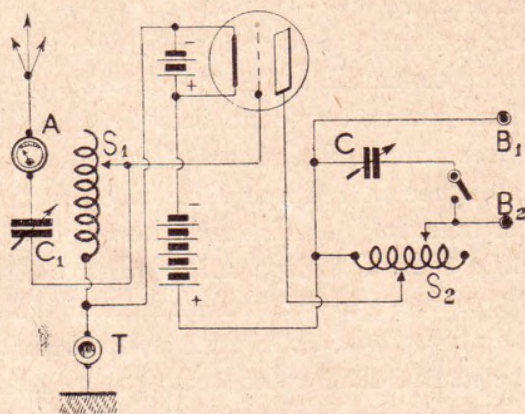


Fig. 35. — Lampe de couplage.

d'amplification notable, mais aussi un gain important en stabilité. Toutefois, pour regagner l'amplification due à la réaction, il faut presque deux lampes H F. Mais on peut actuellement construire des systèmes à trois lampes H F qui fonctionnent bien. Aller au delà ne va pas sans de grosses difficultés, car les réactions par les connexions deviennent violentes, et il est très difficile d'empêcher le système d'osciller. Le nombre d'étages pratiquement possible dépend évidemment du coefficient d'amplification des lampes

(1) Van der Bijl, *La lampe à trois électrodes.*

employées, les lampes à gros coefficient d'amplification étant plus difficiles, bien entendu, à mettre en cascade.

En Angleterre et aussi en France, certains amateurs ont employé la liaison à résonance. Les réglages multiples et délicats sont alors presque prohibitifs quand on dépasse deux étages.

Mais le fonctionnement d'un seul étage (lampe de couplage) est très avantageux pour les ondes courtes (fig. 35).

Une intéressante application de la lampe de couplage constitue le récepteur Abelé qui, extrêmement efficace pour des ondes longues, s'adapte aussi très bien pour les très hautes fréquences.

Ce récepteur combine, en un montage simple à établir et facile à régler, les deux principes suivants (1) :

Couplage par lampe entre primaire et secondaire :

Réaction du secondaire sur lui-même, obtenue par un couplage mixte magnétique et électrique qui jouit de la propriété d'être auto-réglable.

1° *Couplage par lampe entre circuit primaire et circuit secondaire.* — Comme nous l'avons vu, la bobine primaire agit sur la grille d'une lampe. Ses oscillations sont transmises au secondaire par le circuit de plaque de la même lampe. Pour cela, ce circuit de plaque comprend une partie de l'enroulement secondaire.

D'où les avantages suivants :

1° La lampe de couplage constitue un étage d'amplification à haute fréquence. L'effet amplificateur est d'autant plus sensible que la capacité répartie de la bobine secondaire est plus réduite et que le rapport entre la self induction et la capacité secondaire se rapproche davantage d'une valeur optima assez élevée ;

2° Toute réaction du secondaire sur le primaire est supprimée. Les réglages de ces deux circuits deviennent indépendants : il n'est pas besoin de retoucher l'un quand on a modifié l'autre. Le secondaire peut donc être étalonné une fois pour

1. Blamfois, *L'Onde Electrique*, n° 11.

dispositif à réaction magnétique, il faut, à la fois, réaliser le maximum d'amplification rétroactive des oscillations captées par l'antenne et donner aux oscillations entretenues locales une intensité de l'ordre de grandeur de celle des ondes reçues quand on veut recevoir des ondes entretenues. Les meilleurs résultats sont généralement obtenus en se maintenant au-dessus mais très près de la limite d'entretien. Cette condition supposée réalisée, une difficulté se présente : si on modifie la longueur d'onde du secondaire, soit pour parfaire le réglage, soit pour tout autre motif, la limite d'entretien est facilement atteinte et un décrochage se produit.

Dans le « Récepteur Abelé », la réaction magnétique est obtenue en intercalant sur le circuit plaque de la lampe détectrice quelques spires de la self secondaire; mais pour éviter l'inconvénient mentionné plus haut, il existe, en outre, une réaction électrique réalisée en reliant la grille et la plaque de la lampe détectrice par la capacité d'accord C_1 . Il se trouve ainsi qu'en agissant sur la capacité d'accord C_1 , on fait varier le couplage électrique en même temps et dans le même sens que la longueur d'onde. D'où une conséquence intéressante : Si le nombre des spires de réaction est tel que l'on se trouve près de la limite d'entretien, les conditions de fonctionnement optimum subsistent, sans qu'il se produise de décrochage, pour une gamme assez étendue de longueurs d'ondes obtenues par variation du condensateur C_1 . On concilie ainsi les conditions de sensibilité et de stabilité de façon à obtenir la meilleure réception possible avec le minimum de réglages.

3° *Combinaison des deux dispositifs précédents.* — On voit facilement les avantages des dispositifs précédents; mais il importe de remarquer la simplicité avec laquelle ils ont été combinés. C'est en ce point que réside l'originalité du « Récepteur Abelé » : Couplage et réaction sont réalisés au moyen d'une seule et même bobine : la bobine secondaire, qui remplit deux fois le rôle d'auto-transformateur : cette bobine est traversée en partie (spires *b-c*) par le courant plaque de la première lampe, et en partie également, mais en sens inverse, par

le courant plaque de la seconde lampe : (spires *c-d*). Le premier rapport de transformation $\frac{\text{spires } ad}{\text{spires } bc}$ est compris entre 2 et 3, il n'a pas besoin d'être réglé avec précision. Le second rapport de transformation $\frac{\text{spires } ad}{\text{spires } cd}$ doit être beaucoup plus élevé (supérieur à 10) pour accroître la différence de potentiel engendrée le long de la bobine secondaire et pour se rapprocher de la limite d'accrochage. Il doit de plus être réglé avec assez de précision au moyen d'un commutateur indépendant. On peut d'ailleurs parachever le réglage de la réaction en agissant sur le chauffage de la seconde lampe.

4° *Autres organes.* — On remarquera le condensateur *C* shunté par la résistance *r* qui fait fonctionner la deuxième lampe en détecteur.

Le récepteur n'a été décrit qu'avec les deux lampes qui le caractérisent, mais on peut les faire suivre de deux ou trois étages à basse fréquence, ou précéder de deux ou trois étages à haute fréquence. Tous ces amplificateurs supplémentaires peuvent d'ailleurs utiliser les mêmes batteries. On a pour les cas ordinaires des résultats suffisants avec l'emploi de quatre lampes.

Primaire de réception. — Pour éviter toute influence mutuelle nuisible, le circuit primaire doit être distinct du « récepteur Abelé ». La capacité et la self induction qui la constituent seront donc montées avec leurs commutateurs de commande, dans une boîte séparée, et placées, autant que possible, à une distance minima de 1 mètre du secondaire. Il est bon de conserver pourtant la possibilité de régler l'un et l'autre appareil simultanément avec l'une et l'autre main.

Une autre façon d'amplifier haute fréquence emploie la liaison par transformateur avec effet de résonance dû à la capacité répartie des enroulements. Pour élargir la bande de fréquence où il y a bonne amplification, on est alors amené à se servir de circuit magnétique en fer au silicium laminé.

Voici la description d'un transformateur haute fréquence

indiqué par une revue américaine et qui semble facile à construire :

Le noyau est constitué par une pile de lames de fer feuilleté le plus mince possible et dont les dimensions sont d'environ 13 mm sur 60, la pile ayant une épaisseur de 13 mm.

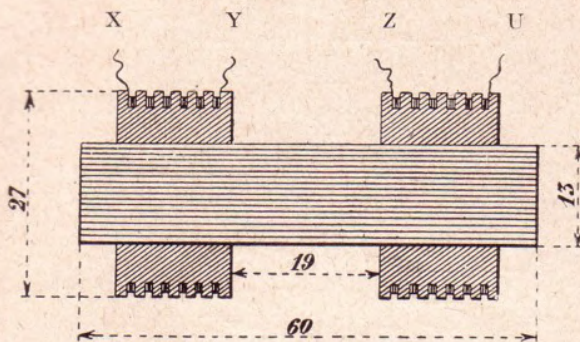


Fig. 37. — Transformateur haute fréquence à fer pour petites longueurs d'ondes.

Deux petites bobines enroulées sur carcasse de bakélite sont fixées sur ce noyau et sont distantes de 19 mm environ; dans chaque bobine, six entailles distantes de 1 mm 5 contiennent chacune 20 tours de fil de 2/10 étamé. Chaque bobine primaire secondaire (X, Y, Z, U) a donc 120 tours; les bornes X, Y, Z, U doivent être branchées respectivement : à la plaque, au pôle X de la batterie plaque, à la grille, au point commun (fig. 37).

On trouvera figure 38 une courbe montrant les variations d'amplification de systèmes analogues avec la fréquence. On voit que l'amplification est surtout notable dans une bande resserrée de fréquences.

D'autre part, les amplificateurs à transformateurs ont aussi l'inconvénient d'entrer facilement en oscillations propres.

Pour empêcher l'amorçage de pareils amplificateurs, trois systèmes ont été employés : le potentiomètre de grille permet en rendant la grille positive d'empêcher toute oscillation, mais c'est naturellement aux dépens de l'amplification et il ne faut pas déplacer de façon anormale le point de fonctionnement sur la caractéristique des lampes. On peut faire varier le chauff-

fage; on peut créer un couplage de sens contraire à celui qui tendrait à provoquer l'amorçage.

On peut remarquer que, bien souvent, quand des précautions spéciales ne sont pas prises, les transformateurs haute fré-

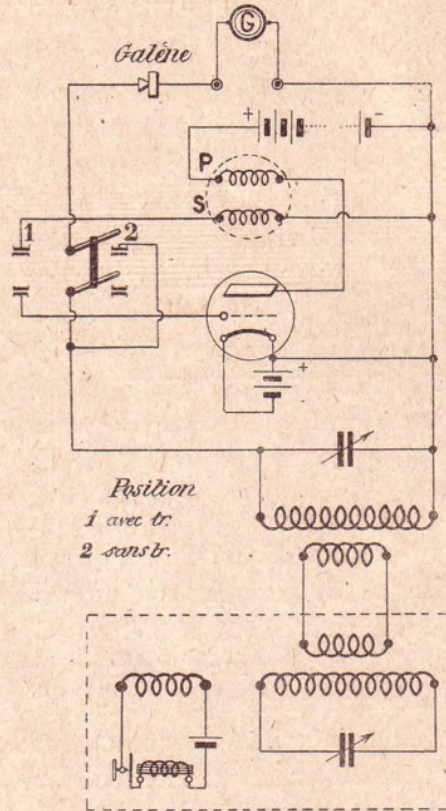


Fig. 38. — Méthode de comparaison rapide des amplifications obtenues avec les transformateurs haute fréquence et de la valeur de l'amplification selon la fréquence.

quence agissent aux très hautes fréquences, plus par capacité entre enroulements que par induction. On peut même parfois déconnecter l'extrémité du secondaire sans cesser d'entendre.

Aussi a-t-on songé à garder le principe de la liaison par résistance-capacité, mais en intercalant sur la plaque une réactance ou une impédance accordée. Ce dernier système a l'inconvé-

nient de nécessiter un réglage pour chaque longueur d'onde, ce qui, avec plusieurs étages, devient presque impossible. Le sys-

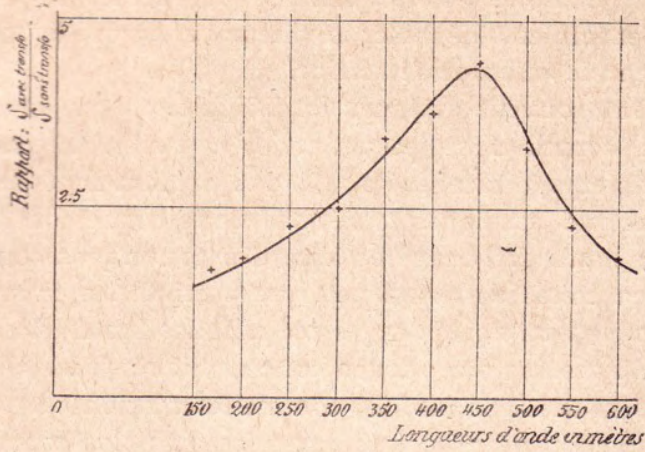


Fig. 38 bis. — Amplification par transformateur haute fréquence.

tème réactance capacité présente des caractéristiques assez analogues au système de liaison par transformateur; il a une fréquence privilégiée d'amplification, celle pour laquelle la réactance est accordée. Pour élargir la gamme, on emploie ici encore un noyau de fer qui, dans certains cas, est déplaçable et constitue un réglage ingénieux.

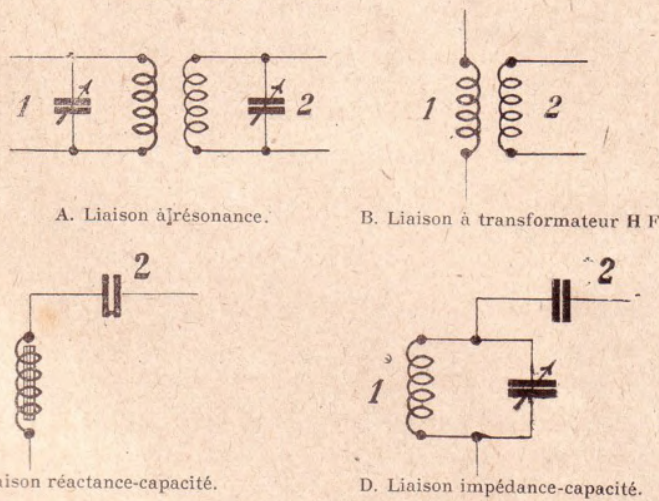


Fig. 39. — Modes de liaison pour amplificateurs haute fréquence d'une plaque de lampe à la grille de la suivante.

Malgré les difficultés rencontrées dans l'usage de l'amplification aux ondes courtes, on peut dire que cette amplification est possible et nécessaire pour amener les signaux éloignés et faibles à dépasser la valeur qui assure le bon fonctionnement de la lampe détectrice.

On peut souvent atténuer la difficulté en employant les lampes à cornes, dans lesquelles les capacités internes sont considérablement diminuées. Il faut évidemment respecter ici et plus que jamais les conditions d'une bonne construction pour très haute fréquence et faire des connexions courtes et droites, en emmêlant aussi peu que possible les circuits. On peut essayer l'emploi de cages métalliques protectrices séparant les étages, mais ce moyen est compliqué. Quelques tours de mains réussissent parfois, comme la création de potentiel déterminé en certains points par mise au point commun; il y a place dans ce domaine pour l'ingéniosité.

CHAPITRE V

EMPLOI DE LA RÉACTION

Nous venons de voir à quelles difficultés on se heurte quand on veut se servir de la lampe comme relais amplificateur surtout lorsqu'on désire s'assurer beaucoup d'étages d'amplification. Il y a une façon d'obtenir une grosse amplification avec moins de lampes en ramenant du circuit d'utilisation au circuit d'entrée une certaine portion de l'énergie dans des conditions telles que cette énergie renvoyée sur le circuit d'entrée augmente l'énergie incidente et passe à nouveau dans le relais en étant amplifiée; c'est ce qu'on appelle faire usage de réaction.

Considérons le circuit oscillant dans lequel vient agir la tension haute fréquence reçue. Ce circuit oscillant possède une fréquence d'oscillation propre, déterminée par les valeurs de self et de capacité qui le constituent. Si une excitation instantanée extérieure est appliquée à ce circuit, il se met en vibration selon sa fréquence propre; c'est ce qu'on appelle l'oscillation libre du circuit; cette oscillation s'amortit peu à peu si de nouvelles excitations ne viennent pas en provoquer à nouveau la naissance.

Ainsi, quand une tension alternative vient exciter un circuit oscillant, deux oscillations prennent naissance; l'une, l'oscillation forcée, a la même fréquence que la force électromotrice incidente; l'autre, l'oscillation libre a la fréquence propre du circuit.

La première dure autant que dure la force électromotrice appliquée au circuit; la seconde s'éteint rapidement. Si l'on accorde les constantes du circuit, self et capacité, de façon que ce circuit ait juste la fréquence de la force électromotrice

imposée, les oscillations libre et forcée ont une amplitude maxima. Ce cas est le cas général dans les circuits de réception radiotélégraphiques où on accorde toujours les circuits. A ce moment-là, le circuit récepteur se comporte comme une résistance pure et si E est la force électromotrice induite, le courant obtenu est $\frac{E}{R}$. L'oscillation libre décroît presque instantanément à zéro. On voit que dans ce cas c'est l'oscillation forcée qui est la chose essentielle et qu'elle a une amplitude d'autant plus grande que la résistance du circuit est plus petite. Quand la résistance devient presque nulle, le courant induit est énorme et pour une résistance qui serait nulle, la suppression de la force électromotrice appliquée n'empêcherait pas le courant circulant dans le circuit de continuer indéfiniment, puisqu'il n'existerait dans ce circuit aucune cause capable de faire disparaître l'énergie. Quand, dans une lampe réceptrice, uniquement détectrice et amplificatrice, on applique au circuit d'entrée une force électromotrice, ce circuit étant accordé, l'amplitude du courant circulant dans ce circuit d'entrée est limitée par la résistance du circuit. Si dans le circuit plaque, on intercale une self pouvant être couplée avec la self du circuit oscillant, on peut faire repasser dans ce circuit oscillant par induction une certaine quantité d'énergie. Cette quantité d'énergie va contrebalancer l'effet d'amortissement dû à la résistance du circuit. Si E' est la force électromotrice induite par ce couplage en retour, le courant circulant dans le circuit devient $\frac{E + E'}{R}$; on peut aussi dire que tout se passe comme si la résistance apparente du circuit était devenue moindre. En forçant le couplage de la self de réaction, cette résistance apparente peut même devenir nulle. A ce moment-là, une oscillation libre engendrée dans le circuit continue indéfiniment. Cette oscillation peut être causée par un signal extérieur, mais elle peut aussi être provoquée par la moindre variation de courant de chauffage ou de tension-plaque et la lampe se mettra à entretenir des oscillations intérieures qui paralysent son action amplificatrice.

Il y a donc un couplage limite au delà duquel on ne peut pas pousser la réaction dans les montages ordinaires.

Mais en se tenant en deçà de ce couplage limite, on obtient évidemment une amplification considérable. Ce couplage, dont nous venons d'expliquer la production par induction, peut être produit par différents moyens : emploi d'une capacité, emploi d'une autre lampe. Ces moyens doivent permettre le retour de l'énergie du circuit d'utilisation au circuit d'entrée avec une relation convenable de phase. Sans cela, la résistance du circuit récepteur augmente au lieu de diminuer. Cet effet d'amortissement peut être employé pour augmenter la stabilité dans les amplificateurs à transformateurs ayant tendance aux oscillations propres. Pour la même raison de concordance de phase, si l'on veut faire un couplage par résistance, il faut employer deux lampes.

Nous avons vu aussi qu'aux très hautes fréquences dont nous étudions l'emploi, la capacité entre plaque et grille est souvent suffisante pour provoquer l'amorçage des oscillations.

On emploie souvent des couplages entre grille et plaque qui sont complexes, à la fois magnétiques et électriques, par exemple. Les montages employés sont nombreux, mais ne sont souvent que des variantes d'un type commun ; nous citerons comme s'appliquant aisément à la réception des petites longueurs d'onde les montages suivants :

Montage genre hétérodyne à alimentation en dérivation.

Ce montage simple, et qui, conjugué avec une lampe de couplage en avant, et deux lampes B. F. derrière, donne de bons résultats dans la gamme des ondes courtes, est schématisé ci-contre. Le circuit oscillant pourra être constitué par une quarantaine de spires d'un fil divisé ayant chaque brin 3/10 de mm (isolement de chaque brin, une couche soie, section totale de cuivre 1 mm² environ). Ce fil donne de bons résultats, même lorsque, dans le cas présent, on bobine à spires jointives. La carcasse d'ébonite, aussi mince que possible, aura 70 mm de diamètre. La capacité totale du condensateur

vaudra $0,25 \cdot 10^{-3}$ microfarads pour la gamme des ondes d'amateur (150-250 mètres).

L'entretien est obtenu par une capacité de réaction, qu'il y a avantage à pouvoir régler, et dont la valeur totale pourra être prise égale à $0,2 \cdot 10^{-3}$ microfarad. On réglera la prise B au mieux, en l'éloignant le plus possible de A, de façon à trans-

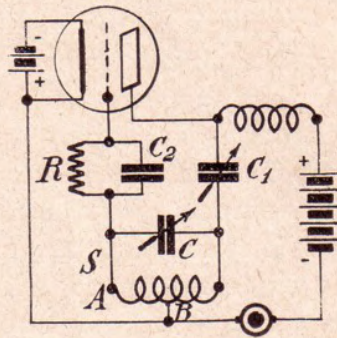


Fig. 40. — Montage genre hétérodyne avec alimentation en dérivation.

mettre entre grille et filament la plus grande tension alternative que l'on pourra. Une self empêche le retour de la haute-fréquence vers la batterie-plaque (300 spires de fil isolé 4/10 enroulé en fond de panier, par exemple). Le condensateur shunté (C_2 et R) fait fonctionner la lampe en détectrice : on pourra avantageusement étudier les valeurs optima, compatibles avec l'obtention de l'entretien sur toute la gamme (à l'entour de $0,1 \cdot 10^{-3}$ microfarad pour C_2 et de 4Ω pour R) (fig. 40).

Montage Reinartz.

Nous avons vu qu'une longue antenne horizontale était d'un bon usage pour la réception des ondes courtes. D'une façon générale, on peut se servir d'antennes désaccordées qui fonctionnent pour ainsi dire apériodiquement, et compensent la perte d'énergie dû au défaut d'accord, par le gain dû à leurs grandes dimensions géométriques.

Un amateur américain (Reinartz) a donné un schéma de montage qui s'adapte bien à ce mode de réception, sans que cela lui soit particulier. Le fait de ne pas accorder l'antenne

simplifie beaucoup les réglages qui se réduisent à la manœuvre du condensateur et de la self de réaction, et à l'accord du circuit-grille.

La figure 42 donne les éléments nécessaires pour la cons-

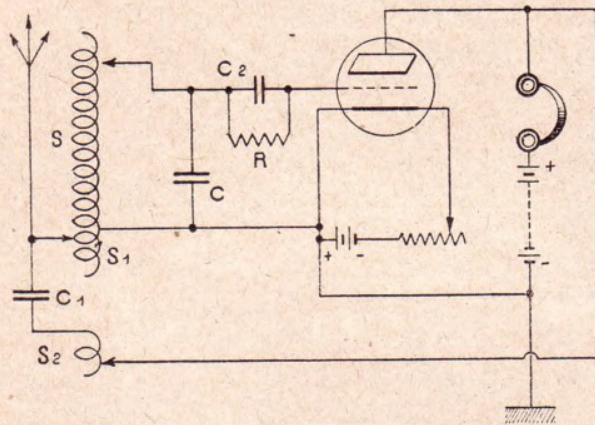


Fig. 41.

truction d'un tel récepteur soit avec des selfs en spirale, soit avec des selfs sur carcasse cylindrique. Les nombres indiqués ne doivent, bien entendu, pas être considérés comme rigoureux ⁽¹⁾.

Une particularité intéressante est la possibilité de bobiner toutes les selfs sur la même carcasse, ce qui permet un encombrement très réduit.

Le Reinartz peut être précédé d'un étage d'amplification

(1) L'influence de de la main de l'opérateur, assez sensible, est évitée par l'interposition derrière la plaque d'ébonite qui forme le devant du poste, d'une feuille d'étain.

L'alimentation en dérivation prohibe l'emploi d'un condensateur shuntant le téléphone, qui livrerait passage à la haute fréquence. Il faut même souvent renforcer l'impédance du téléphone par une self supplémentaire. Il faut prendre bien garde de respecter les polarités indiquées.

Pour établir un poste pouvant servir de 140 à 300 mètres environ, on pourra partir des valeurs suivantes : C et C₁ seront de 0,5 millième de microfarad et seront disposés de chaque côté d'une bobine sur laquelle seront enroulées successivement, dans le même sens, les trois selfs S₂, S₁, S de plaque, d'antenne et de grille. Sur une carcasse de 8,5 cm de diamètre, on enroulera pour S₂ 30 spires avec prises de 10 en 10 ; pour S₁ avec prises de 2 en 2 jusqu'à la 5^e, puis de 1 en 1, 10 spires ; pour S, 36 spires avec prises à la 24^e et 30^e ; soient en tout 76 tours d'un fil de 4/10 de millimètre de diamètre.

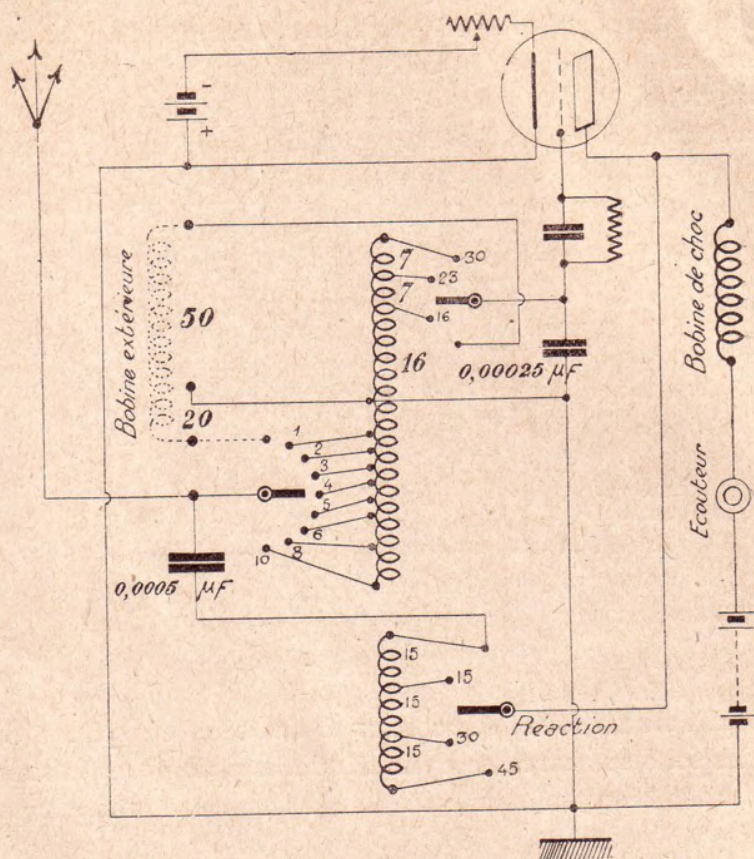


Fig. 42. — Schéma de montage d'un récepteur Reinartz.
Les nombres inscrits sur la figure donnent les nombres de spires; l'enroulement des selfs est en spirale et doit être très soigné. On voit aussi comment on peut ajouter au récepteur une bobine extérieure permettant la réception de longueurs d'ondes plus grandes.

haute fréquence et d'une amplification basse fréquence, en prenant les précautions indiquées ci-dessus.

Montage à lampes symétriques (M. Mesny).

Le montage de M. Mesny s'adapte particulièrement bien aux très courtes longueurs d'ondes. Le système se compose comme à l'émission de deux lampes dont les plaques et les grilles sont réunies par les selfs couplées entre elles. Sur les selfs-grille un condensateur variable est monté en parallèle. L'antenne est connectée à la grille de l'une des lampes, la terre-

est connectée à l'autre lampe, à travers un condensateur variable. Le milieu de la self-grille est réunie à la source de chauffage, celui de la self-plaque également, à travers la batterie haute-tension. En faisant varier le chauffage, on peut

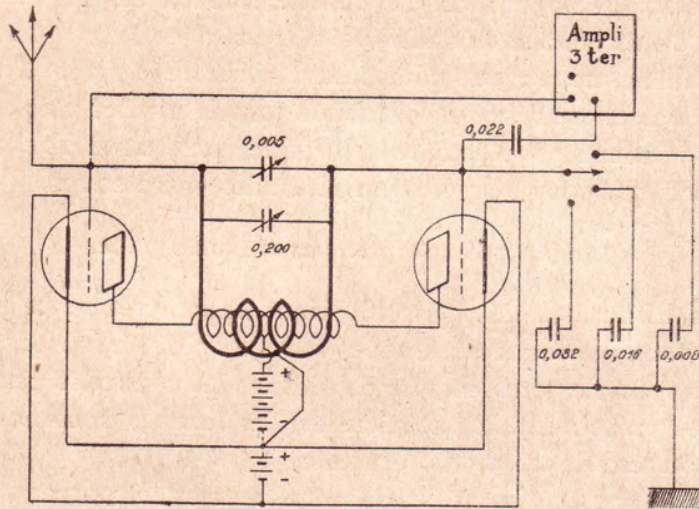


Fig. 43.

provoquer des oscillations dans le système, ou les éteindre à volonté. On ajoute à ce système un amplificateur du type 3 ter (fig. 43).

Montage sans tension plaque.

M. Borderes a expérimenté avec succès des montages où il

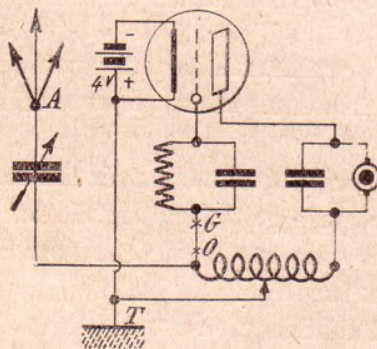


Fig. 44. — Montage sans tension plaque.

ne se sert que des accumulateurs de chauffage, sans aucune tension plaque.

On en trouvera un exemple ci-contre. La lampe réceptrice est détectrice, grâce à l'emploi d'un condensateur shunté; comme nous l'avons indiqué précédemment, mais à plus forte raison, la résistance de shunt doit être réglée (de 2Ω à $60\,000 \omega$) selon la fréquence reçue pour se tenir près de la limite d'accrochage. La self de réaction branchée dans le circuit plaque doit être fortement couplée à la self grille, surtout si l'on désire l'accrochage, pour la réception des ondes entretenues.

Lampes spéciales; lampes à double grille.

Les difficultés de l'amplification haute fréquence pourraient sans doute être atténuées par l'emploi de lampes construites spécialement, en vue de réduire les capacités parasites qu'elles présentent. En particulier, les lampes à cornes donnent souvent de très bons résultats.

Les lampes à double grille sont à essayer, parce qu'elles

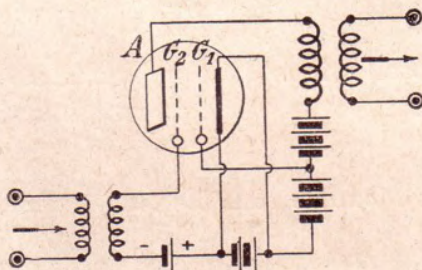


Fig. 45. — Montage à lampe à double grille.

permettent une amplification plus grande avec une seule lampe, ou pour les mêmes résultats, une alimentation à moins haut potentiel.

Deux modes d'emploi ont été préconisés. Dans le premier, la première grille est la grille qui sert de soupape; la deuxième grille aide à l'action de la plaque et sa puissance augmente le pouvoir amplificateur (fig. 45).

Dans le second montage, c'est la deuxième grille qui fait soupape, et fonctionne avec l'anode à la manière ordinaire; la

première grille provoque de la part du filament le courant de saturation (10 v environ sur grille). Ce montage, très à recom-

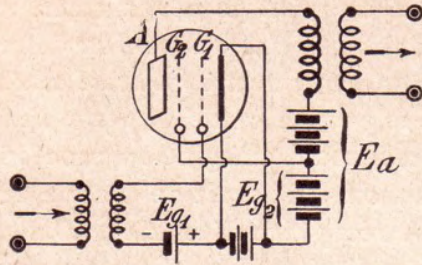


Fig. 46. — Montage à lampe à double grille.

mander, a deux avantages : la tension plaque peut être très peu élevée; la résistance externe plaque filament est basse, d'où un gros avantage pour les ondes courtes.

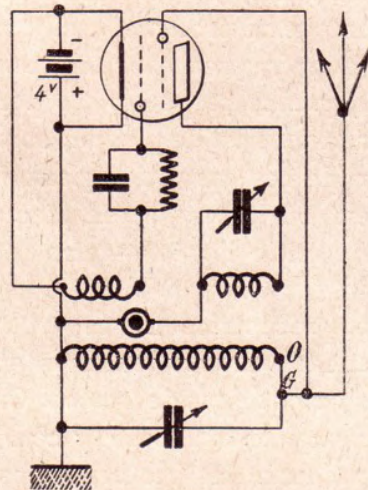


Fig. 47. — Montage double grille sans tension plaque.

On peut, à fortiori, réaliser un montage sans tension plaque avec lampes à double grille (fig. 47).

Montages Armstrong dits à super-réaction.

Nous venons de voir qu'un excellent moyen d'amplification consistait à faire réagir le circuit de plaque sur le circuit de grille, de façon à compenser l'amortissement dû à la résis-

tance du circuit oscillant. Cette compensation a cependant, dans les montages à réaction, une limite : dès que l'amortissement est compensé au point de devenir nul, la moindre perturbation met en branle une oscillation libre du récepteur, qui persiste indéfiniment, même la cause extérieure cessante, puisqu'il n'y a plus aucune cause de perte d'énergie.

Armstrong a cependant imaginé un procédé qui permet de produire une réaction du circuit de plaque sur le circuit de grille d'une lampe réceptrice-déectrice, plus grande que celle qui correspond à la limite d'entretien, sans cependant que le système puisse se mettre à osciller librement.

Si nous voulons, par exemple, recevoir une longueur d'onde de 300 mètres (1 million d'oscillations à la seconde), nous monterons une lampe dont nous ferons réagir le circuit plaque sur le circuit grille, au delà de la limite d'entretien; mais grâce à un montage hétérodyne, oscillant à une fréquence un peu supérieure aux fréquences audibles, mais très basse par rapport à la fréquence reçue (10.000 par exemple), nous allons agir, soit sur la tension de plaque, soit sur la tension de grille : dans chacun de ces cas, en réglant le système, nous pouvons, au moment où la tension de plaque est abaissée — ou bien la tension de grille élevée — faire décrocher les oscillations.

Ainsi, la lampe réceptrice ne se trouve être en état d'oscillation que pendant de très courts intervalles de temps, dont le nombre par seconde est de 10.000. Or, une oscillation ne s'amorce pas sans cause extérieure : ce sont les signaux à recevoir qui vont produire les perturbations nécessaires à la mise en oscillation. Ces oscillations locales sont d'autant plus intenses, que les oscillations incidentes le sont aussi; elles ne peuvent se perpétuer du fait de l'amortissement périodique apporté par l'hétérodyne auxiliaire. Par suite, après détection, on obtient un courant moyen dont l'intensité suit les variations d'intensité des signaux incidents, et on obtient ainsi une réception très amplifiée.

Le procédé est évidemment meilleur pour les ondes courtes, puisque dans chaque intervalle où la lampe peut osciller, il

est alors reçu un plus grand nombre d'oscillations et l'amplitude de l'oscillation libre peut acquérir une plus grande valeur. Ce procédé permet alors une amplification beaucoup

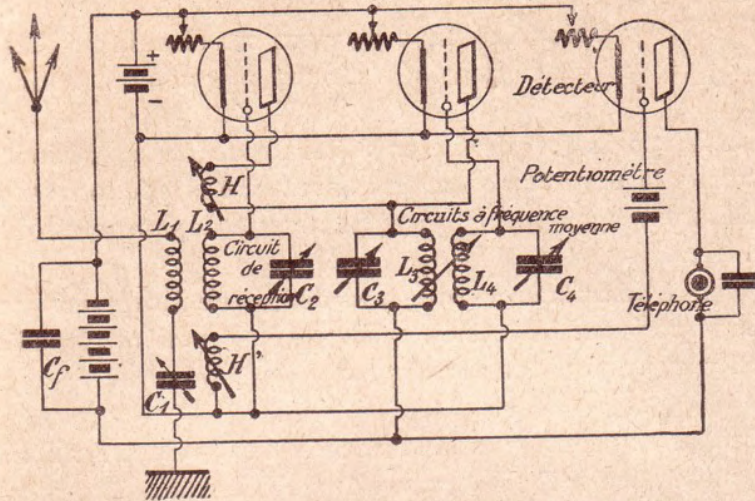


Fig. 48. — Super-réaction. Variation de la tension plaque.

plus intense qu'avec la simple réaction. Toutefois, le réglage en est assez délicat. Il est difficile d'éliminer les sifflements parasites et d'obtenir à la fois fort et net. La détection s'opère

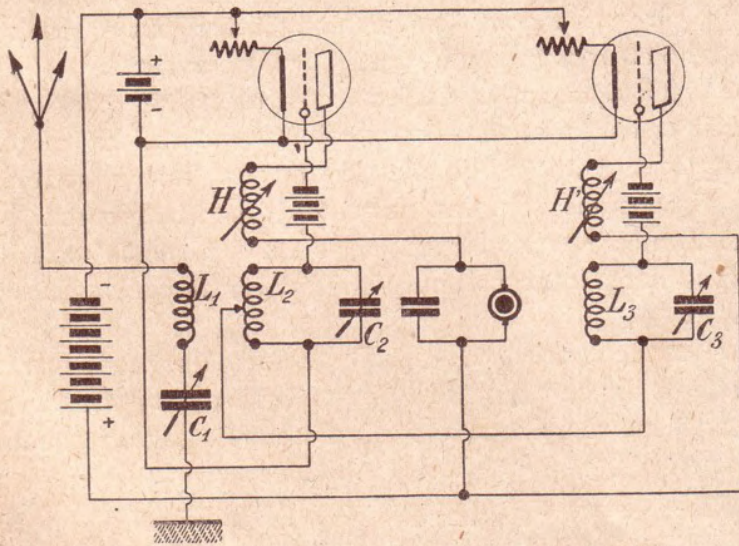


Fig. 49. — Super-réaction. Variation de la tension grille.

généralement par réglage du point de fonctionnement grille, qu'il ne faut pas négliger.

Les deux procédés de super-réaction les plus simples sont représentés ci-contre :

Dans le premier, la lampe I a dans son circuit grille le circuit de réception, et dans son circuit plaque une bobine de réaction.

La lampe II fonctionne en hétérodyne 10.000 périodes et fait varier la tension plaque de la première lampe, provoquant des désamorçages périodiques. La troisième lampe est détectrice (fig. 48).

Dans le deuxième montage, la deuxième lampe fait varier à 10.000 périodes la tension grille de la première, montée en réaction et aussi détectrice (fig. 49).

Pendant sa conférence à la Société des Amis de la T. S. F., le 14 novembre 1922, M. Armstrong a fait une démonstration des effets de la super-réaction. Il a utilisé pour cela le montage ci-contre étudié pour des tubes français, et sur lequel nous avons indiqué les valeurs des différents éléments utilisés. Le cadre carré de 1 m de côté avait cinq spires au pas de 10 millimètres; les bobines de réaction L_1 et L_2 étaient des bobines en fond de panier dont les diamètres intérieurs et extérieurs valaient 6 et 10 cm pour L_1 , 5 et 7,5 cm pour L_2 .

Les selfs L_3 , L_4 et L_5 étaient constituées avec des galettes paraffinées de trois cents tours, ayant une self de 6 à 7 millihenrys par unité; ces galettes se trouvent dans le commerce, leurs dimensions sont les suivantes : petit diamètre 4 cm, grand diamètre 8 cm 7, épaisseur 0 cm 3, fil de 30/100. On les juxtapose avec interposition d'une feuille de carton mince ou de papier.

Les condensateurs C_1 , C_2 , C_3 étaient des condensateurs variables à air de 2,5 m μ F. Quand les réglages ont été effectués, on peut remplacer le condensateur C_2 par un condensateur fixe.

En principe, il n'y a aucun couplage entre les selfs L_3 , L_4 , L_5 . On peut, d'autre part, modifier leurs valeurs dans d'assez

larges limites à condition de changer en même temps celles des condensateurs C_2 et C_3 de façon à conserver une fréquence de variation à peu près constante (fig. 50).

M. Armstrong a conseillé aux amateurs qui voudraient essayer son montage, de commencer par placer le téléphone

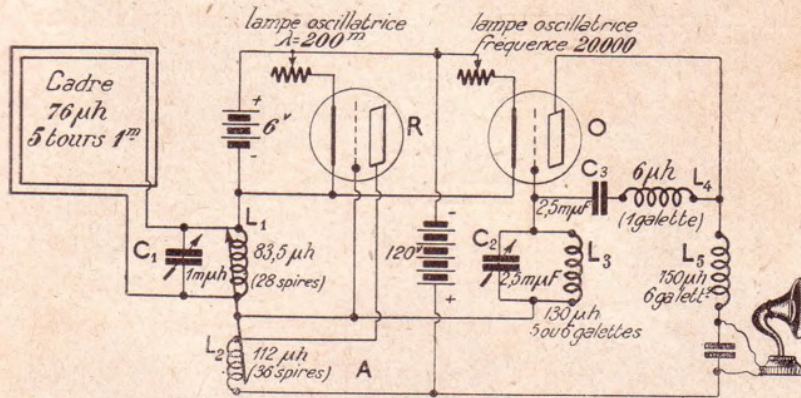


Fig. 50. — Montage à super-réaction. Réalisation pratique.

en A dans le circuit-plaque du tube R et de ne l'introduire à la place qu'il occupe sur le schéma, que quand ils auront obtenu un bon réglage dans cette première position. La mise au point de ce montage exige d'ailleurs une certaine habileté et les amateurs peu expérimentés devront plutôt employer les dispositifs dans lesquels on ne produit de variation que sur une seule des résistances positive ou négative.

Enfin, on peut réaliser des montages à une seule lampe. Nous empruntons à M. David (*Onde Électrique*, avril 1923) d'intéressants détails sur un tel montage.

Voici de bonnes valeurs pour recevoir l'onde de 450 mètres :
Cadre de 1 m 16 tours.

Self l : 250 microhenrys (fond de panier 2×28 spires).

Self l' : 1 200 microhenrys (fond de panier, 2×70 spires).

Selfs LL' : 150 à 200 millihenrys (Γ 500 tours, fil 3/10, diamètre moyen 6 cm.).

nant à la fois l'oscillation à 10 000 périodes et celle à 670 000 périodes. La courbe du potentiel-grille prend la forme indiquée dans la figure 52.

Puis le potentiel-grille s'abaissant toujours sous l'effet de

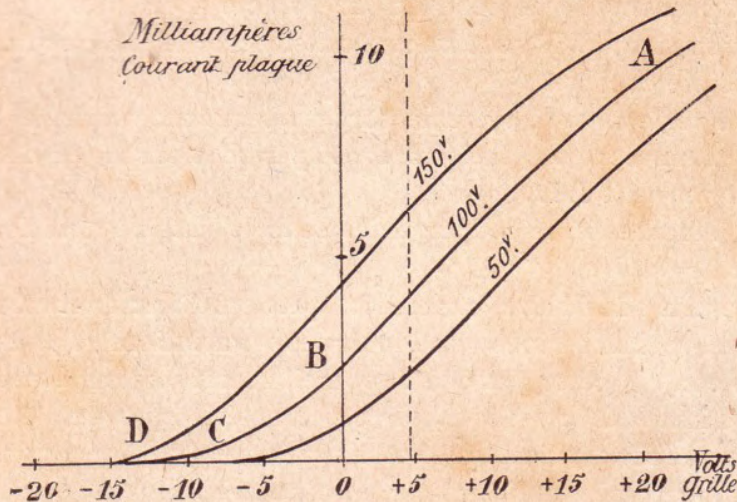


Fig. 52.

l'oscillation à 10 000 périodes, le point représentatif passe dans la partie BC courbée; à ce moment, les variations de courant-plaque ne sont pas proportionnelles à celles de la tension-grille, et il y a détection. Puis le potentiel-grille continuant à

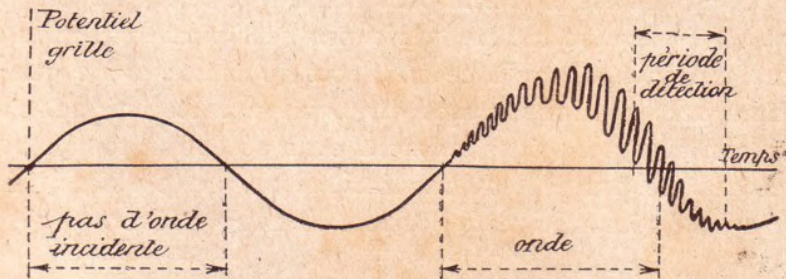


Fig. 53.

baïsser, l'oscillation à 670 000 périodes s'éteint. Tout recommence ensuite.

Mais il n'est pas toujours facile d'obtenir un tel fonctionnement; il faut, en particulier, régler la valeur de la réaction qui permet l'entretien de la haute fréquence, de façon à obte-

nir une valeur de couplage permettant à la lampe de fonctionner dans ce régime instable où, se mettant difficilement en oscillation d'elle-même, elle s'amorce dès qu'elle reçoit une impulsion extérieure. Cette bobine de réaction doit être nettement plus forte que celle qu'on emploie pour une lampe à réaction simple. Il vaut mieux aussi accorder le circuit H F sur faible capacité.

On règle alors le système par les opérations suivantes :

1° Amorcer l'oscillation à 10 000 périodes par le jeu du couplage des selfs $L L'$.

2° Augmenter le couplage des selfs $L L'$ jusqu'à audition du *bruit de friture*.

Ce bruit de friture, caractéristique, est dû aux nombreuses petites perturbations apériodiques (variations de chauffage, etc.). Il cesse dès que l'appareil reçoit une onde entretenue d'intensité constante. Il est caractéristique de l'état de superréaction; s'il ne se produit pas, forcez la réaction; s'il est trop brutal et irréversible, diminuez-la.

3° Modifier le condensateur d'accord, en maintenant, par le jeu des couplages, le bruit caractéristique.

4° La réception obtenue, retoucher le réglage de manière à obtenir l'intensité et la netteté maxima, ou un compromis entre ces deux qualités.

Le réglage est d'autant plus facile que le signal est plus fort. Mais le résultat ne varie pas sensiblement, quand le signal diminue, jusqu'à ce qu'il soit du même ordre que les petites perturbations causes du bruit caractéristique. A ce moment, il se perd dans le bruit, et la réception tombe brusquement. La portée est donc limitée par cette valeur, mais, en deçà, la réception reste possible en haut-parleur.

CHAPITRE VI

PROCÉDÉS DE RÉCEPTION PAR CHANGEMENT DE FREQUENCE

(INTERFÉRENCE, MODULATION)

A. — *Réception des ondes entretenues par interférence avec une oscillation locale.* — Lorsque l'on reçoit des ondes amorties ou de la téléphonie sans fil, le courant moyen détecté par un système récepteur à lampes ordinaire varie à une fréquence comprise dans la gamme des fréquences audibles, et la membrane du téléphone se déplace de façon à donner le son de hauteur caractéristique de l'émission amortie, ou l'émission téléphonique.

A la réception des signaux par ondes entretenues, le courant moyen détecté varie d'intensité à la fin et au début de chaque signal, mais reste constant pendant toute la durée de celui-ci. Le téléphone ne rend aucun son.

On a d'abord reçu les ondes entretenues des postes à arc en coupant périodiquement le courant à la réception à l'aide d'un vibreur connu sous le nom de tikker. Mais on enlevait ainsi beaucoup de sensibilité au récepteur, du fait que l'énergie reçue par l'antenne était mal utilisée.

La lampe a permis de nouveaux moyens de réception de beaucoup supérieurs. Le premier est la réception par interférence. A côté du circuit oscillant de réception, on dispose un petit hétérodyne réglé sur une longueur d'onde voisine de celle qu'on veut recevoir.

Ainsi, on superpose dans le circuit oscillant de réception deux oscillations de fréquences un peu différentes. L'oscillation résultante peut être considérée comme gardant la même fréquence fondamentale que l'oscillation incidente,

mais une amplitude périodiquement variable à une fréquence égale à la différence des fréquences incidente et locale (fig. 54).

Le phénomène d'interférence ainsi obtenu est identique à celui qu'on obtient en acoustique, en faisant vibrer côte à côte deux diapasons de fréquences voisines (phénomène des battements).

Si la différence de fréquence entre les ondes incidente et locale est comprise dans la gamme des fréquences audibles, les signaux émis en ondes entretenues deviennent audibles. La hauteur du son entendu ne dépend que du réglage de l'hété-

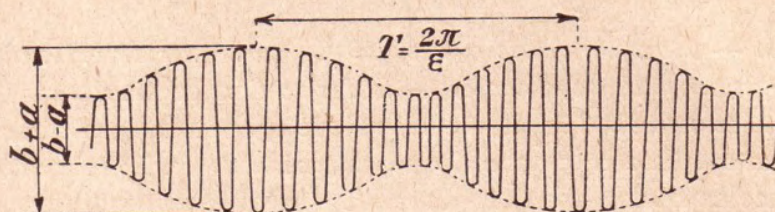


Fig. 54. — Interférences de deux ondes de fréquence voisine.
 ϵ est la différence des pulsations des deux ondes.

rodyne à la réception, et, en aucune façon, de l'émetteur. On règle donc l'émission locale de telle sorte qu'on obtienne la hauteur de son pour laquelle le récepteur téléphonique est le plus sensible, et il est aussi avantageux, en retour, de pouvoir régler ce récepteur par un dispositif faisant varier la distance de la membrane vibrante aux pôles de l'électro-aimant.

Mais nous avons déjà vu (chap. I^{er}) une des grosses difficultés de la réception des ondes courtes par hétérodyne. Pour qu'en effet, l'effet dû à l'interférence soit audible, il faut que la fréquence des battements soit inférieure à 3000, limite d'audibilité. Pour recevoir une onde de 100 mètres, il faut donc que l'écart avec la fréquence locale soit inférieur à 10 centimètres. Ce réglage est difficile à obtenir. Si l'onde incidente ou l'onde locale change tant soit peu de fréquence, on n'entend plus rien. Pour éviter des réglages aussi complexes, il vaut mieux recevoir en faisant osciller le récepteur lui-même, en serrant un peu la réaction, comme nous l'avons expliqué, et dérégulant légèrement le récepteur de façon à ce qu'il n'oscille pas tout à

fait sur la même fréquence que la fréquence incidente. Tous les montages indiqués lors du chapitre V, pour l'emploi de la réaction, peuvent servir avec avantage. Le plus pratique est l'emploi de la lampe en schéma genre hétérodyne, avec alimentation en dérivation. Le désavantage dû à ce que le circuit de réception n'est pas tout à fait accordé n'est pas très grave sur les ondes courtes. La réception se fait aisément, et avec une grande syntonie, car toute émission différant de plus de 5 centimètres de l'onde reçue peut facilement être éliminée (ondes d'amateur de 200 mètres environ).

La réception par interférence a encore le très gros avantage de donner une amplification considérable due à la mise en œuvre de l'énergie dépensée localement.

B. — *Réception de la téléphonie par méthode « homodyne ».* — C'est pour profiter de cette amplification qu'on reçoit parfois les émissions téléphoniques sur un récepteur qui oscille juste à la fréquence des ondes reçues. Mais ce procédé, acceptable pour des ondes un peu longues, est mauvais pour les ondes courtes; le moindre dérèglement fait naître des hurlements; il y a toujours à craindre une grave déformation à la réception.

C. — *Réception par double hétérodyne.* — Mais une méthode très ingénieuse, dont l'idée d'origine est due à M. Lévy, consiste dans l'emploi d'une méthode d'interférence dans laquelle la différence de fréquences, entre l'onde incidente et l'onde locale, au lieu d'être dans la gamme des fréquences audibles, est à une fréquence beaucoup plus basse que l'onde incidente, mais néanmoins hors de la gamme audible.

Supposons que l'on veuille, par exemple, recevoir une onde de 100 à 200 mètres de longueur. On fera des battements à 100 000 périodes par seconde. On détectera et on obtiendra un courant transformé de fréquence 100 000 qu'on pourra amplifier utilement avec les amplificateurs usuels, en particulier les amplificateurs à résistance à étages multiples. Après une nouvelle détection, on pourra amplifier à basse fréquence. Les signaux seront perçus très forts au téléphone.

On profite ainsi d'une amplification intermédiaire encore

a haute fréquence (100 000), mais à fréquence cependant beaucoup plus basse que celle de l'onde reçue (de l'ordre de 1 000 000). Les amplificateurs à résistances restent très sensibles sur la fréquence 100 000, les capacités parasites étant alors peu nuisibles.

La figure 55 représente un récepteur superhétérodyne. La première lampe, détectrice, comporte un circuit oscillant analogue à celui déjà décrit, sur lequel vient aussi agir les

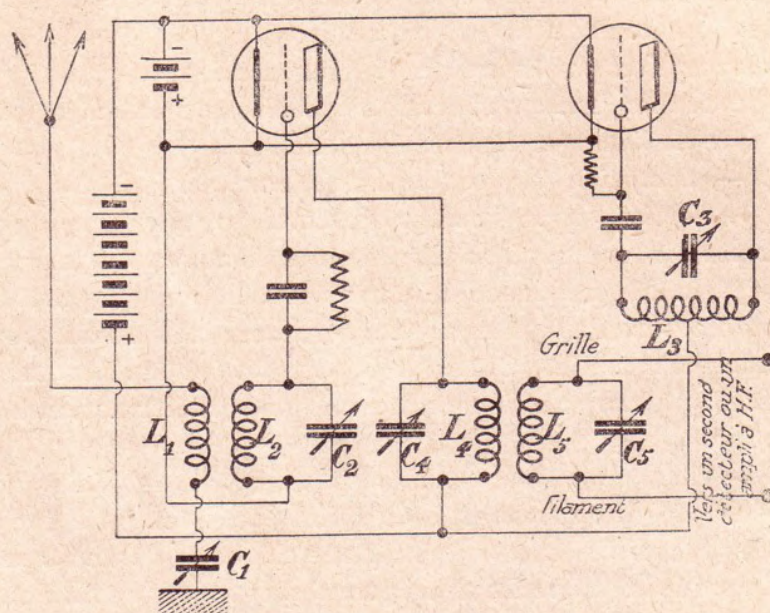


Fig. 55. — Réception par superhétérodyne.

oscillations à haute fréquence d'un oscillateur H. Pour recevoir 200 mètres, H oscillera à 214 mètres.

Un circuit oscillant 2 est réglé à la fréquence 100 000 et agit par induction sur le circuit oscillant 3 de la première lampe d'un amplificateur à haute fréquence, résistance, ou transformateur, de fabrication usuelle, et réglé une fois pour toutes comme s'il s'agissait de recevoir la fréquence 100 000 (3 000 mètres).

Pour recevoir des ondes entretenues avec un tel système, il faut un deuxième hétérodyne réglé près de 3 000 mètres, de

façon à donner des battements audibles. C'est de là qu'est dérivé le nom de double hétérodyne.

D. — *Réception autodyne-hétérodyne.* — Pour recevoir les ondes entretenues, on pourra utilement se servir de la méthode suivante :

Un circuit oscillant récepteur est réglé sur la fréquence incidente. L'accouplement plaque-grille est réglé de telle sorte

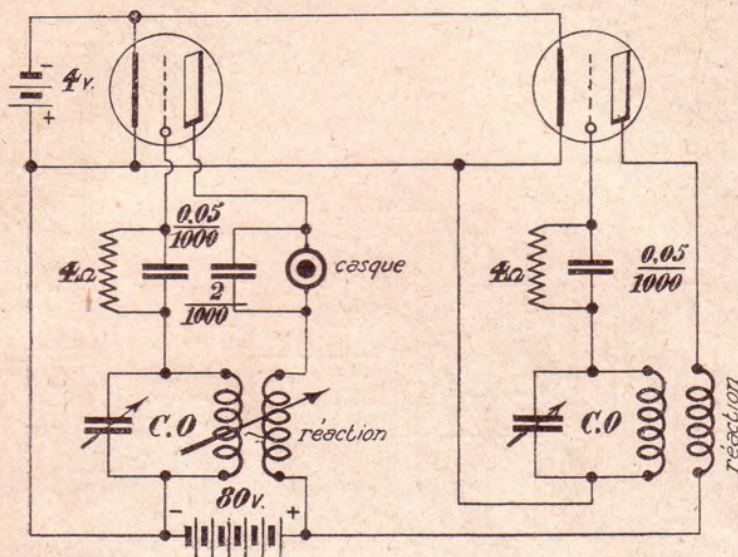


Fig. 56. — Montage autodyne-hétérodyne.

que la lampe soit très proche d'osciller, mais n'oscille pas spontanément. Sur le même circuit oscillant vient agir l'émission d'un hétérodyne voisin dont la longueur d'onde est voisine de celle à recevoir.

On constate que sous l'action des signaux incidents, la lampe autodyne se met à osciller fortement et aussitôt des battements se produisent avec l'émission hétérodyne locale. Ces signaux, si l'on soigne le réglage, sont perçus très intenses et sans déformation (fig. 56).

E. — *Réception des ondes entretenues par modulation* (Jouaust). — Au lieu d'établir entre la plaque et le filament une différence de potentiel constante à l'aide d'une batterie

de piles ou d'accumulateurs, on peut utiliser une différence de potentiel alternative haute fréquence obtenue en réunissant le filament d'une part, la plaque d'autre part, aux deux armatures d'un hétérodyne. La fréquence de ce dernier est réglée à une valeur très voisine de celle des oscillations à recevoir.

Les courants électroniques ne pouvant passer que lorsque

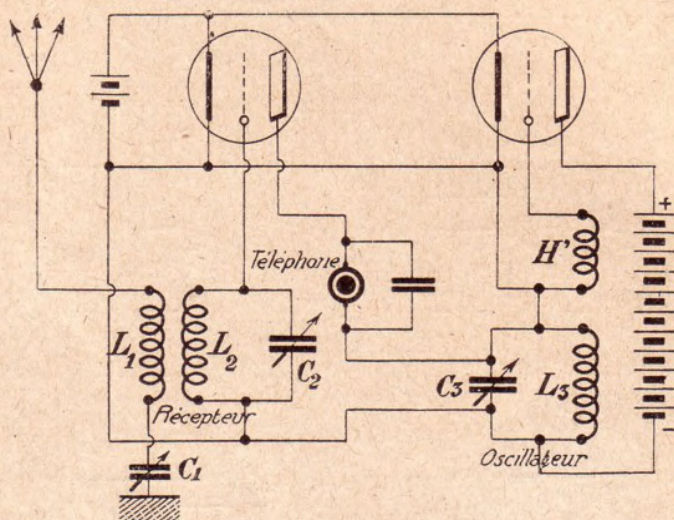


Fig. 57. — Réception par modulation.

la plaque est positive par rapport au filament, le courant ne circule dans le circuit de plaque que lors des alternances positives de la tension de plaque.

C'est un courant redressé, périodique haute fréquence, d'intensité moyenne constante. Le téléphone reste silencieux.

Mais si le circuit récepteur reçoit une onde incidente, le courant plaque va passer avec plus d'intensité quand la grille sera positive, moins d'intensité quand la grille sera négative.

Comme les deux oscillations des potentiels grille et plaque se font à des fréquences voisines, les coïncidences favorables vont se produire périodiquement à basse fréquence. Le courant dans le circuit de plaque va devenir un courant d'amplitude variable à basse fréquence. Le téléphone va rendre un

son dont la hauteur sera égale à la différence des fréquences incidente et locale.

On obtient ainsi un redressement total et par suite une excellente détection.

On comprendra ce qui se passe en imaginant l'écoulement d'un fluide dans un tuyau comportant deux robinets, fermés et ouverts à des fréquences voisines.

On peut appliquer ce mode de détection avec un montage double hétérodyne. Les résultats sont très favorables.

F. — *Modulation d'un oscillateur local.* — Enfin, nous signalerons un moyen d'obtenir de très fortes amplifications à partir de signaux déjà reçus de façon assez intense. Ce

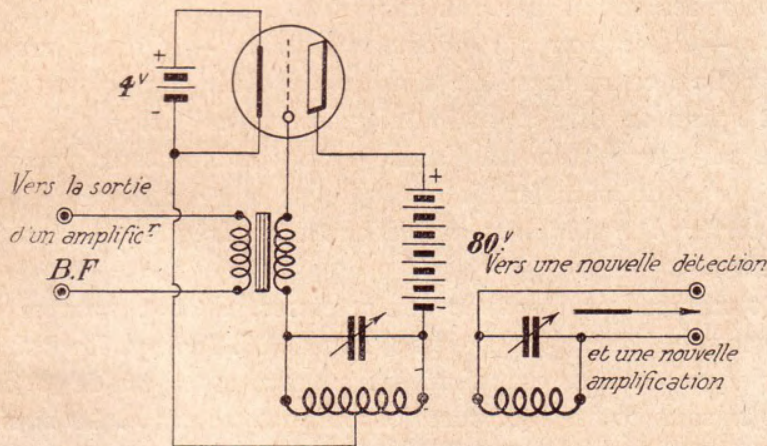


Fig. 58. — Modulation d'un oscillateur local.

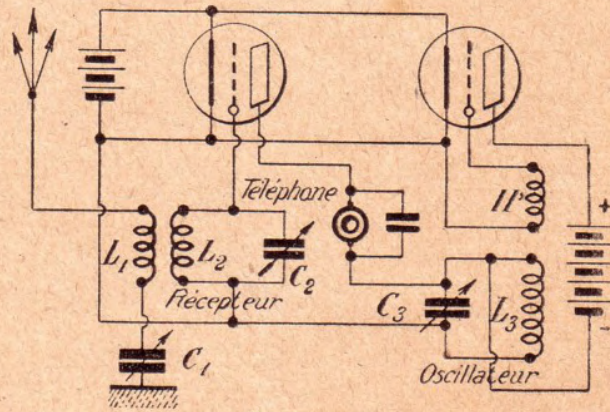
moyen consiste à se servir des signaux obtenus pour moduler un petit émetteur local, réglé à une fréquence usuelle.

Il s'agit, en somme, de faire varier l'amplitude des oscillations de l'émetteur en accord avec les signaux téléphoniques reçus. On peut se servir d'une modulation directe sur grille, ou d'une modulation par lampe faisant résistance grille, ou d'une modulation par lampe en dérivation.

Les signaux modulés peuvent alors être réamplifiés haute fréquence par un amplificateur usuel, résistance ou transformateur et, après détection, réamplifiés basse fréquence.

ERRATUM

La figure 57 de la page 90 doit-être ainsi rectifiée :



LES ONDES COURTES

CHAPITRE VII

RÉCEPTION DES ONDES TRÈS COURTES

Les ondes d'amateur, de l'ordre de 200 mètres, sont loin d'être, comme nous l'avons dit, les plus courtes que l'on puisse produire. Nous allons indiquer quelques procédés de réception d'ondes de l'ordre de 50 mètres.

A. — *Réception sur cadre et galène.* — On pourra se servir d'un cadre carré de 1 m 40 de côté, comportant une seule spire de fil nu 20/10, si possible en brins torsadés. L'accord sera obtenu à l'aide d'un condensateur variable de 0,2/1000 de microfarad.

Derrière la galène, on amplifiera basse fréquence selon les schémas.

Pour recevoir les ondes entretenues, il faut monter un hétérodyne. On emploiera le schéma de M. Mesny. La bobine de plaque comportera neuf spires sur carcasse de 8 cm, fil 10/10 sous coton avec pas d'enroulement 0 cm 4. La bobine de grille aura sept spires sur carcasse de 9 cm; le même fil et le même pas seront employés. Les bobines seront enroulées sur de minces cylindres d'ébonite ou de carton et placées l'une dans l'autre, avec couplage négatif. L'enroulement des spires doit évidemment être soigné, encore plus que pour les ondes de 200 mètres. Les connexions en gros fil nu seront bien droites, séparées et on tâchera d'éviter les effets de capacité, en particulier au voisinage des broches. Le réglage étant extrêmement pointu, puisqu'il suffit d'un écart de quelques centimètres pour ne pas entendre, il faudra manœuvrer le condensateur avec manche d'ébonite et variation très lente.

L'accrochage se fait à l'aide des variations du courant de chauffage obtenu par rhéostat progressif. L'hétérodyne décrit

peut fonctionner de 30 à 110 mètres avec des condensateurs appropriés (commencer par 0,2/1000). Il vaut mieux ne pas employer de condensateurs à diélectrique autre que l'air.

Il est avantageux d'adjoindre à l'hétérodyne un cadre de 1 m 20, une spire; l'hétérodyne accroche encore, mais devient en même temps un récepteur dont l'action, si l'on place le cadre de l'hétérodyne parallèle et à faible distance du cadre récepteur, peut renforcer la réception.

B. — *Réception sur cadre et lampe détectrice.* — L'hétérodyne ainsi constitué peut servir de récepteur autodyne; son emploi exige un bon rhéostat à réglage bien progressif.

C. — *Réception sur antenne.* — On pourra utiliser facilement un montage analogue sur antenne. Celle-ci pourra être constituée par un prisme horizontal de quatre brins de 4 m écartés de 30 cm à 5 m environ au-dessus du sol.

On pourra aussi constituer l'antenne par un simple fil d'une longueur égale à une longueur d'onde et demie, [soit

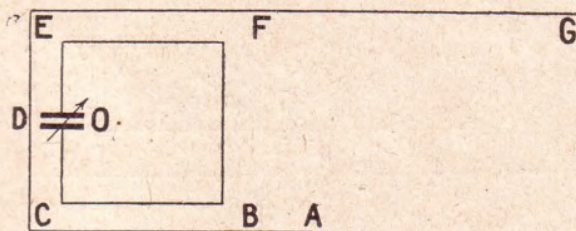


Fig. 59.

$45 + 22,5 = 67$ m 50, pour la longueur d'onde de 45 mètres. Le fil est isolé du sol sur toute sa longueur, et couplé d'une manière aussi serrée que possible avec le cadre récepteur, comme l'indique la figure. On pourra, par exemple, constituer le cadre avec du fil isolé, et le fil d'antenne sera disposé sur la même carcasse, tout contre le fil du cadre, sur la portion BCDEF de ce fil d'antenne : le point D, milieu de cette portion du fil d'antenne couplée avec le cadre, sera à une distance DCBA = 11 m 25 (soit un quart de longueur d'onde) de l'extrémité A du brin d'antenne.

On pourrait aussi essayer de remplacer la portion DCB du brin d'antenne par une bonne prise de terre.

Le cadre récepteur MNPQ sera constitué par une seule spire carrée de 1 m 20 environ de côté, coupée par un condensateur variable O, d'une capacité maximum de 0,2 millième de microfarad. Les deux bornes de ce condensateur sont reliées au téléphone par l'intermédiaire du dispositif de détection et

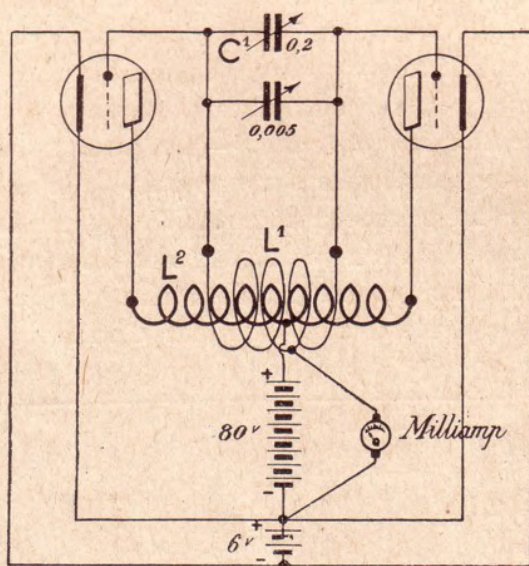


Fig. 60.

d'amplification (on peut employer comme détecteur soit la galène, soit une lampe). On se trouvera dans de bonnes conditions de réception en employant un détecteur à galène, complété par trois étages d'amplification à basse fréquence ou une lampe détectrice et deux étages d'amplification.

D. — *Emploi de la super-réaction.* — Ce que nous avons dit du procédé Armstrong laisse prévoir que son application à la réception des ondes très courtes est tout indiquée. On peut en effet adapter sur un récepteur pour ondes très courtes un montage à super-réaction. Il suffit d'adjoindre une lampe oscillant à la fréquence 10 000 qui vient agir périodiquement sur la tension grille.

CONCLUSION

Nous avons essayé d'indiquer les méthodes les plus modernes et les meilleures pour recevoir et émettre les ondes de 50 à 500 mètres. Nous avons tenu à mettre en lumière les difficultés qu'on rencontre dans cette expérimentation.

Ces difficultés sont déjà en partie vaincues. Nul doute que bientôt de nouveaux perfectionnements surgiront et il n'est peut-être pas paradoxal d'avancer que les nouvelles méthodes étant mises au point, l'amplification sur très haute fréquence deviendra chose aisée, et que peut-être une époque viendra où l'on cherchera à transformer les ondes longues en ondes courtes pour amplifier. Sans doute aussi les ondes courtes trouveront-elles des applications nouvelles et spéciales. Le domaine à explorer est encore vaste, et nul radiotélégraphiste, amateur ou professionnel, ne s'en plaindra.

TABLE

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| INTRODUCTION | 5 |
| CHAPITRE I. — Principales difficultés rencontrées dans l'expérimentation des ondes courtes | 7 |
| CHAPITRE II. — Réalisation des premiers appareils pour ondes courtes (hétérodyne, contrôleur d'onde). | 19 |
| CHAPITRE III. — L'émission des ondes courtes. | 27 |
| CHAPITRE IV. — Réception (antenne et cadre, la lampe en relais amplificateur) | 49 |
| CHAPITRE V. — Emploi de la réaction. | 69 |
| CHAPITRE VI. — Procédés de réception par changement de fréquence (interférence, modulation). | 85 |
| CHAPITRE VII. — Réception des ondes très courtes. | 92 |

Prix : 6 francs.