

Conditions d'utilisation des contenus du Conservatoire numérique

1- [Le Conservatoire numérique](#) communément appelé [le Cnum](#) constitue une base de données, produite par le Conservatoire national des arts et métiers et protégée au sens des articles L341-1 et suivants du code de la propriété intellectuelle. La conception graphique du présent site a été réalisée par Eclydre (www.eclydre.fr).

2- Les contenus accessibles sur le site du Cnum sont majoritairement des reproductions numériques d'œuvres tombées dans le domaine public, provenant des collections patrimoniales imprimées du Cnam.

Leur réutilisation s'inscrit dans le cadre de la loi n° 78-753 du 17 juillet 1978 :

- la réutilisation non commerciale de ces contenus est libre et gratuite dans le respect de la législation en vigueur ; la mention de source doit être maintenue ([Cnum - Conservatoire numérique des Arts et Métiers - http://cnum.cnam.fr](#))
- la réutilisation commerciale de ces contenus doit faire l'objet d'une licence. Est entendue par réutilisation commerciale la revente de contenus sous forme de produits élaborés ou de fourniture de service.

3- Certains documents sont soumis à un régime de réutilisation particulier :

- les reproductions de documents protégés par le droit d'auteur, uniquement consultables dans l'enceinte de la bibliothèque centrale du Cnam. Ces reproductions ne peuvent être réutilisées, sauf dans le cadre de la copie privée, sans l'autorisation préalable du titulaire des droits.

4- Pour obtenir la reproduction numérique d'un document du Cnum en haute définition, contacter [cnum\(at\)cnam.fr](mailto:cnum(at)cnam.fr)

5- L'utilisateur s'engage à respecter les présentes conditions d'utilisation ainsi que la législation en vigueur. En cas de non respect de ces dispositions, il est notamment passible d'une amende prévue par la loi du 17 juillet 1978.

6- Les présentes conditions d'utilisation des contenus du Cnum sont régies par la loi française. En cas de réutilisation prévue dans un autre pays, il appartient à chaque utilisateur de vérifier la conformité de son projet avec le droit de ce pays.

NOTICE BIBLIOGRAPHIQUE

Auteur(s)	Viard, Georges (1887-1933)
Titre	Cours élémentaire pratique de télégraphie sans fil à l'usage du personnel
Adresse	Paris : librairie de l'École spéciale des travaux publics, 1917
Collection	Bibliothèque des annales des postes, télégraphes et téléphones
Collation	1 vol. (pagination multiple [213] p.) : ill. ; 26 cm
Nombre d'images	224
Cote	CNAM-BIB 8 Sar 558
Sujet(s)	Télégraphe -- Appareils et matériel Télégraphie sans fil
Thématique(s)	Technologies de l'information et de la communication
Typologie	Ouvrage
Langue	Français
Date de mise en ligne	21/01/2021
Date de génération du PDF	20/01/2021
Permalien	http://cnum.cnam.fr/redir?8SAR558

BIBLIOTHÈQUE DES ANNALES DES POSTES, TÉLÉGRAPHES & TÉLÉPHONES

ÉCOLE SUPÉRIEURE DES POSTES ET DES TÉLÉGRAPHES

COURS ÉLÉMENTAIRE PRATIQUE

DE

TÉLÉGRAPHIE SANS FIL

à l'usage du personnel

Professeur : M. VIARD
Ingénieur des Postes et Télégraphes

PRIX : 4 FR. 50

PARIS
LIBRAIRIE DE L'ÉCOLE SPÉCIALE DES TRAVAUX PUBLICS
3, RUE THÉNARD, 3

1917
Tous droits réservés



Droits réservés au [Cnam](#) et à ses partenaires

Sar. 558

BIBLIOTHÈQUE DES ANNALES DES POSTES, TÉLÉGRAPHES & TÉLÉPHONES

ÉCOLE SUPÉRIEURE DES POSTES ET DES TÉLÉGRAPHES

COURS ÉLÉMENTAIRE PRATIQUE

DE

TÉLÉGRAPHIE SANS FIL

à l'usage du personnel

Professeur : M. VIARD

Ingénieur des Postes et Télégraphes

PRIX : 4 FR. 50

PARIS

LIBRAIRIE DE L'ÉCOLE SPÉCIALE DES TRAVAUX PUBLICS

3, RUE THÉNARD, 3

1917

Tous droits réservés

Introduction

à

l'Étude de la T. S. F.

Sommaire.

I. - Télégraphie sans fil n'est pas synonyme de Radiotélégraphie:

Tout système qui permet de communiquer sans le secours de fils conducteur est un système de télégraphie sans fil.

La Radiotélégraphie est l'art de communiquer au moyen des ondes électromagnétiques, appelées aussi ondes hertziennes.

II. - Les premiers essais de télégraphie sans fil électrique ne furent pas des essais de Radiotélégraphie.

Les procédés employés furent :

1° Les procédés par conduction, dans lesquels on substitue la terre ou l'eau au conducteur.

2° Les procédés par induction dans lesquels on utilise soit l'induction électrostatique, soit l'induction électromagnétique.

III. - Radiotélégraphie. - Historique du développement de la radiotélégraphie. Résultats obtenus en Radiotélégraphie et Radiotéléphonie.

Télégraphie sans fil et Radiotélégraphie. - Du point de vue matériel tout système qui permet de transmettre la pensée d'un point à un autre au moyen d'un code de signaux sans le secours de fils conducteurs établis entre ces deux points est un

Système de Télégraphie sans fil.

Le premier télégraphe de Chappe était un télégraphe sans fil. Tous les moyens de signalisation acoustiques et optiques constituaient des communications sans fil.

La télégraphie optique est employée notamment en télégraphie militaire et aux colonies où l'atmosphère est très pure ; la signalisation à bras ; la télégraphie acoustique et plus spécialement la télégraphie acoustique sous-marine servent à la navigation.

La Radiotélégraphie est l'art de communiquer au moyen des ondes électromagnétiques. Lorsque des oscillations électriques ou courants alternatifs de très haute fréquence parcourent des antennes, c'est à dire des circuits spécialement disposés pour avoir un bon rayonnement, elles engendrent des ondes électromagnétiques qui se propagent et sont susceptibles d'être décelées à très grande distance. Les antennes sont de véritables radiateurs d'ondes électromagnétiques comme les sources de lumière sont des radiateurs d'ondes lumineuses.

Les termes de Radiotélégraphie et de Télégraphie sans fil ne sont donc pas absolument synonymes ; le premier a un sens moins étendu que le second ; puisqu'il ne s'applique qu'aux modes de communication utilisant les ondes électromagnétiques appelées aussi ondes hertziennes, du nom du physicien Hertz qui les étudia le premier.

Les premières tentatives faites pour télégraphier électriquement sans fil ne furent pas des essais de Radiotélégraphie. Certains méritent d'être mentionnés parce qu'ils donnèrent lieu à des applications pratiques.

Les systèmes essayés peuvent être classés d'après la nature des phénomènes qu'ils font intervenir en :

a) Systèmes par conduction, dans lesquels on substitue la terre ou l'eau aux conducteurs.

b) Systèmes par induction dans lesquels on utilise soit la présence du champ électrostatique au voisinage des conducteurs chargés ; soit la variation du champ électromagnétique au voisinage des circuits parcourus par des courants d'intensité variables.

Système par conduction. — Tout d'abord on a cherché à substituer aux fils employés en télégraphie ordinaire des milieux conducteurs, tels que la terre ou des masses d'eau. Aujourd'hui,

il nous semble tout naturel d'utiliser la terre comme conducteur de retour, il n'en était pas de même à l'origine de la télégraphie et lorsque, en 1838, Steinheil découvrit cette possibilité, elle fit sensation. Après avoir introduit le "retour par la terre" Steinheil se demanda s'il ne serait pas possible de se passer tout à fait de fil et d'établir des communications uniquement par la terre; il fit des essais au cours desquels il constata l'impossibilité d'obtenir ainsi une portée dépassant une quinzaine de mètres et il abandonna son idée.

En 1842, Morse, l'inventeur du télégraphe, eut au cours d'une démonstration du fonctionnement de son nouveau système de télégraphie, l'idée d'utiliser l'eau comme conducteur. Il avait établi à New-York une communication d'environ un kilomètre et demi entre une île et la terre. Il avait posé soigneusement des fils isolés au fond de l'eau. Mais il avait à peine reçu quelques signaux lorsque la communication fut coupée par le passage d'un bateau. C'est alors que pour éviter le retour d'un semblable accident, il songea à se servir de l'eau elle-même, comme conducteur. Quelque temps après, il confirmait expérimentalement ses vues en constituant un circuit comme l'indique la figure 1. Ce circuit comprenait deux fois la traversée de la rivière par simple conductibilité de l'eau. (fig. 1)

Il reçut ainsi du courant dans le galvanomètre G et cela d'autant plus facilement que les plaques étaient plus grandes, il remarqua aussi que la distance des deux plaques situées d'un même côté de la rivière devait être au moins égale à trois fois la largeur de l'eau.

D'autres chercheurs s'engagèrent dans la voie tracée par Morse; ils se servirent soit de la terre, soit de l'eau comme conducteur, mais aucun d'eux ne put atteindre une portée supérieure à 4 ou 5 kilomètres, ce qui empêcha le système de devenir pratique.

Système par induction. — Lorsqu'un conducteur a reçu une charge électrique, l'espace qui l'entoure est occupé par un champ électrostatique; lorsqu'un circuit est parcouru par un courant, l'espace qui l'entoure est occupé par un champ électromagnétique. Ce sont ces champs qui produisent les phénomènes d'induction. Lorsqu'un conducteur est placé dans un champ électrostatique, il prend une certaine charge par induction électrostatique et lorsque

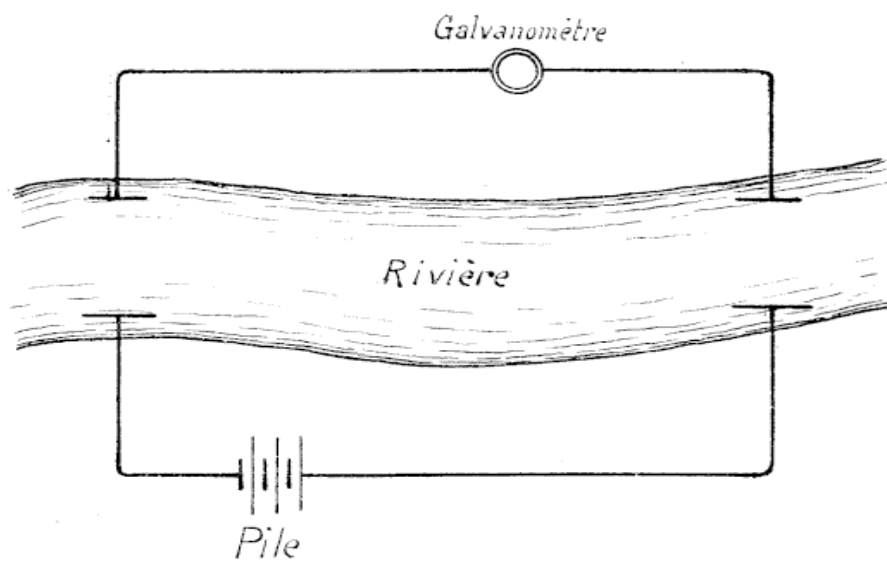


Fig. 1. *Expérience de Morse*

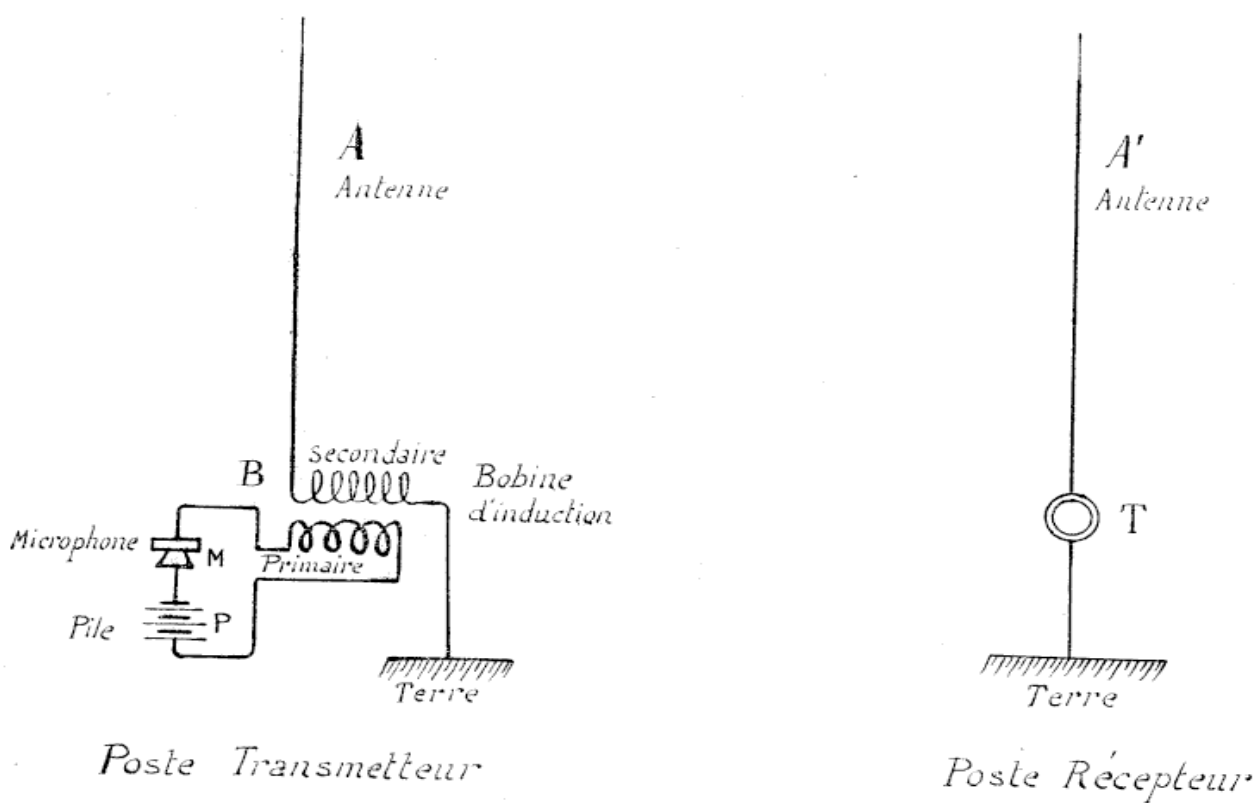


Fig. 2. *Disposition schématique du Système Dolbear.*

Le champ électromagnétique qui traverse un circuit varie, on constate un courant dans ce circuit.

Il est donc tout naturel de chercher à utiliser les phénomènes d'induction pour télégraphier sans fil.

En 1882, Dolbear proposa un système de téléphonie sans fil par induction électrostatique qui est intéressant au point de vue historique parce que sa disposition rappelle celle que Marconi donna plus tard à son système télégraphique. (Voir figure 2).

Au poste transmetteur on monte une pile P et un microphone M en série avec le primaire d'une bobine d'induction B ; tandis qu'une des bornes du secondaire est mise à la terre et l'autre reliée à un long fil vertical isolé A . Le poste récepteur comprend un téléphone T monté, comme l'indique le schéma, en série avec un fil A' identique à A .

En parlant devant le microphone M , on fait varier constamment sa résistance et par suite le courant dans le primaire de la bobine d'induction. Le secondaire charge donc le fil A à des potentiels constamment variables et dont la variation suit la variation de résistance du microphone. Le fil A' qui est dans le champ électrostatique de A prend des charges variables qui dépendent du potentiel de A ; chaque variation de la charge est accompagnée d'un courant qui traverse le téléphone T . On reçoit donc dans le téléphone T les paroles prononcées devant le microphone M .

En remplaçant le microphone M par un manipulateur Morse on pourrait faire de la télégraphie au lieu de téléphonie en appliquant le même principe.

La portée augmente naturellement avec la hauteur des fils A et A' .

En 1885, Edison breveta un dispositif destiné à télégraphier par induction électrostatique avec les trains en marche. Il fut mis en service en 1887 sur le chemin de fer de Schuylkill Valley, le fonctionnement fut satisfaisant au point de vue technique, mais commercialement l'affaire fut malheureuse, car le nouveau mode de communication n'intéressa pas le public.

Le principe du système Edison était le suivant :

Un fil télégraphique posé comme d'ordinaire sur les poteaux plantés le long de la voie ferrée constituait un des conducteurs et une grande plaque métallique montée sur le toit d'une des voitures du train l'autre conducteur. Cette plaque était reliée à une borne du secondaire d'une bobine d'induction dont l'autre borne était mise à la terre par l'intermédiaire de roues et du rail. Le primaire de la bobine

d'induction était relié; soit à une batterie et un manipulateur pour la transmission soit à un récepteur pour la réception.

Lorsqu'on appuie sur le manipulateur, la plaque est chargée à chaque fermeture et à chaque ouverture du circuit primaire de la bobine produite par le trembleur; ces charges en induisent d'autres dans le fil télégraphique sur lequel sont branchés des appareils récepteurs. Deux trains en marche peuvent également communiquer par l'intermédiaire du fil.

En Angleterre Sir W. Preece s'occupa beaucoup de télégraphie par conduction et par induction. Parmi les communications qu'il réalisa, on peut citer celle qui fut établie par induction électromagnétique entre Bristol et Gloucester dont la distance est d'environ 8 kilomètres. Il avait établi sur les deux rives de la Severn des circuits parallèles ayant chacun 20 kilomètres de longueur, dans l'un de ces circuits on faisait passer un courant interrompu d'environ un demi-ampère et on écoutait sur l'autre avec un téléphone.

Bien que ce mode de télégraphie exige l'emploi d'une grande longueur de fil on l'a employé dans certains cas pour relier des points séparés par des obstacles dont on ne voulait pas tenter directement la traversée. En règle générale, la longueur de chacun des circuits précédents doit être au minimum égale à la distance qui sépare les stations ce qui rend le procédé peu économique.

Des transmissions par induction électromagnétique ont été réalisées récemment avec le secours d'amplificateurs téléphoniques. Ces appareils permettent de déceler des courants d'une intensité extrêmement faible. Leur emploi permet de réaliser des communications télégraphiques ou téléphoniques, par induction électromagnétique, de plusieurs kilomètres. On utilise pour la transmission et la réception des cadres de 10 ou 20 spires rectangulaires posés sur le sol, ou de fils d'une cinquantaine de mètres mis à la terre aux deux bouts. Mais; malgré tout, ces systèmes par induction conservent des portées extrêmement limitées en raison de la faiblesse des effets d'induction pour les fréquences relativement basses.

Histoire du développement de la Radiotélégraphie.

Il y a plus de 50 ans que Clerk Maxwell signala pour la première fois dans une communication à la Société Royale (1864) que les impulsions électromagnétiques devaient se propager dans les milieux isolants avec des vitesses dépendant de la constante diélectrique et de la perméabilité magnétique de ce milieu et ébaucha la théorie électromagnétique de la lumière.

Vingt ans plus tard, Fitz Gérald signala que des courants alternatifs de hautes fréquences, et en particulier les décharges oscillantes de bouteilles de Leyde doivent produire la radiation électromagnétique de Maxwell.

Oliver Lodge est arrivé vers cette époque à produire des ondes sur deux fils parallèles. Mais ce n'est qu'en 1888 que Hertz produisit et mit en évidence des ondes électromagnétiques libres apportant ainsi la preuve expérimentale de l'existence des radiations de Maxwell. Ses travaux de Hertz ne sortirent pas du domaine des expériences de laboratoire.

En 1890, M. Branly mit en lumière l'action des ondes électromagnétiques sur la conductibilité des limailles métalliques. Bien que quelques physiciens parmi lesquels on peut citer Varley, D. E. Hughes et Calzecchi-Onesti aient perçu certaines propriétés des limailles, on peut dire que c'est à M. Branly que revient l'honneur d'avoir nettement signalé l'effet des ondes électromagnétiques sur la conductibilité des limailles.

La découverte de Branly fut tout d'abord utilisée par Lodge et Popoff pour l'étude de l'électricité atmosphérique et pour la réception de signaux hertziens à petite distance, puis ensuite par M. Marconi qui, le premier, réalisa en 1896 une communication radiotélégraphique, en reliant Bournemouth et l'île de Wight. En 1899, M. Marconi réussit à traverser le détroit du Pas-de-Calais attirant ainsi l'attention sur le nouveau mode de télégraphie. En 1900, il commença l'installation d'une station à grande portée à Poldhu dont les essais eurent lieu au début de 1901 ; ces essais eurent lieu entre Poldhu et une autre station établie à Poole en Irlande ; ils furent satisfaisants et dès la fin de 1901, M. Marconi s'embarqua pour l'Amérique espérant y recevoir les signaux de Poldhu et vérifier ainsi que les ondes hertziennes peuvent parcourir un arc d'un quart de cercle le long de la surface de la terre, question qui n'était pas encore tranchée à cette époque. En Décembre 1901, M. Marconi avait acquis la certitude qu'il avait entendu à St John (New Found land) les signaux émis par Poldhu. On peut dire qu'à partir de ce moment la radiotélégraphie existait véritablement. Depuis M. Marconi a continué à perfectionner ses premiers dispositifs, il est de beaucoup le savant qui a le plus contribué au développement pratique de la technique

radiotélégraphique. Il serait toutefois injuste de ne pas reconnaître qu'un certain nombre de découvertes importantes ont été faites dans le domaine de la radiotélégraphie, en dehors de lui.

À l'heure actuelle, ce mode de communication est véritablement entré dans la phase des applications pratiques; des services commerciaux à grande distance fonctionnent, faisant concurrence aux câbles transatlantiques entre le Royaume-Uni et l'Amérique, entre l'Allemagne et l'Amérique. Et peu près tous les navires de guerre et de commerce peuvent correspondre entre eux et avec la terre par télégraphie sans fil. On a pu également faire communiquer des trains en marche avec certaines stations et des aéronefs avec la terre.

La Radiotélégraphie permet aussi d'établir des communications entre des stations séparées par des pays déserts où il n'est pas possible d'établir des lignes télégraphiques.

Les distances couvertes actuellement dépassent 6000 Kilomètres et le moment n'est pas loin sans doute, où, triplant ces portées, une station pourra communiquer avec son antipode à une distance de 20.000 Kilomètres établissant ainsi un record définitif de portée.

Enfin, la téléphonie sans fil a fait d'immenses progrès depuis quelques années. À la fin de 1915 des paroles transmises par le poste de Arlington furent entendues à la Tour Eiffel après avoir traversé l'Atlantique.

Généralités.

Généralités.

Sommaire.

Principe de l'Inertie : force, champ de force.

Principe de l'égalité de l'action et de la réaction.

Travail.

Puissance.

Idée de la conservation de l'énergie. — Transmutation de l'énergie : Principe de l'équivalence.

Niveau énergétique et facteur de capacité.

Courants énergétiques ; réversibilité.

Etude du mouvement vibratoire.

Définition. — Période — Fréquence.

Conditions à remplir pour qu'un système soit susceptible de prendre un mouvement vibratoire.

Mouvement aperiodique.

Généralités.

Principe de l'Inertie. — Un corps ne peut de lui-même modifier son état, soit de repos, soit de mouvement.

On appelle force toute cause susceptible de modifier l'état de repos ou de mouvement d'un corps. Les forces s'expriment en kilogrammes-poids et se mesurent avec un dynamomètre.

Un corps en mouvement n'est pas nécessairement soumis à une force ; un corps animé d'une vitesse rectiligne et uniforme, la conserve jusqu'à ce qu'une force vienne modifier son mouvement.

Champ de force. — Un point est situé dans un champ de force lorsqu'un corps placé en un point est soumis à une force. Le champ est dit uniforme lorsque cette force est la même en tous les points du champ. Exemple : le champ de la pesanteur.

Principe de l'Égalité de l'Action et de la réaction.

Si les points d'un système exercent certaines forces sur les points d'un autre système, inversement les points de ce second système exercent sur ceux du premier des actions représentées par des forces égales, mais directement opposées aux premières.

Il ne faut pas perdre de vue ce principe ; on doit toujours se souvenir que, quand un système A agit sur un système B, inversement le système B réagit sur A, la réaction étant égale à l'action.

Par exemple, si un corps matériel est posé sur une table, il exerce dessus une force verticale dirigée vers le bas égale à son poids ; inversement la table réagit et exerce sur le corps une force égale au poids du corps, mais dirigée vers le haut. Si la table n'était pas capable d'exercer cette réaction, elle serait traversée et le corps tomberait.

Lorsqu'on lance une pierre on exerce une force sur cette pierre, mais inversement la pierre exerce sur la main une pression qui est égale et de sens contraire à la force appliquée à la pierre.

Travail. — Lorsqu'une force déplace son point d'application on dit qu'elle travaille ou qu'elle fournit de l'énergie : travail et énergie sont synonymes. Le travail est mesuré par le produit de la force par la longueur du déplacement de son point d'application dans sa direction. En mécanique, on évalue le travail en kilogrammètre. Le kilogrammètre est le travail d'une force égale à 1 kilogramme poids déplaçant dans sa direction son point d'application de 1 mètre.

Puissance. — Une force travaillant régulièrement produit en un temps déterminé un travail constant.

La puissance est le travail fourni par unité de temps c'est à dire par seconde. On l'évalue en kilogrammètre seconde. On utilise aussi une autre unité de puissance : le cheval-vapeur qui correspond à 75 kilogrammètres par seconde.

Il faut distinguer soigneusement le travail et la puissance. Dans la notion de travail ou d'énergie, l'idée de temps n'intervient pas : le temps mis pour fournir le travail considéré peut être absolument quelconque. La puissance est une notion plus complète, puisqu'elle spécifie quel travail ou énergie est fourni par seconde.

Par exemple 15 litres d'eau tombant de 10 mètres produisent un travail de $15 \times 10 = 150$ kilogrammètres.

Au contraire une chute de 10 mètres de hauteur qui débite 15 litres à la seconde, fournit une puissance de $15 \times 10 = 150$ Kilogrammètres-secondes, soit encore $\frac{150}{75} = 2$ chevaux.

Dans le premier cas, nous ne savons rien de temps mis pour fournir le travail de 150 kilogrammètres, cela peut être dans une heure, dans une journée, dans une semaine, nous ne sommes pas fixés; tout ce que nous savons c'est qu'il s'agit d'une énergie globale dont nous disposons une fois pour toutes. Dans le second cas, nous savons que chaque seconde la chute fournit réellement un travail de 150 kilogrammètres; c'est ce que nous exprimons en disant que sa puissance est de 150 kilogrammètres-secondes, ou ce qui revient au même de 2 chevaux.

Valeur de la conservation de l'énergie. — L'étude de la physique a révélé qu'il existe bien des formes de l'énergie, qui peuvent se transformer les uns dans les autres.

Un grand nombre de faits nous apprennent que la chaleur c'est à dire l'énergie thermique peut être transformée en travail, c'est à dire en énergie mécanique, et réciproquement. Le fonctionnement des machines à feu (machines-vapeurs, moteurs à explosion, etc...) est un exemple bien connu de transformation de chaleur en travail. Inversement, le frottement, le martelage, la compression, etc... transforment de l'énergie mécanique en énergie thermique.

L'étude quantitative de ces transformations a montré qu'il existe toujours un même rapport entre l'énergie thermique produite ou détruite et l'énergie mécanique dépensée ou produite.

L'énergie électrique, qui est la forme de l'énergie dont nous aurons le plus à nous occuper, peut être produite en partant du travail mécanique, comme c'est le cas pour un alternateur entraîné par un moteur; en partant de l'énergie thermique comme dans une pile thermo-électrique, ou partant de l'énergie chimique comme dans un élément de pile.

Inversement, l'énergie électrique peut être transformée en chaleur et en lumière dans une lampe à incandescence, en énergie chimique dans un accumulateur, en énergie mécanique dans un moteur électrique ordinaire.

La radiotélégraphie consiste en une transformation de l'énergie électrique en énergie radiante susceptible d'être utilisée à distance. Cette radiation d'énergie consiste en la production d'ondes électromagnétiques.

L'énergie chimique contenue dans les explosifs peut produire des effets calorifiques et mécaniques extrêmement considérables. Les réactions chimiques sont accompagnées de phénomènes thermiques : dégagement de chaleur lorsque le corps formé possède une énergie moindre que les corps composants ou absorption de chaleur dans le cas contraire. L'eau liquide qui est un corps, inerte peut être décomposée par le courant électrique ou la chaleur en hydrogène et oxygène ; le mélange de ces deux gaz constitue l'explosif le plus puissant connu sous un poids donné.

L'énergie lumineuse provoque certaines réactions chimiques.

L'étude des transmutations de toutes les formes d'énergie les unes dans les autres a montré qu'elles s'opèrent toujours selon la loi d'équivalence. Autrement dit, l'énergie ne se détruit pas de même qu'elle ne se crée pas, mais elle change de forme.

Le travail d'une force produit de l'énergie qui peut apparaître sous deux formes mécaniques bien connues : l'énergie cinétique et l'énergie potentielle. Supposons qu'une force agisse sur un corps matériel de masse M , elle le met en mouvement et lui communique une certaine vitesse V . Ce corps possède alors une certaine énergie cinétique ou de mouvement qui a été trouvée égale à $\frac{1}{2} M V^2$; le théorème des forces vives nous apprend précisément que cette énergie est équivalente au travail dépensé par la force. Si, au contraire, une force est appliquée à un ressort, elle commence à le bander, mais à mesure que le ressort se tend la réaction qu'il oppose à la force grandit, à un certain moment, la réaction du ressort devient égale à la force appliquée ; il cesse de se déformer. Ce ressort bandé, abandonné à lui-même est capable de restituer le travail effectué par la force qui a servi à le tendre ; il possède donc une certaine quantité d'énergie emmagasinée à l'état d'énergie de repos ou énergie potentielle.

On a généralisé les notions précédentes et admis à titre de principe qu'à tout état d'un système correspond une énergie que l'on peut regarder comme quelque chose de véritablement existant, susceptible de changer de forme et même passer sur un autre système, mais qui est indestructible.

La considération de l'énergie est très intéressante, elle conduit à une description imagée des phénomènes.

D'après une conception de H. M. M. une quantité d'énergie quelle que soit sa forme peut être représentée par le produit de deux facteurs : le niveau énergétique et le

Facteur de capacité.

Le niveau énergétique jouit de deux propriétés caractéristiques :

1° Il est le même pour tous les points d'un système en équilibre.

2° La réunion de deux systèmes à des niveaux différents donne lieu à un courant énergétique du système au niveau le plus élevé vers le système au niveau le plus bas ; ce courant ne cesse que lorsque les niveaux sont devenus les mêmes.

Ainsi :

a) Deux systèmes peuvent être à des niveaux thermiques, c'est à dire à des températures différentes, si on les réunit, il se produit un courant calorifique allant du corps à la température la plus élevée vers le corps à la température la moins élevée, ce courant produit l'égalisation des températures.

b) Deux conducteurs chargés d'électricité peuvent être à des niveaux électriques, c'est à dire à des potentiels différents ; lorsqu'on les réunit par un fil, il se produit un courant dirigé du conducteur au plus haut potentiel vers le conducteur au plus bas potentiel, ce courant ne cesse que lorsque les potentiels sont devenus égaux.

Entre deux systèmes dont les niveaux énergiques sont les mêmes, il y a équilibre, si on les met en communication, il ne se produit aucun courant et le niveau général reste le même que les niveaux respectifs des deux systèmes. Il faut en conclure que les niveaux énergétiques ne sont pas des quantités additives.

Ainsi la mise en communication de deux systèmes identiques chargés électriquement à des potentiels égaux donne un ensemble dont le potentiel final est égal au potentiel individuel de chacun des conducteurs et non pas à deux fois ce potentiel.

Le sens des courants qui rétablissent l'équilibre ne dépend que des différences de niveau et non pas du second facteur que nous avons appelé facteur de capacité.

Supposons que l'on mette en communication deux réservoirs contenant un liquide quelconque ; l'un d'eux étant de petite capacité et l'autre de grande, et que le niveau du liquide dans le plus petit soit le plus élevé, il se produira un courant hydraulique allant du petit réservoir vers le plus grand, malgré que celui-ci contienne déjà plus de liquide. De même si l'on réunit deux sphères conductrices l'une de grande

capacité chargée à bas potentiel et l'autre de petite capacité chargée à haut potentiel, le courant ira de la petite sphère vers la grosse, même si celle-ci possède déjà une charge supérieure.

Les courants énergétiques qui conduisent à l'égalisation des niveaux énergétiques peuvent être, soit oscillatoires, soit apériodiques, selon les valeurs respectives des coefficients d'inertie et de frottements.

Dans le premier cas, la transformation est dite réversible et dans le second irréversible.

Une transformation qui amène un système d'un état A à un état B est dite réversible, lorsque le système peut revenir de B en A en passant par tous les états intermédiaires qu'il a pris pour aller de A en B et lorsque au retour les gains correspondant à chaque élément intermédiaire sont égaux aux pertes relatives au même élément à l'aller.

La définition précédente est celle de la réversibilité parfaite. Dans la pratique il y a toujours dégradation d'une partie de l'énergie mise en jeu sous forme d'énergie thermique ou d'énergie radiante. Lorsque la quantité d'énergie ainsi dégradée augmente, il arrive un moment à partir duquel le courant cesse d'être oscillatoire ; il devient apériodique et par suite irréversible.

Il y a deux formes d'énergie qui ne donnent jamais de courants énergétiques oscillatoires ; ce sont l'énergie thermique et l'énergie radiante. On a donc été conduit à distinguer les énergies supérieures (énergie mécanique, énergie électrique, énergie chimique) caractérisées par la réversibilité des courants énergétiques auxquels elles donnent lieu et les énergies inférieures ou dégradées (énergie thermique et énergie radiante) caractérisées par le fait que leurs courants énergétiques sont apériodiques, ce qui implique que la retransformation d'une fraction quelconque de l'énergie de ce courant en l'énergie qui l'a engendré est impossible.

Le courant calorifique n'est donc jamais oscillatoire et l'établissement d'un équilibre thermique est toujours apériodique. Il rappelle un mouvement mécanique dans lequel l'inertie est négligeable vis à vis du frottement. Au contraire la matière et l'électricité se comportent comme des substances douées d'inertie.

On trouve l'image à ces deux sortes de courants dans le mouvement des pendules. Lorsque l'inertie est petite par rapport au frottement comme dans le cas d'un pendule qui se meut dans de

la glycérine le mouvement est aperiodique. Lorsque le frottement n'a plus un rôle prépondérant le mouvement est oscillatoire.

Si on met en communication deux réservoirs contenant de l'eau à des niveaux différents, il se produit un courant hydraulique qui ne cesse que quand l'égalité des niveaux est établie. Si le tuyau de communication est gros et court, l'équilibre se rétablit par une série d'oscillations. Lorsqu'on diminue le diamètre du tuyau de communication le frottement du liquide sur les parois grandit et le courant oscillatoire s'éteint plus vite. A partir d'un certain moment le frottement devient suffisant pour que le courant cesse d'être oscillatoire et devienne aperiodique.

De même si nous mettons en communication par un fil conducteur les deux armatures d'un condensateur chargé, c'est à dire d'un condensateur dont les armatures sont à des niveaux électriques c'est à dire à des potentiels différents, il se produit un courant qui ne cesse que quand il y a égalité de potentiel entre les armatures. Si le fil est gros et court, on observe une série d'oscillations ; au contraire si sa résistance est suffisante le courant est aperiodique. Nous aurons l'occasion de revenir sur ce phénomène à propos de la décharge oscillante des condensateurs.

La mécanique céleste est fondée sur le principe de l'inertie : les mouvements qu'elle étudie s'effectuant sans frottement : la réversibilité est donc parfaite.

La thermodynamique, au contraire, est fondée sur le principe de Carnot, elle néglige l'inertie et par suite n'aboutit qu'à des mouvements aperiodiques.

Dans l'étude de la mécanique terrestre, on ne peut en général négliger ni l'inertie, ni le frottement, les mouvements oscillatoires auxquels on aboutit sont amortis lorsque l'inertie joue un rôle prépondérant par rapport au frottement ; on arrive à des mouvements aperiodiques lorsque le frottement l'emporte sur l'inertie. La mécanique céleste et la thermodynamique en sont donc des cas limites.

Le second facteur qui caractérise une quantité d'énergie de forme quelconque est le facteur de capacité.

Les facteurs de capacité sont proportionnels à la masse des systèmes ; ils présentent un caractère additif.

Ainsi lorsqu'on met en communication deux réservoirs dont les niveaux sont les mêmes, le niveau de

l'ensemble reste invariable, mais la quantité totale du liquide contenue dans l'ensemble formé est devenue égale à la somme des quantités relatives à chacun des réservoirs.

De même en réunissant deux conducteurs chargés au même potentiel l'ensemble conserve le potentiel primitif mais possède une charge qui est la somme des charges partielles.

Dans le cas de l'énergie électrique on peut, comme nous le verrons, mesurer facilement le niveau énergétique ou potentiel et le facteur de capacité ou quantité. Le produit de ces deux facteurs représente l'énergie.

Lorsqu'on considère de l'énergie fournie régulièrement qui se transforme en énergie de différentes formes, on peut appliquer au régime permanent le principe de la conservation de la puissance au lieu du principe de la conservation de l'énergie.

Etude du Mouvement vibratoire.

Une oscillation est un déplacement de va et vient. Lorsqu'un corps exécute des oscillations se succédant à des intervalles de temps égaux, on dit qu'il est animé d'un mouvement vibratoire.

Cette définition n'implique pas que les oscillations successives restent identiques à elles-mêmes, mais simplement qu'elles conservent le même caractère. Beaucoup de mouvements vibratoires sont en effet "amortis", c'est à dire que les amplitudes successives deviennent de plus en plus petites, le mouvement cessant au bout d'un certain temps.

La période est le temps que dure une oscillation complète, aller et retour. La fréquence est le nombre des oscillations par seconde.

Si un pendule fait 4 oscillations complètes aller et retour par seconde, la période de son mouvement sera de 0,25 seconde et la fréquence 4. La période et la fréquence sont exprimées par deux nombres dont le produit est toujours égal à 1, comme cela est évident d'après les définitions de ces deux quantités. Ainsi, pour le pendule précédent on a bien :

$$0,25 \times 4 = 1.$$

Les mouvements vibratoires sont très répandus dans la nature: la lumière, la chaleur rayonnante, les ondes

hertziennes sont dus à des mouvements vibratoires de l'éther, sur lesquels nous aurons l'occasion de revenir.

Les sons musicaux sont dus à des mouvements vibratoires. Les battements du cœur, la respiration, les vagues de la mer, les marées, les trépidations des machines sont également des mouvements vibratoires.

Les fréquences de ces diverses vibrations diffèrent tout autant que leur nature. La période des vibrations de l'éther pour la lumière jaune est d'environ un six centième de millionième de seconde, celle des marées ordinaires de 12 heures environ.

La diversité de tous les mouvements vibratoires n'est qu'apparente et ne réside que dans les ordres de grandeurs des différents facteurs qui les caractérisent; les propriétés générales de ces mouvements tiennent à leur nature même et sont communes à tous les mouvements vibratoires.

Le mécanisme des mouvements vibratoires d'un système consiste en une transformation incessante de l'énergie de repos ou énergie potentielle du système en énergie de mouvement ou énergie cinétique ou inversement. Cette transformation s'opérant deux fois par période complète.

Ainsi si l'on abandonne à lui-même un pendule ordinaire écarté de sa position d'équilibre, le travail de la pesanteur est transformé en énergie cinétique pendant le premier quart de période; cette énergie cinétique redonne de l'énergie potentielle pendant le second quart de période et après une demi-oscillation on n'a plus que de l'énergie de repos; puis les transformations précédentes recommencent.

Prenons maintenant une boule suspendue à l'extrémité d'un ressort à boudin; tirons la boule vers le bas, nous accomplissons un certain travail qui est emmagasiné dans le ressort sous forme d'énergie élastique c'est à dire d'énergie potentielle. Au moment où l'on abandonne la boule, le ressort se détend restituant l'énergie qu'il a emmagasinée, cette énergie est utilisée à mettre en mouvement la boule, c'est à dire à produire de l'énergie cinétique; puis cette énergie cinétique est employée à comprimer le ressort, c'est à dire à redonner l'énergie potentielle; puis les transformations recommencent.

L'action de la pesanteur n'est pas nécessaire, à ce mouvement

Elle ne fait que compliquer un peu le phénomène, sans en modifier la nature. On peut d'ailleurs éliminer son action, en frottant mouvoir dans un plan horizontal une masse fixée à l'extrémité d'un balancier qui agit sur un ressort en spirale.

Tout mouvement réel est accompagné de frottements dans l'air ou sur les axes et de frottements internes des molécules les unes contre les autres lorsqu'il y a déformation. Il s'ensuit une dépense continue d'énergie dont la plus grande partie est transformée en chaleur.

Cette dépense d'énergie cause une diminution continue des amplitudes successives du mouvement qui cesse lorsque l'énergie disponible n'est plus suffisante pour vaincre les forces de frottements.

Les conditions nécessaires pour qu'il puisse y avoir mouvement vibratoire d'un système sont toujours les mêmes :

1°) Il faut qu'il existe une position d'équilibre stable du système matériel, c'est à dire une position telle que tout déplacement à partir de cette position nécessite la cession au système d'une certaine quantité d'énergie qui est emmagasinée sous forme d'énergie potentielle ou de repos.

2°) Il faut que l'énergie potentielle ainsi emmagasinée soit susceptible de passer à l'état d'énergie cinétique ou de mouvement.

3°) Il faut que toute l'énergie disponible ne soit pas dépensée par les frottements ou de toute autre manière lorsqu'on revient pour la première fois à la position d'équilibre.

Dans le cas où la troisième condition n'est pas remplie le mouvement est aperiodique.

On peut réaliser facilement ce cas pour un pendule en le plaçant dans un vase contenant de la glycérine, ou pour le balancier en y fixant un carré de carton de façon à augmenter la résistance de l'air.

La durée de toutes les oscillations d'un mouvement vibratoire amorti ou non est la même. Elle dépend des trois quantités qui déterminent le mouvement : force d'inertie, force élastique et frottements.

Les mouvements vibratoires d'un pendule, d'une boule fixée à l'extrémité d'un ressort, d'un balancier sont particulièrement simples, on les appelle sinusoïdaux ou harmoniques. Dans certains cas les mouvements vibratoires, tout en restant périodiques, sont d'aspect plus complexe.

Touvier a démontré que toute vibration complexe peut être décomposée en une somme de vibrations sinusoïdales dont les fréquences sont égales à la fréquence du mouvement complexe et à des multiples de cette fréquence.

Deuxième Leçon.

Ecole Supérieure des Postes et Télégraphes.

Cours de G. S. F.
à l'usage du Personnel.

Notions Générales d'Electricité.

Sommaire.

Champ électrique et champ magnétique.... Au voisinage des corps électrisés il existe un champ de force dit champ électrique, au voisinage d'un aimant il existe un champ de force dit champ magnétique.

Conservation de l'électricité et du magnétisme.... Impossibilité de produire une quantité d'électricité d'un signe, sans faire apparaître en même temps une quantité égale d'électricité de signe contraire. Impossibilité d'isoler une masse magnétique quelconque.

Conducteurs et diélectriques.... Il existe des corps conducteurs de l'électricité; on ne connaît pas de corps conducteurs du magnétisme.

Propriétés des diélectriques.

Courants électriques et courants magnétiques.... Courants de convection, de déplacement et de conduction. Il n'existe pas de courants magnétiques de conduction.

Champs produits par les courants.... Les courants électriques produisent des champs magnétiques; les courants magnétiques produisent des champs électriques.

Phénomènes d'induction.... Ce sont les phénomènes produits par les variations des champs électriques ou des champs magnétiques.

La variation du flux d'induction magnétique embrassé par un contour engendre le long de ce contour une force électromotrice.

La variation du flux d'induction électrique embrassé par un contour engendre le long de ce contour une force magnéto-motrice.

Lois de circulation de Maxwell.

Inertie électromagnétique.... Self-induction.

Courants alternatifs et oscillations - Période, fréquence. Représentation graphique des oscillations électriques. - Oscillations entretenues et oscillations amorties.

Circuits oscillants : Oscillations libres, oscillations forcées. Résonance. - Un circuit oscillant est un circuit peu résistant, présentant de la capacité et de self-induction.
Oscillations libres. Période propre. Formule de Thomson $T = 2\pi\sqrt{LC}$.
Oscillations forcées.
Résonance: Exemples de résonance mécanique.

Applications et propriétés des phénomènes de résonance. L'appl. est. n des phénomènes de résonance permet d'obtenir des effets de deux sortes:

1^{re} Elle permet une accumulation d'énergie dans un système capable d'oscillations lorsque la période de la force agissante est égale à la période des oscillations libres du système. Les effets obtenus comparés à l'amplitude de force périodique peuvent être considérables.

2^{de} Elle permet un effet sélectif, puisque un système est pratiquement insensible à l'action d'une force périodique dont la période est différente de la sienne.

On peut aussi énoncer cette propriété en disant que les oscillations forcées ont toujours une amplitude faible comparée à celle de la force agissante.

Cependant la résonance entraîne avec elle deux conséquences qu'il ne faut pas perdre de vue:

1^{re}) Puisque la résonance est basée sur une accumulation d'énergie pendant un nombre quelquefois assez considérable de périodes successives, on obtient l'effet désiré non pas dès l'application de la force, mais avec un certain retard; un système travaillant à la résonance paraîtra donc un peu "paresseux".

2^{de}) Les effets sélectifs de résonance sont moins nets lorsque la force agissante ou le système sur lequel elle agit sont notablement amortis.

Champ électrique et champ magnétique.

Un corps électrisé au voisinage d'un autre corps électrisé est soumis à une force; il est donc placé dans un champ de force dit champ électrique.

De même un barreau aimanté placé au voisinage d'un autre aimant est soumis à une force; il est dans un champ de force dit champ magnétique.

Les lois élémentaires qui régissent les attractions ou répulsions électrostatiques et magnétostatiques ont été énoncées par Coulomb. Elles peuvent s'écrire :

$$f = \frac{1}{\epsilon} \frac{e e'}{r^2}$$

dans le cas de l'action entre deux masses électriques e et e' .
et :

$$f = \frac{1}{\mu} \frac{m m'}{r^2}$$

dans le cas de l'action entre deux masses magnétiques m et m' .
 f représente la force attractive ; r la distance et ϵ et μ des grandeurs caractéristiques du milieu interposé.

ϵ s'appelle le pouvoir inducteur spécifique ou perméabilité diélectrique.

μ s'appelle la perméabilité magnétique.

L'usage de ces formules a conduit au XVIII^e siècle à l'hypothèse de deux fluides électriques appelés positif et négalif et deux fluides magnétiques appelés nord et sud.

Cette façon de s'exprimer est si commode que l'on continue encore à l'employer bien qu'on ne croie plus aujourd'hui à la réalité objective de ces fluides.

Les lois de Coulomb rappellent la loi de Newton ou de l'attraction universelle. Cette loi donne l'attraction élémentaire qui s'exerce entre deux corps matériels de masses g et g' elle s'écrit :

$$f = \gamma \frac{g g'}{r^2}$$

γ étant un certain coefficient.

À propos de l'ordre de grandeur des attractions précédentes, il convient d'ajouter que les attractions magnétiques mettent en jeu des forces relativement considérables : de plusieurs kilogs pour des actions entre aimants de taille ordinaire. Les attractions électriques sont d'un ordre de grandeur microscopique par rapport aux précédentes, les forces électriques ne peuvent en effet déplacer que des corps très légers : morceaux de papier, balle de moelle de sureau etc....

Enfin les attractions Newtonniennes à leur tour sont d'un ordre de grandeur microscopique par rapport aux attractions électriques : on ne peut les mettre en évidence que par des expériences délicates.

Le mode de figuration des champs électriques et magnétiques par les lignes de forces a été suggéré à Faraday par la vaine expérience des fantômes magnétiques. On saupoudre de limaille de fer une feuille de carton placée au-dessous d'un aimant et en donnant quelques chocs au carton, on voit la limaille se rassembler selon certaines lignes dont la direction est celle du champ

et dont la densité représente l'intensité du champ.

On peut réaliser également des fantômes électriques à l'aide de tourmaline en poudre en voie de réchauffement ou de refroidissement. On opère comme précédemment, mais dans un champ électrique et la tourmaline ayant été préalablement chauffée par exemple.

Ce mode de figuration n'est pas un simple procédé de vulgarisation, Maxwell a montré au contraire que la représentation du champ au moyen de lignes de force dont la densité est égale à la force ne peut s'appliquer qu'aux attractions proportionnelles aux masses et inversement proportionnelles au carré de la distance.

Principe de la conservation de l'électricité et du magnétisme. — L'expérience de l'aimant brisé nous apprend l'impossibilité de séparer les deux espèces de magnétismes. Si bien qu'on pousse la division du barreau, les fragments présentent toujours deux pôles, c'est à dire renferment toujours des masses magnétiques nord et sud égales. On exprime ceci en disant qu'une particule d'un corps aimanté est toujours polarisée.

Le principe de la conservation de l'électricité n'est pas moins absolu que celui de la conservation du magnétisme; on ne peut jamais faire apparaître une certaine quantité d'électricité sans faire apparaître en même temps une quantité égale d'électricité de signe contraire.

La réalité physique est donc au point de vue du magnétisme, non pas le pôle magnétique mais l'aimant complet et au point de vue électrique non pas la charge isolée, mais l'ensemble de deux charges égales et de signe contraire, pour lesquelles vient se terminer un tube de Faraday.

Les fluides magnétiques ne peuvent pas quitter la molécule; on peut simplement les séparer à l'intérieur de la molécule, mais ils restent infiniment voisins.

L'impossibilité de séparer les deux fluides électriques n'existe que pour certains corps appelés isolants ou diélectriques; pour ces corps les deux espèces d'électricité restent toujours en quantités égales dans la molécule; on ne peut, comme pour le magnétisme, séparer les deux fluides qu'à l'intérieur de la molécule.

Les autres corps appelés conducteurs ou uniélectriques permettent de séparer les deux espèces d'électricités.

Il n'y a pas de corps conducteur pour le magnétisme.

ce qui constitue une différence essentielle entre l'électricité et le magnétisme.

Maxwell caractérise la différence entre les diélectriques et les conducteurs en disant que les diélectriques offrent au déplacement de l'électricité une résistance élastique comparable à celle d'un ressort qui se bande tandis que les conducteurs offrent une résistance visqueuse analogue au frottement.

La résistance élastique d'un diélectrique est mesurée par sa perméabilité diélectrique.

La résistance visqueuse d'un conducteur par la conductibilité électrique.

Fleming compare le diélectrique à un fil élastique qui peut supporter une certaine torsion avant de se rompre; tandis que le corps conducteur ressemble à un filet de miel qui cède immédiatement et indéfiniment à la torsion et ne la supporte jamais.

Si l'on crée un champ électrique la différence de potentiel ou force électromotrice produit dans un conducteur un mouvement d'électricité continu qui persiste tant que la force électromotrice existe. Le conducteur oppose une résistance visqueuse analogue au frottement en mécanique appelée résistance électrique; l'énergie fournie par la source ne s'emmagasinne pas elle est dégradée sous forme de chaleur et n'est pas récupérée lorsque la force cesse d'agir.

Au contraire une différence de potentiel ne détermine qu'un mouvement instantané d'électricité dans un diélectrique, le déplacement électrique ainsi produit n'aboutit qu'à la séparation des deux électricités dans chaque molécule. Le diélectrique se comporte comme une résistance croissant avec l'écart, dont le mouvement s'arrête presque instantanément.

Ce mouvement détermine dans le milieu un véritable état de tension qui persiste tant que la différence de potentiel dure. Lorsqu'elle disparaît la tension cesse et comme un ressort qui se débände le diélectrique restitue l'énergie emmagasinée en redonnant un courant de déplacement inverse du courant initial.

La résistance ohmique est la propriété d'un conducteur qui entraîne une dissipation d'énergie sous forme de chaleur. La loi de Joule indique que la puissance dissipée est proportionnelle à la résistance du conducteur et au carré de l'intensité du courant qui le traverse. L'unité pratique

de résistance a reçu le nom d'ohm ; c'est la résistance dans laquelle un courant de un ampère dissipe une puissance égale à un watt.

La résistance est une qualité dissipative, qui entraîne une puissance dégradée ou perdue.

La résistance d'un conducteur varie proportionnellement à la longueur, inversement proportionnellement à la section et proportionnellement à un coefficient caractéristique du conducteur appelé résistivité.

Les métaux bon conducteurs employés actuellement sont l'argent et le cuivre.

Pour fixer les idées, on peut imaginer que le diélectrique compris entre deux conducteurs chargés est divisé en tubes de force ou tubes de Faraday, placés les uns à côté des autres ; chacun d'eux étant limité par des lignes de force du champ et venant se terminer sur les portions de conducteurs chargés en quantité égale. L'une d'électricité positive, l'autre d'électricité négative. Il est commode de choisir les sections des tubes de façon que toutes ces charges soient égales entre elles et à 1 unité. Les extrémités des tubes de force peuvent glisser à la surface des conducteurs, puisque l'électricité peut s'y mouvoir.

L'état de tension du diélectrique correspond à une tension exercée dans le sens des lignes de force et à un effort latéral normal aux tubes. Cet état de déformation élastique correspond à l'énergie potentielle emmagasinée. Chaque parcelle du diélectrique contient une fraction déterminée de cette énergie totale.

Ce que nous appelons énergie d'une charge électrique correspond à l'énergie potentielle emmagasinée par la tension du diélectrique. Si la tension imposée au diélectrique dépasse une certaine limite ; il est rompu : l'isolement disparaît et il se produit en général une étincelle. De même un ressort à qui on fait supporter un trop grand effort est déformé et perd ses propriétés élastiques.

On appelle condensateur un ensemble de deux conducteurs séparés par un diélectrique convenable et spécialement disposés pour permettre l'accumulation de charges électriques importantes sur ces conducteurs.

Il existe matériellement de grandes différences entre les condensateurs employés en radiotélégraphie, en raison d'abord des multiples fonctions qu'ils remplissent et ensuite de la

diversité des types employés pour chaque besoin.

Nous décrivons les divers modèles des condensateurs dans la suite.

Les condensateurs peuvent donc être traversés par des courants de déplacement de très courte durée, et la capacité est la propriété qui leur permet d'emmagasiner sous forme d'énergie potentielle une certaine quantité d'énergie qui est restituée ensuite.

La capacité est donc une quantité conservative; elle n'entraîne aucune dégradation d'énergie. Les capacités s'évaluent en farad. Cette unité est très grande aussi dans la pratique, emploie-t-on de préférence le microfarad qui est la millionième partie du farad.

Courants électriques. — Courants de déplacement.

Nous connaissons déjà les courants électriques de déplacements qui sont des courants instantanés dus à la séparation des deux électricités à l'intérieur des molécules d'un diélectrique soumis à une force électromotrice. Le courant de déplacement précède ou suit, un état de tension spécial du diélectrique.

Courant de conduction. — On appelle ainsi les courants qui prennent naissance dans un conducteur, sous l'action d'une force électromotrice. Nous avons dit qu'il se produit dans ce cas une circulation d'électricité qui dure tant que la force agit. On a été amené à se représenter le courant de conduction comme un mouvement de deux flux de particules électriques les unes positivement, les autres négativement, circulant en sens inverse avec des vitesses égales. Il y a donc déplacement de grains électrisés à l'intérieur d'un conducteur sans déplacement de celui-ci.

En chaque point d'un conducteur parcouru par un courant il y a deux particules chargées de quantités égales et de signe contraire ce qui explique que les courants ne produisent aucune action électrostatique sur les corps électrisés extérieurs.

Courant de convection. — Lorsqu'on déplace un corps électrisé, on crée un déplacement d'une quantité d'électricité liée à celui de son support matériel. Si on envisage un flux de particules chargées se suivant on a le même effet que dans le cas d'un courant de conduction; ce courant prend le nom de courant de convection. Les rayons cathodiques constituent un flux de charges d'électricité négatives.

Courants magnétiques

Courant de convection. — On peut produire des courants de convection magnétique en déplaçant des pôles magnétiques les uns à la suite des autres. On peut par exemple constituer une sorte de tambour avec des barreaux aimantés juxtaposés qui lorsqu'on le fait tourner donne deux courants magnétiques circulaires de convection.

Courants de déplacement. — Les courants de déplacement magnétiques ressemblent aux courants de déplacement électriques, mais ils sont plus faibles. Lorsqu'on soumet un circuit magnétique à une force magnéto-motrice, il se produit un courant magnétique momentané auquel succède un état permanent de tension. Lorsque la force magnéto-motrice cesse, on observe un courant de déplacement magnétique inverse.

Courant de conduction. — Jusqu'ici on n'a trouvé aucun corps conducteur pour le magnétisme. On a donc jamais observé de courants de conduction magnétique; ce qui ne signifie pas qu'il n'en existe pas, c'est-à-dire qu'on n'en observera jamais.

Les courants magnétiques et électriques sont soumis aux mêmes lois d'attraction et de répulsion que les courants électriques, mais les actions magnéto dynamiques sont petites comparées aux actions électrodynamiques.

Énergie électrique et énergie magnétique.

L'énergie contenue dans l'unité de volume d'un diélectrique polarisé c'est à dire soumis par une force électromotrice à l'état spécial de tension dont nous avons parlé est égale à :

$$\frac{\epsilon E^2}{2}$$

ϵ étant la perméabilité diélectrique et E la force électrique au point considéré.

L'énergie contenue dans l'unité de volume d'un milieu soumis à un état de tension par une force magnéto-motrice est égale à

$$\frac{\mu H^2}{2}$$

μ étant la perméabilité du milieu et H la force magnétique au point considéré. L'usage des deux formules précédentes suppose l'emploi des unités rationnelles d'Ecoviside. Ces deux formules rappellent la formule $\frac{1}{2} A x^2$ qui donne l'énergie d'un ressort bandé A est un coefficient d'élasticité et x une elongation

Champ magnétique dû aux courants électriques.

Prenons un fil rigide qui traverse une feuille de carton dont le plan est perpendiculaire à sa direction et faisons passer dans ce fil un courant électrique intense. Si l'on suspendre le carton de limaille de fer et qu'on lui donne quelques légers chocs, on voit la limaille se rassembler selon des lignes circulaires entourant le fil. Ces lignes de force sont celles d'un champ magnétique: une petite aiguille aimantée placée sur le carton s'orienté en effet selon les lignes des forces par la limaille.

Onpeut à montré qu'un courant électrique circulant équivalent à un feuillet magnétique dont une face serait recouverte de magnétisme, positif et l'autre face infiniment voisine de magnétisme négatif.

L'expérience des solénoïdes magnétiques permet d'établir l'identité du champ magnétique produit par un courant circulaire avec celui que produirait un feuillet magnétique.

Si l'on envisage une série de courants circulaires parallèles, c'est-à-dire pratiquement, un courant qui parcourt un solénoïde, on a l'équivalent d'une série de feuillets empilés les uns sur les autres c'est-à-dire d'un aimant dont les pôles peuvent être éloignés autant qu'on le désire et suffit pour cela d'augmenter le nombre des spires.

Les fantômes magnétiques qui donnent les solénoïdes sont identiques à ceux des barreaux aimantés.

Champ électrique dû aux courants magnétiques.

Le déplacement d'une série de pôles magnétiques qui se suivent équivalent à un courant magnétique. Il produit un champ électrique dont les lignes de forces sont circulaires et entourent le déplacement des pôles. Si on place un conducteur selon une de ces lignes, il serait parcouru par un courant électrique continu.

Des pôles en mouvement circulaires c'est-à-dire un courant magnétique circulaire, équivalent donc à un feuillet électrique dont une face serait recouverte d'électricité positive et l'autre face d'électricité négative.

En résumé: Un courant électrique continu produit un champ magnétique stable et un courant magnétique continu un champ électrique stable.

Phénomènes d'induction.

Phénomènes d'induction. — Variation du champ magnétique et variation du champ électrique.

La variation d'un champ magnétique donne naissance à un champ électrique. Les phénomènes d'induction que l'on met en évidence par les expériences classiques bien connues : déplacements relatifs d'aimants et de circuit électrique, de circuits entrecroisés ; variation d'intensité dans un circuit, sont dus à la variation d'un champ magnétique.

La loi qui régit les forces électromotrices d'induction est la suivante :

La force électromotrice totale développée le long d'un contour fermé est égale à la vitesse de variation du flux d'induction magnétique embrassé par ce contour.

Si le long du contour se trouve un conducteur comme c'est le cas dans les expériences précédemment rappelées, la force électromotrice produit un courant de conduction dans ce conducteur. S'il n'y a pas de conducteur, mais un diélectrique la loi subsiste, mais dans ce cas c'est un courant de déplacement qui se produit.

Plus la variation est rapide, plus l'effet produit est considérable. De la même façon :

La variation du champ électrique donne naissance à un champ magnétique.

La force magnétomotrice totale développée le long d'un contour fermé est égale à la vitesse de variation du flux d'induction électrique embrassé par ce contour.

Les deux lois précédentes sont les lois de circulation de Maxwell.

Inertie électromagnétique.

Un corps en mouvement s'il est électrisé possède de ce seul fait, une inertie supplémentaire d'origine électrique.

Il y a donc en électromagnétisme, comme en mécanique, une inertie. Cette inertie tend à s'opposer au mouvement lorsqu'il commence et à le prolonger lorsque sa vitesse diminue.

Un courant ordinaire de conduction possède d'une façon analogue une self-induction qui s'oppose à sa variation, à sa croissance lorsqu'il commence et à sa décroissance lorsqu'il finit.

En régime permanent, la self-induction n'agit plus ; mais elle a permis l'emmagasinement d'une certaine quantité d'énergie sous forme d'énergie cinétique.

L'énergie magnétique d'un courant apparaît donc comme une énergie cinétique ou de mouvement, tandis que l'énergie d'un condensateur et une énergie élastique de repos.

La self-induction est donc la qualité d'un circuit qui lui permet d'emmagasinier sous forme d'énergie cinétique une énergie égale à $\frac{1}{2} L I^2$. Lorsque ce circuit est parcouru par un courant d'intensité I (L self-induction du circuit; I intensité qui le parcourt).

Cette formule rappelle l'expression de la force vive ou énergie cinétique d'un corps matériel. La valeur de la force vive est $\frac{1}{2} M V^2$ pour un corps de masse M animé d'une vitesse V .

La self-induction d'un circuit dépend de sa forme. Les formes qui donnent des champs magnétiques puissants correspondent aux selfs les plus grandes.

L'unité de self-induction est le Henry. Les self-inductions que l'on a à considérer en Radiotélégraphie sont toujours très petites aussi il est souvent commode de les évaluer en millièmes de Henrys c'est à dire en microhenrys.

La self est une qualité conservative, c'est à dire qu'elle n'entraîne aucune dissipation de puissance; l'énergie emmagasinée est restituée dès que le courant diminue. Cependant il faut remarquer qu'il n'est pas possible de construire des selfs sans résistance, ce qui fait que malgré tout ces appareils dissipent un peu la puissance, mais la dissipation est due à la résistance de l'appareil et non à sa self.

Courants alternatifs et oscillations électriques.

Un courant toujours du même sens est dit courant continu. Au contraire, un courant qui change périodiquement de sens étant d'abord dirigé dans un sens, puis ensuite en sens inverse est dit courant alternatif.

Le temps qui s'écoule entre deux changements de sens consécutifs est appelé délai ou alternance. Et le temps au bout duquel le courant reprend son sens primitif est appelé période.

Le nombre de périodes par seconde s'appelle la fréquence.

La période et la fréquence sont exprimées par des nombres inverses l'un de l'autre, c'est à dire par des nombres dont le produit est égal à un.

On peut classer les courants alternatifs d'après leur fréquence, et la façon suivante:

a) Courants de basse fréquence dont la fréquence est inférieure à 100 000 Hz. Les courants industriels font partie de cette catégorie: les courants alternatifs utilisés pour la traction

ont des fréquences comprises entre $16 \frac{2}{3}$ et 50. La fréquence industrielle usuelle est 50 en Europe, et 60 en Amérique. On ne se sert qu'exceptionnellement de courants de fréquences supérieures à 60.

b) - Courants de fréquences musicales ou téléphoniques.
Les fréquences de ces courants s'étendent de 100 à 1000 et même un peu au-delà. Un téléphone, traversé par un de ces courants, rend son son musical.

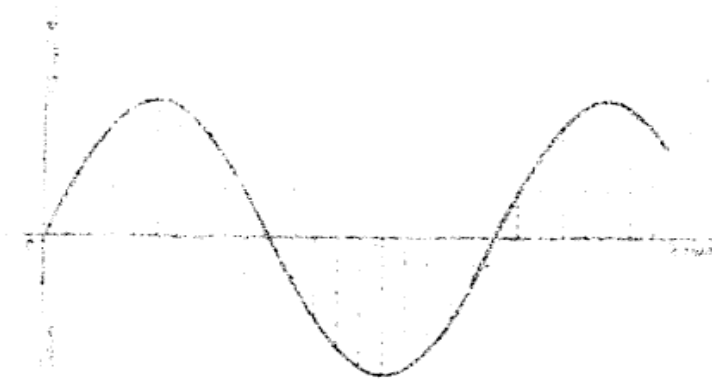
c) - Courants de hautes fréquences ou oscillations électriques. - La fréquence de ces courants est supérieure à 10.000. En Radiotélégraphie on se sert des oscillations électriques pour engendrer des ondes électromagnétiques. Les fréquences utilisées dans ce but s'étendent actuellement de 15.000 à 100.000 et même trois millions. Il est possible de produire des oscillations dont les fréquences sont beaucoup plus grandes.

Les appellations de basse fréquence, fréquence musicale, haute fréquence, sont relatives et conventionnelles.

Représentation graphique des oscillations électriques.

Il est commode de représenter les courants alternatifs ou les oscillations par des sinus.

Pour cela on trace une droite horizontale sur laquelle on porte les temps à partir d'une origine 0. En différents points de cette droite, séparés par des intervalles égaux correspondant à des temps égaux on élève des perpendiculaires. Sont la



Courant Alternatif Sinusoïdal de fréquence 50

N.B. La distance entre les arêtes
est mesurée en dix millièmes de seconde.

longueur représente la valeur de I l'intensité au point considéré.

La figure 1 est la courbe représentative d'un courant de fréquence 50 ; la distance entre deux perpendiculaires correspond à un demi millième de seconde.

Le plus souvent les courbes représentatives d'un courant alternatif ont l'allure d'une courbe mathématique appelée sinusoïde. Les courants qui sont représentés rigoureusement par une sinusoïde sont dits sinusoïdaux. Les courants industriels sont pratiquement sinusoïdaux dans la plupart des cas.

La courbe représentative permet de trouver la valeur instantanée de I l'intensité à n'importe quel moment ainsi que les intensités maximales ou amplitudes. En dehors de ces valeurs on a généralement à considérer une autre grandeur caractéristique des courants qu'on appelle l'intensité efficace. L'intensité efficace d'un courant périodique de forme et de fréquence quelconques est égale à I l'intensité d'un courant continu qui dissiperait sous forme de chaleur la même puissance dans un conducteur quelconque mais offrant la même résistance effective au passage de ces deux espèces de courants.

Nous verrons dans la suite l'importance de cette dernière restriction.

Oscillations électriques entretenues et amorties

Des oscillations électriques durables et ininterrompues sont dites entretenues ou non amorties ; elles sont représentées par une courbe périodique régulière ininterrompue.

En Radiotélégraphie, on se sert fréquemment d'oscillations d'un autre type qui sont en réalité constituées de groupes bien séparés d'oscillations se succédant régulièrement. Dans chacun des groupes I l'amplitude initiale des oscillations est la même mais les amplitudes successives décroissent suivant une certaine loi au bout d'un temps plus ou moins long ; c'est-à-dire après un



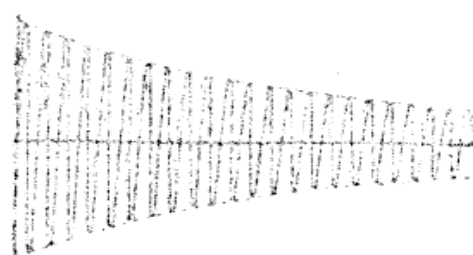
$\delta = 0$ Oscillations entretenues



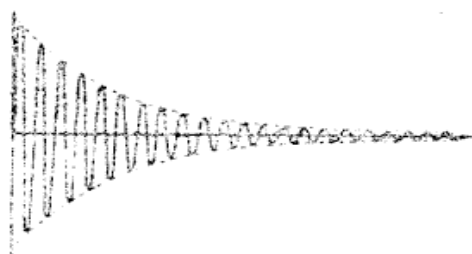
$\delta = 0,005$ 1500 oscillations par train



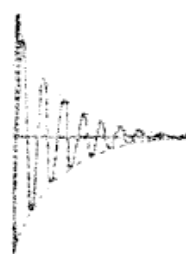
$\delta = 0,01$ 450 oscillations par train



$\delta = 0,06$ 80 oscillations par train



$\delta = 0,20$ 25 oscillations par train



$\delta = 0,80$ 10 oscillations par train

Fig 2 - Trains d'oscillations de différents amortissements

nombre d'oscillations plus ou moins grand le courant cesse. Les groupes ou trains d'oscillations sont donc séparés par des temps de repos.

Pour définir la nature de ces oscillations particulières que l'on appelle oscillations amorties, il faut donc indiquer :

1° - Le nombre de trains d'oscillations par seconde, c'est-à-dire la fréquence des trains.

2° - L'amortissement des oscillations, c'est-à-dire la rapidité de la diminution des amplitudes successives des oscillations dans chaque train.

3° - L'amplitude initiale des oscillations de chaque train.

On admet que les oscillations ont pratiquement cessé lorsque leur amplitude est réduite au centième de l'amplitude initiale.

D'après cette convention un train comprend un nombre bien défini d'oscillations. Théoriquement, des oscillations amorties, quoique présentant des amplitudes décroissantes sans cesse devraient durer toujours, mais l'expérience montre qu'elles cessent au bout d'un certain temps comme le mouvement d'un pendule cesse à un certain moment par suite des frottements.

On dit que des oscillations sont fortement amorties lorsque chaque train ne contient que peu d'oscillations, moins de 5 ou 6 par exemple et qu'elles sont faiblement amorties lorsque chaque train contient beaucoup d'oscillations : 100 par exemple.

Ce classement est naturellement très imparfait car il existe des oscillations de tous les amortissements, depuis les oscillations entretenues jusqu'aux oscillations pour lesquelles on n'a qu'une oscillation par train.

La figure 2 se rapporte des trains d'oscillations présentant différents amortissements.

Pour chiffrer l'amortissement on se sert d'une quantité spéciale : le décroissement logarithmique dont nous faisons que citer le nom.

Circuits oscillants.

Circuits oscillants. - Oscillations libres et période propre d'un circuit.

On appelle circuit oscillant, un circuit peu résistant, présentant de la capacité et de la self-induction.

Si on écarte le système électrique ainsi constitué de sa position d'équilibre en établissant, au moyen d'une force électromotrice, une différence de potentiel entre les deux conducteurs qui constituent la capacité du circuit, on fournit à ce système une certaine quantité d'énergie électrique qui s'emmagasine à l'état d'énergie élastique de repos dans le milieu électrique qui sépare les deux armatures de la capacité. Supprimons brusquement la source qui produisait la différence de potentiel entre les armatures; il se produit immédiatement un courant électrique dirigé de l'armature au potentiel le plus élevé vers l'armature au potentiel le plus bas qui tend à rétablir l'équilibre détruit. Mais le courant ainsi produit traverse la self-induction et l'énergie potentielle est transformée en énergie cinétique. Et son tour, l'énergie cinétique du courant redonne de l'énergie potentielle dans la capacité et, ainsi de suite. Le courant est oscillatoire; il s'amortit en raison de la dégradation d'énergie produite dans la résistance du circuit.

Si cette résistance était assez grande pour dissiper toute l'énergie pendant la durée de la première décharge du condensateur, il ne se produirait pas d'oscillations: la décharge serait aperiodique.

L'explication précédente est la traduction électrique de ce que nous avons dit à propos des oscillations des systèmes mécaniques.

Nous savons en effet qu'une capacité peut emmagasiner de l'énergie potentielle à la façon d'un ressort que l'on bande et qu'une self-induction traversée par un courant donne lieu à l'emmagasinement d'une certaine quantité d'énergie cinétique. La combinaison d'une capacité et d'une self-induction est donc l'image électrique du vibreur constitué par un ressort auquel est suspendue une masse matérielle. Il n'est donc pas surprenant que lorsque le système électrique est abandonné à lui-même après une rupture d'équilibre le mouvement de l'électricité soit oscillatoire: la résistance électrique remplace le frottement mécanique.

Lorsqu'un système oscille après avoir été abandonné brusquement dans une position différente de sa position d'équilibre, on dit qu'il exécute des oscillations libres; la période de ces

oscillations est dite période propre du système.

Dans le cas du vibrateur mécanique, la période propre est déterminée, comme nous l'avons dit, par l'élasticité du ressort, la masse de la boule et le frottement; dans le cas d'un circuit oscillant la période des oscillations libres, ou période propre du circuit dépendra donc des grandeurs de la capacité, de la self-induction et de la résistance électrique.

Les circuits oscillants utilisés en radiotélégraphie ont une faible résistance; pratiquement leur période propre ne dépend donc que de la capacité et de la self-induction.

La période propre d'un circuit oscillant est donnée par la formule de Thomson. Cette formule s'écrit:

$$T = 2\pi \sqrt{LC}$$

T est la période en seconde; 2π la quantité $2 \times 3,1416 = 6,2832$;
 C la capacité en farads; L la self-induction en henrys.

Si on exprime C en micro-farads et L en micro-henrys, T sera donné en micro-secondes.

Les oscillations libres qu'exécutent les systèmes après avoir été écartés de leur position d'équilibre stable et abandonnés brusquement à eux-mêmes, ne sont pas les seules que l'on ait à envisager.

Si on fait agir une force périodique sur un système, ce système se mettra en mouvement même si la période de la force est différente de la période propre du système. On conçoit aisément que si l'action de la force est suffisamment prolongée et que si le système est amorti le mouvement devienne périodique et prenne la même période que la force agissante.

On dit dans ce cas que le système exécute des oscillations forcées.

Cependant dans ce cas l'amplitude du mouvement ne prend une valeur appréciable que lorsque la période de la force est voisine de la période propre du système sur lequel elle agit. L'effet de la force est maximum lorsque sa période est exactement égale à celle du système. Ce phénomène s'appelle phénomène de résonance.

Les exemples de résonance mécaniques sont nombreux.

Pour mettre en branle une cloche le sonneur tire sur la corde chaque fois qu'elle décroît et augmente ainsi un peu l'amplitude du mouvement déjà commencé. Un enfant peut, par une succession de petits efforts convenablement rythmés mettre en mouvement une cloche pesante. Il faut évidemment qu'il puisse fournir un effort initial capable de vaincre les frottements au départ, ensuite l'amplitude du mouvement augmente un peu à chaque nouvel

apport d'énergie. Cependant à mesure que l'amplitude du mouvement augmente la dissipation d'énergie par frottement augmente et il arrive en général un moment à partir duquel les pertes d'énergie dans une période atteignent une valeur exactement égale à l'apport d'énergie de la force agissante. À partir de ce moment, l'amplitude n'augmente plus, elle reste stationnaire. On dit qu'on est en régime permanent ou stable. Ce régime est donc caractéristique par le fait que les pertes d'énergie pendant chaque période sont exactement égales aux gains, il n'y a pas d'accumulation.

Si au lieu de rythmer l'effort d'après la fréquence des oscillations libres de la cloche, on agissait sur la corde selon un rythme régulier mais différent il y aurait d'abord tendance à amorcer le mouvement, mais on arriverait bientôt à tirer sur la corde au moment où celle-ci commence à remonter, ce qui limiterait l'amplitude à la valeur obtenue à ce moment.

On fait rompre la cadence du pas aux troupes traversant des ponts suspendus, parce qu'il est à craindre que les oscillations du pont prennent des amplitudes dangereuses, dans le cas où la cadence du pas correspondrait exactement à la période des oscillations libres du pont.

Si on prend un vibreur constitué par un ressort à l'extrémité duquel est suspendue une masse pesante, on peut le mettre en vibration en imprimant, avec le doigt, de légers déplacements à son point de suspension; mais à condition seulement que ces petites impulsions aient pour fréquence, la fréquence propre du vibreur. Si par exemple deux vibreurs de période un peu différente sont suspendus à la même traverse, et que cette traverse puisse légèrement fléchir sous une pression du doigt, on peut mettre en vibration l'un ou l'autre de ces vibreurs selon qu'on choisit comme cadence la période de l'un ou l'autre des pendules. Le vibreur dont la fréquence est différente de celle des impulsions reste sensiblement au repos.

D'autres phénomènes comme celui de la "houle synchrone" s'expliquent également par une accumulation de petits effets par suite de la résonance.

Les phénomènes de résonance interviennent en acoustique d'une façon très marquée.

Le télégraphe multiplex Mercadier Magnan est basé également sur la résonance. Les courants alternatifs ne peuvent communiquer à la plaque d'un mono-téléphone, c'est-à-dire d'un téléphone dont la plaque a une période propre bien définie, des amplitudes notables que si la fréquence de ces courants est égale à la fréquence propre de la plaque. Dans le cas contraire les effets sont insignifiants.

Enfin en radiotélégraphie on met fréquemment comme nous le verrons dans la suite les effets de la résonance à profit.

Si l'on ne considère que l'effet sélectif que produit la résonance, il faut remarquer qu'il est beaucoup diminué lorsque la force périodique qui agit sur un système est fortement amortie.

Dans l'exemple du sonneur si les intonités, les tractions successives diminuent rapidement la première commence à mettre en branle la cloche et lui communique une certaine elongation; quelques-unes des tractions suivantes ont encore un effet favorable mais lorsque les actions deviennent défavorables elles sont très faibles et ne sont pas capables de diminuer l'amplitude acquise à ce moment par la cloche.

Donc si on dispose d'une force périodique très amortie, mais dont l'amplitude initiale est grande on peut l'utiliser, dans de bonnes conditions, pour agir sur des systèmes dont la période propre diffère assez de celle de la force. Les effets s'accumuleront pendant quelques périodes et ensuite tout se passera comme si la force n'existait plus et le système exécuta à partir de ce moment de véritables oscillations libres.

On conçoit pour des raisons analogues que l'effet sélectif soit également à peu près inexistant lorsque c'est le système qui possède un très fort amortissement.

Le cas limite d'une force très amortie est celui d'une seule impulsion, c'est-à-dire d'un choc isolé. On sait qu'un choc écarte de sa position d'équilibre un système vibratoire quelle que soit sa fréquence propre et le laisse ensuite osciller librement.

Le cas limite d'un système très amorti est un système apériodique et dans ce cas il est évident encore que le système obéira et oscillera avec la période de la force agissante; l'amplitude du mouvement dépendra naturellement de celle de la force.

Les raisonnements précédents sont très simples parce qu'ils supposent que les forces agissantes sont des suites d'impulsions rythmées. Pour des forces périodiques plus compliquées, sinusoïdales par exemple, il y a action permanente constamment variable en grandeur et en direction. Néanmoins les conclusions restent les mêmes, on peut le concevoir en se représentant les effets intégraux produits par la force pendant chaque alternance du mouvement du système.

Résumé. — L'application des phénomènes de résonance permet d'obtenir des effets de deux sortes :

1^{re} Elle permet une accumulation d'énergie dans un système capable d'oscillations lorsque la période de la force agissante est égale à la période des oscillations libres du système. Les effets obtenus comparés à l'amplitude de force périodique peuvent être considérables.

2^{re} Elle permet un effet sélectif puisque un système est pratiquement insensible à l'action d'une force périodique dont la période est différente de la sienne.

On peut aussi énoncer cette propriété en disant que les oscillations forcées ont toujours une amplitude faible comparée à celle de la force agissante.

Cependant la résonance entraîne avec elle deux conséquences qu'il ne faut pas perdre de vue :

1^{re}) Puisque la résonance est basée sur une accumulation d'énergie pendant un nombre quelquefois assez considérable de périodes successives, on obtient l'effet désiré non pas dès l'application de la force mais avec un certain retard : un système travaillant à la résonance paraîtra donc un peu "paresseux".

2^{de}) Les effets sélectifs de résonance sont moins nets lorsque la force agissante ou le système sur lequel elle agit sont notablement amortis.

École Supérieure des Postes et Télégraphes.

3^{ème} Leçon.

Cours de T. S. F.
à l'usage du Personnel.

Généralités sur la Production des Oscillations amorties.

Sommaire.

Accouplement. — Action d'un système oscillant possédant une certaine quantité d'énergie sur un autre système oscillant. — Nécessité d'un intermédiaire. Pratiquement les deux systèmes sont accordés c'est à dire ont même période propre.

Accouplements serrés, lâches, très lâches.

Etude du phénomène. Production d'une vibration complexe qui est la somme de deux vibrations simples dont les périodes sont l'une plus grande, l'autre plus petite que la période commune de deux systèmes.

Accouplement mécanique de deux systèmes. — Exemples.

Accouplement de deux circuits oscillants. — Accouplements magnétique et accouplement électrique.

Accouplement optimum. — Existence et Importance.

Distinction des phénomènes produits par l'action d'une force périodique et l'accouplement de deux systèmes.

Production des oscillations amorties.

Rôle de l'étincelle. Mécanisme de la décharge.

Pertes dans le circuit oscillant : pertes dues à la résistance et en particulier à la résistance de l'étincelle ; pertes dues aux effluves ; pertes dues à l'hystérésis diélectrique ; pertes dans les conducteurs voisins du circuit oscillant. — Amortissement causé par les émissions. Utiles d'énergies à des circuits accouplés avec des circuits oscillants.

Éléments constitutifs du circuit oscillant :

Condensateur : Condensateur à air. - Condensateur à lames de verre.
Tubes Mosconi. - Capacité d'un condensateur. -
Groupement des condensateurs. - Énergie.

Self-induction.

Relateur : - Généralités sur les relateurs.

Sources d'énergie. - Machines électrostatiques ; dynamos à haute tension ; batteries de piles ou d'accumulateurs ; courant alternatif.

Bobine d'induction. Interrupteurs :

Interrupteur à marteau ; - Interrupteur à turbine ; -
Interrupteur Klingelfuss. - Interrupteur de Foucault. -
Interrupteur électrolytique. Interrupteur à vibrateurs.

Construction des bobines :

Primaire et Secondaire. - Façon de désigner les bobines d'induction. - Importance de la résistance du secondaire.
Bobine Rochefort de 50 centimètres. - Bobine Marconi de 25 centimètres.

Accouplement.

Dans la dernière leçon, nous avons considéré l'action d'une force périodique sur un système, c'est à dire l'action d'une cause capable de fournir en permanence de l'énergie à ce système ; nous allons passer maintenant à l'étude de l'accouplement de deux systèmes capables d'oscillations, c'est à dire à l'étude de l'action d'un système qui possède une quantité déterminée d'énergie qu'il a préalablement emmagasinée sur un autre système. Cette action entre systèmes suppose nécessairement l'existence d'un intermédiaire capable de la transmettre.

Dans ces conditions des oscillations dans l'un des systèmes entraînent la production d'oscillations dans l'autre.

Le système qui possède tout d'abord l'énergie est appelé primaire, et le système sur lequel il agit est appelé secondaire. Mais si le primaire agit sur le secondaire, il y a forcément réaction du secondaire sur le primaire en vertu du principe de la réciprocité de l'action et de la réaction.

Si la réaction du secondaire est forte, l'accouplement est dit serré.

Si cette réaction est assez faible pour ne pas modifier

sensiblement, les oscillations du système primaire on dit que l'accouplement est lâche.

On chiffre le degré d'accouplement au moyen d'une quantité que l'on appelle coefficient d'accouplement, ce que l'on désigne par la lettre μ .

Un moyen simple d'obtenir des actions injérantes entre deux systèmes consiste à utiliser les propriétés de la résonance; c'est à dire à rendre les périodes propres de deux systèmes égales entre elles. Pratiquement c'est dans ces conditions que l'on opère habituellement, c'est à dire que les systèmes sont accordés.

• Accouplements mécaniques.

I. - Prenons deux vibrateurs identiques, ayant par conséquent même période propre, suspendus l'un à côté de l'autre à une barre légèrement flexible. Mettons l'un d'eux en vibration, l'autre étant au repos. Nous remarquons que peu à peu, le vibrateur qui était au repos entre en vibration, sous l'action des légers fléchissements de la barre de suspension qui dans ce cas constitue l'intermédiaire. Si au lieu de cette barre on avait par exemple une poutre absolument indéformable, l'intermédiaire serait supprimé et il n'y aurait plus d'action.

A mesure que l'amplitude du second vibrateur augmente celui du premier diminue et au bout d'un certain temps, l'amplitude du vibrateur primaire s'est annihilée tandis que celle du vibrateur secondaire a pris une valeur à peu près égale à celle qu'avait l'amplitude initiale du vibrateur primaire; toute l'énergie que possédait primitivement le primaire est passée dans le secondaire, l'égalisation faite de l'énergie dissipée.

A partir de ce moment les rôles sont inversés, c'est le vibrateur secondaire qui va devenir primaire et rendre son énergie au primaire. Les phénomènes précédents vont donc se reproduire mais en sens inverse.

Les échanges successifs d'énergie entre primaire et secondaire dureront jusqu'à ce que toute l'énergie disponible dans le primaire ait été dissipée en chaleur par les frottements mécaniques.

Cet exemple correspond à un accouplement serre.

Si les vibrateurs étaient suspendus à une barre moins flexible ou plus loin l'un de l'autre de façon à ce que l'accouplement soit lâche, l'énergie que le primaire communiquerait au secondaire resterait faible et la réaction du secondaire sur le primaire serait également faible bien que sensible. Il n'y aurait

plus d'arrêt du vibreur primaire, mais simplement des variations périodiques de l'amplitude de son mouvement.

Si l'accouplement était très lâche, les oscillations du primaire resteraient pratiquement les mêmes après le couplage qu'avant, la réaction aurait pratiquement disparu.

II. - Prenons deux pendules de même longueur, c'est à dire de même période et suspendons-les à une ficelle bien tendue; si l'on fait osciller l'un d'eux, il agit sur la ficelle à qui il imprime une torsion; cette torsion agit sur l'autre pendule qui se met en mouvement. Si l'on serrait la ficelle dans une pince, c'est à dire si on supprimait la torsion de la ficelle, qui joue le rôle d'intermédiaire, aucun phénomène d'accouplement ne se produirait.

On peut à l'aide de ces deux pendules faire les mêmes expériences qu'avec les vibreurs. Ici l'accouplement est d'autant plus lâche que les pendules sont plus distantes l'un de l'autre.

Si on n'était pas à la résonance il se produirait des actions d'un système sur l'autre c'est à dire des phénomènes d'accouplement; mais ces actions seraient faibles et l'échange d'énergie serait peu important.

Si dans l'expérience des vibreurs on supprime le vibreur primaire au moment où des amplitudes sont nulles pour la première fois c'est à dire au moment où il a cédé toute son énergie au secondaire, le secondaire continue à osciller librement avec sa période et son amortissement propres jusqu'à ce que toute l'énergie qu'il a reçu du primaire soit dissipée.

Le système qui agit comme entraîneur subit de la part de l'entraîné une réaction qui retarde son mouvement, tandis qu'inversement, l'entraîné accélère le sien.

Le mouvement de chacun des systèmes est donc tantôt retardé, tantôt accéléré et on conçoit qu'il puisse être représenté en toute rigueur par la somme de vibrations dont les périodes sont l'une plus grande, l'autre plus petite que la période propre commune aux deux systèmes. Lorsqu'il y a amortissement, c'est de la somme de deux mouvements périodiques amortis qu'il s'agit.

Si le coefficient d'accouplement est k et la période propre commune aux deux systèmes T_0 les périodes des deux vibrations composantes des mouvements du primaire et du secondaire sont :

$$T' = \frac{T_0}{\sqrt{1+k}} \quad T'' = \frac{T_0}{\sqrt{1-k}}$$

Pour les accouplements très lâches k est très petit et les périodes des deux mouvements se rapprochent de la période commune des deux systèmes. Mais en même temps les actions des systèmes l'un sur l'autre deviennent plus faibles et l'énergie communiquée au secondaire reste petite. Le mouvement du primaire n'est pas modifié par la présence du secondaire qui est soumis pratiquement à l'action d'une force périodique de faible amplitude. On obtient donc dans ce cas une véritable résonance quand les systèmes sont accordés.

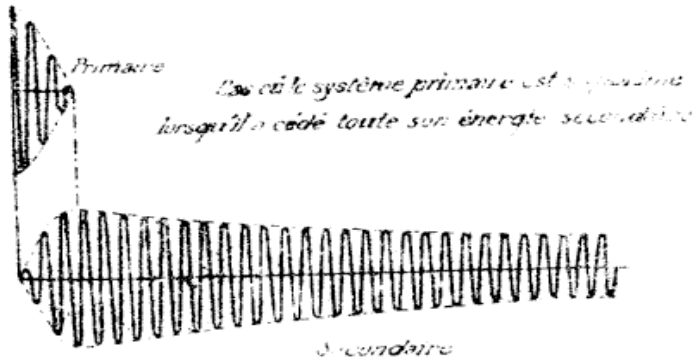
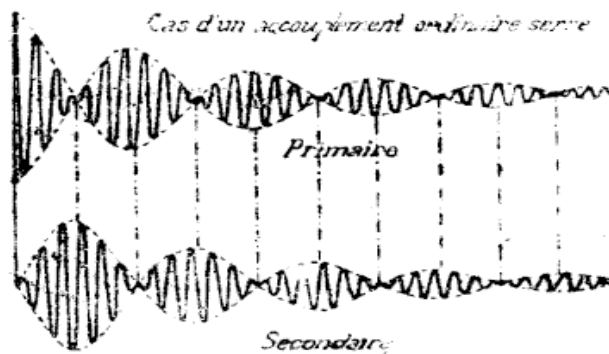


Fig. 1

Fig. 1^{bis}

Dans le cas général les deux systèmes réagissent l'un sur l'autre jusqu'à ce que l'énergie totale qu'ils possédaient le primaire soit complètement dissipée par les deux systèmes. Dans le cas, où le système primaire est supprimé dès qu'il a cédé toute son énergie au secondaire; ce dernier continue à osciller librement avec sa période et son amortissement propre, à partir de ce moment Fig 1.

Accouplement de deux circuits oscillants.

L'accouplement de deux circuits oscillants peut être obtenu soit par l'intermédiaire du champ magnétique, soit par l'intermédiaire du champ électrique.

Accouplement magnétique. — Dans le cas de l'accouplement magnétique on fait agir le circuit primaire sur le circuit secondaire par l'intermédiaire d'un transformateur d'oscillations (schéma fig. 2). On appelle ce montage, montage par induction

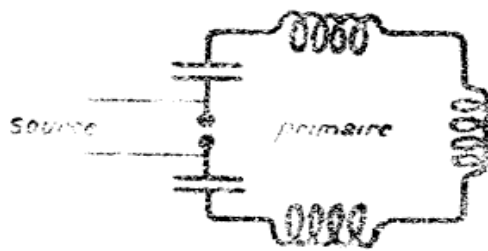


Fig. 2

chacun une ou plusieurs spires, et disposés de façon à agir par induction magnétique l'un sur l'autre. On peut en général faire varier les positions relatives des enroulements du primaire et du secondaire de façon à rendre l'accouplement réglable.

Lorsqu'au lieu d'un transformateur ordinaire, on

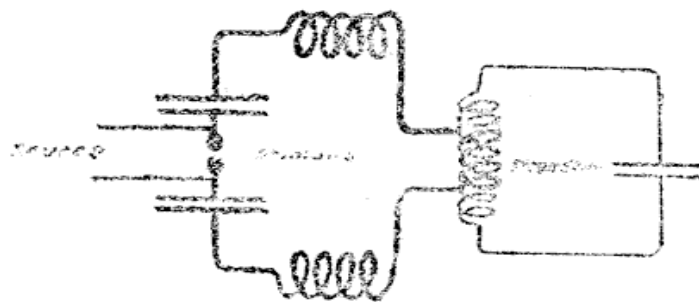


Fig. 3

emploie un auto-transformateur, c'est-à-dire un transformateur à un seul enroulement, le schéma devient celui de la fig. 3. Dans ce cas particulier c'est comme si le secondaire avait quatre spires

confondues avec quatre spires du primaire.

Avec ce montage on fait varier l'accouplement en modifiant le nombre de spires communes. On appelle ce montage : montage direct, montage Ordin ou montage en dérivation.

L'effet de dérivation qui résulte de la présence d'une résistance commune aux deux circuits, est insignifiant car cette résistance est toujours négligeable. Le terme montage en dérivation désigne donc simplement le mode de montage et non pas le mode d'action.

Accouplement électrique. — L'influence réciproque des

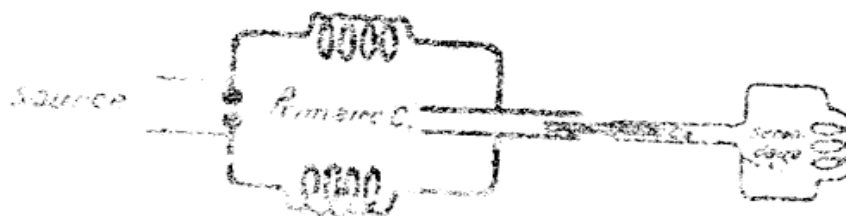


Fig. 4

deux circuits oscillants peut être causée par le champ électrique compris entre les armatures d'un condensateur placé

dans l'un d'eux.

Dans le cas de la figure 4, dès qu'un champ électrique existe entre les armatures du condensateur C_2 , il se produit une différence de potentiel

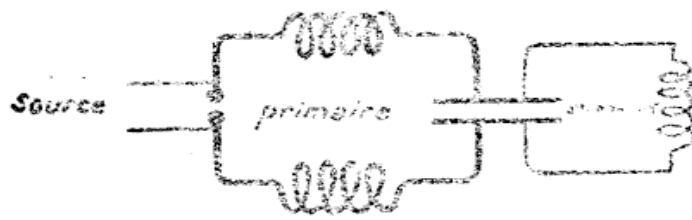


Fig. 5.

entre les armatures du condensateur C_2 . Des oscillations dans le primaire en produisent donc d'autres dans le secondaire.

Pratiquement les

circuits accouplés électriquement ont en commun toute leur

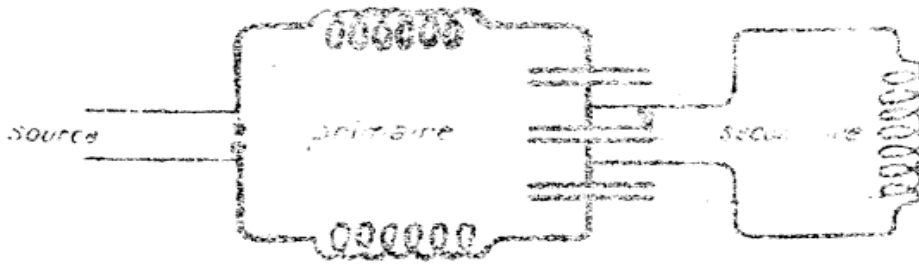


Fig. 6.

capacité ou une partie de leur capacité. Les fig. 5 et 6 donnent des exemples d'accouplement électrique.

Accouplement optimum. — Il existe dans chaque cas particulier un certain accouplement qui permet pour un $\frac{1}{2}$ énergie primaire donnée de communiquer au secondaire un maximum d'énergie; cet accouplement est appelé accouplement optimum. Le phénomène est très facile à mettre en évidence lorsque le secondaire est peu amorti; si au contraire le secondaire est fortement amorti c'est en général l'accouplement le plus serré, pratiquement réalisable qui donne les meilleurs résultats.

Lorsque deux systèmes sont accouplés si on veut obtenir le maximum d'énergie dans le secondaire on doit donc réaliser deux conditions suivantes:

1° Il faut qu'il y ait résonance entre le primaire et le secondaire, même dans le cas de forts amortissements primaires (impulsion ou choc).

2° Il faut régler l'accouplement à sa valeur optimale. Ce second réglage est non moins indispensable que le premier.

Il ne faut pas confondre résonance et accouplement qui sont deux choses différentes. Le phénomène de résonance est

dû à l'action d'une force périodique sur un système.

Une force périodique fournit constamment de l'énergie au système sur lequel elle agit ; elle lui communique des oscillations forcées de sa fréquence. Lorsque la période de la force est la même que la période propre du système, l'amplitude des oscillations forcées est maxima : il y a alors résonance. Il n'y a jamais dans ce cas production d'oscillations complexes qui sont la somme de deux oscillations de périodes différentes.

L'étude de l'accouplement de deux systèmes suppose au contraire que l'un d'eux possède une certaine quantité d'énergie bien déterminée qu'il a emmagasinée préalablement. Ce système peut agir sur le système secondaire par un intermédiaire. Inversement le secondaire réagit sur le primaire.

Il y a évidemment action réciproque de systèmes lorsqu'ils n'ont pas la même période c'est à dire lorsqu'ils ne sont pas accordés ; mais cette action reste faible.

Production d'oscillations amorties.

Si un condensateur est déchargé brusquement dans un circuit peu résistant comprenant une self-induction et un éclateur on obtient une décharge oscillante amortie, l'amortissement est d'autant plus grand que la résistance totale du circuit est plus grande.

Normalement un tel circuit est ouvert, par la coupure qui existe entre les deux électrodes de l'éclateur ; il est complété brusquement et automatiquement par l'étincelle qui jaillit lorsque la différence de potentiel entre les deux électrodes de l'éclateur, c'est à dire la différence de potentiel entre les bornes du condensateur a atteint une valeur déterminée. La fonction de l'étincelle est de rendre l'air conducteur au moment où le voltage entre les électrodes de l'éclateur a atteint la valeur correspondant à la distance qui sépare ces électrodes et de compléter ainsi le circuit oscillant qui présentait une coupure.

Les potentiels explosifs correspondants à deux sphères métalliques de 1 centimètre de rayon placées dans l'air à la pression ordinaire sont indiqués dans le tableau ci-après :

Tableau.

Longueur de l'étincelle en millimètres	Potentels acceptés correspondants
1	4.700
2	3.400
3	11.400
4	14.500
5	17.500
10	31.300
15	40.300
20	47.400
25	53.000
50	69.800

Par résistance d'un circuit oscillant, il faut entendre non-seulement la résistance des parties métalliques, mais encore celle de l'étincelle qui fait partie du circuit et qui est beaucoup plus importante.

On peut rendre la résistance de l'étincelle très grande en employant des bobines pyrotechniques. On obtient dans ce cas une décharge très amorce qui ne contient que quelques oscillations complètes. Ces étincelles très éclatantes s'appellent étincelles brèves ou étincelles de Wica. Elles sont utilisées dans les émissions dites par impulsion ou par choc.

La période des oscillations produites par la décharge d'un condensateur est donnée par la formule de Thomson $T = 2\pi\sqrt{LC}$, comme nous l'avons vu dans la précédente leçon. Il faut cependant remarquer que cette formule suppose que la résistance du circuit oscillant est négligeable, et ne permet plus d'obtenir qu'une approximation lorsque la résistance du circuit oscillant est grande dans le cas des étincelles de Wica par exemple.

Le mécanisme de la décharge oscillante est le suivant :

Représentons-nous un condensateur formé par deux armatures métalliques séparées par un diélectrique; lorsqu'il est chargé d'une certaine quantité d'électricité, on le relie par des tubes de caoutchouc allant d'un conducteur à l'autre. Et à l'intérieur de ces tubes le diélectrique dans un état de tension élastique est en équilibre et c'est la cause de l'attraction que l'on constate entre les deux conducteurs chargés. Charger l'un des conducteurs, l'attraction sur les tubes caoutchouc; si on pousse ainsi par les deux tubes conducteurs, mutuellement et constamment en équilibre.

Les tubes de Faraday tendent à se raccourcir et leurs extrémités peuvent glisser librement à la surface des corps conducteurs.

Supposons qu'on réunisse brusquement les deux armatures du condensateur par un fil conducteur. Les extrémités du tube le plus voisin des points de contact avec le fil de décharge, vont glisser le long de ce fil et venir se rencontrer; le tube disparaissant au milieu du fil. Mais alors les tubes les plus voisins qui, étaient maintenus par la pression latérale du tube qui vient de disparaître, deviennent libres et s'évanouissent à leur tour comme lui.

Le mouvement en sens inverse des quantités d'électricité, égales et de signe contraire comprise aux extrémités du tube correspond à un courant dont la naissance est accompagnée de l'apparition d'un champ magnétique. L'énergie potentielle du champ électrique est donc remplacée par l'énergie cinétique d'un champ magnétique.

Les tubes de force magnétiques naissent à la surface du conducteur et constituent des anneaux qui entourent le fil et se dilatent en s'en écartant. Mais le champ pénètre aussi à l'intérieur du conducteur quoique beaucoup plus lentement que dans le diélectrique.

Lorsque le condensateur est complètement déchargé il n'existe plus aucun tube de force électrique, le courant dans le fil est maximum et le champ magnétique contient toute l'énergie du système. Mais ce champ ne subsiste pas, il commence à disparaître, les tubes de force se contractent à nouveau vers le fil, redonnant un champ électrique de sens inverse du champ primitif. Ces transformations se répètent tant qu'il y a de l'énergie disponible.

Puisque le champ magnétique pénètre très lentement à l'intérieur des conducteurs, il n'atteint jamais la partie centrale si le diamètre du conducteur est grand et surtout si les oscillations sont rapides. Le courant reste donc localisé au voisinage de la surface du conducteur en une couche dont l'épaisseur est d'autant plus faible que la fréquence est plus grande.

Les causes de l'amortissement ne sont pas seulement la résistance ohmique du circuit, y compris celle de l'étincelle. Les pertes d'énergie par effluves, les pertes d'énergie dans le diélectrique, les pertes d'énergie dans des conducteurs voisins, ainsi que les émissions de rayons, produisent à certains circuits une partie notable de l'amortissement.

Les pertes causées par la résistance du conducteur sont

négligeables devant celles qu'entraînent la grande résistance de l'étincelle.

Les effluves sont produites par deux causes:

1° Lorsque un conducteur est chargé à un très haut potentiel statique, de petites aiguilles lumineuses partent des pointes et des arêtes vives, ce phénomène s'observe facilement avec les machines à influence, il a peu d'importance en T.S.F., sauf lorsqu'on utilise des condensateurs constitués par des plaques dans l'air.

2° Lorsque des oscillations parcourent des conducteurs de fines étincelles ramifiées partent des bords des armatures des condensateurs et courent à la surface du diélectrique et cela même lorsque les tensions en jeu ne sont pas très élevées. Ces effluves sont celles qu'il faut le plus redouter, elles entraînent non seulement une perte d'énergie, mais encore une irrégularité de la fréquence. Les petites décharges causent, en effet, un accroissement apparent de la capacité, qui diminue la fréquence propre du circuit. De plus, ces effluves se produisant irrégulièrement, l'accroissement apparent de la capacité va de zéro à un certain maximum, ce qui fait que la fréquence propre du circuit est variable. Les oscillations n'ont plus une fréquence unique, mais leur fréquence oscille entre certaines limites qui, il est vrai, sont assez rapprochées.

Lorsqu'un champ électrique alternatif rapidement variable s'établit dans un diélectrique, il se produit toujours des pertes par hystérésis diélectrique. Pour certains isolants ces pertes sont assez élevées et ne peuvent être négligées devant les pertes causées par la résistance de l'étincelle. On peut assimiler ces pertes à celles qui se produisent dans un ressort imparfait qui s'échauffe lorsqu'il est soumis à des tractions et des compressions répétées.

Éléments constitutifs du circuit oscillant.

1° Condensateur. — Les condensateurs sont constitués par des surfaces métalliques séparées par des lames diélectriques. On les réalise sous deux formes:

Condensateur à lames et boutons de Leyde

Condensateur à lames d'air. — La forme la plus simple consiste en feuilles de métal parallèles séparées par de l'air; toutes les feuilles de rang pair sont réunies ensemble et constituent une armature, toutes les feuilles de rang impair sont reliées ensemble et constituent la deuxième armature. Les condensateurs à air utilisés pour la transmission sont très encombrants, les connexions

Allant aux autres parties du circuit, sont longues, et par conséquent entraînent une augmentation de la self qui peut être gênante.

Condensateur à lames de verre. — Le mieux est d'employer le verre comme isolant. La place de l'air, l'encombrement est beaucoup moindre. Dans les mêmes conditions le volume est environ 50 fois moindre. En général ces condensateurs sont constitués par des feuilles métalliques séparées par des lames de verre; les feuilles de rang pair réunies ensemble constituent une armature; les feuilles de rang impair l'autre armature. L'ensemble est noyé dans le pétrole afin d'éviter la formation d'effluents sur les bords des parties métalliques.

Bouteilles de Leyde. — L'un des meilleurs modèles est le tube Moseleki. Il est constitué par un tube en verre métallisé sur ses deux faces. Le verre est perforé au bout à l'endroit où les armatures se terminent, parce que c'est là qu'en général les ruptures se produisent sous l'effet de la tension. L'ensemble est muni d'un tube protecteur en cuivre maintenu en contact électrique avec l'armature extérieure par de l'eau glycolée.

La capacité d'un condensateur, est donnée par la formule:

$$C = \frac{1}{10^9} K \frac{S}{4\pi e} \quad (\text{en microfarads})$$

S est la surface de chacune des deux armatures, en centimètres carrés, e l'épaisseur du diélectrique en centimètres; K la perméabilité diélectrique ou pouvoir inducteur spécifique du isolant, $\pi = 3,1416$.

Le pouvoir inducteur spécifique de l'air est égal à 1; celui du verre est compris entre 6,6 et 10 selon les échantillons.

La capacité augmente donc lorsque l'épaisseur du diélectrique diminue. Elle ne peut cependant pas diminuer cette épaisseur au-dessous d'une certaine limite, parce que le diélectrique doit pouvoir supporter dans ce point le voltage appliqué entre les armatures du condensateur. La tension que peut supporter un diélectrique est approximativement proportionnelle à son épaisseur; elle est d'environ 2000 volts par centimètre pour le verre et de 30000 volts pour l'air.

Les condensateurs peuvent, comme les plus, être montés en série ou en parallèle. On emploie le premier montage lorsque

Le diélectrique d'un seul condensateur ne pourrait pas supporter la tension utilisée. On monte dans ce cas un certain nombre de condensateurs identiques en série, la tension supportée par chacun d'eux est égale à la tension totale divisée par le nombre des condensateurs. Mais la capacité de l'ensemble est égale à la capacité d'un des condensateurs divisée par le nombre des condensateurs montés en série.

Dans le montage en parallèle, chaque condensateur supporte évidemment toute la tension, mais la capacité de l'ensemble est la somme des capacités des divers condensateurs.

On peut aussi faire des groupements mixtes, en mettant en parallèle plusieurs ensembles de condensateurs montés en série.

Exemples. — I. Montage en série de 3 condensateurs de 0,03 microfarad pouvant supporter chacun 40.000 volts.

La capacité de l'ensemble est $\frac{0,03}{3} = 0,01$ microfarad.

La tension que peut supporter l'ensemble est :
 $40.000 \times 3 = 120.000$ volts.

II. Montage en parallèle de 3 condensateurs de 0,03 microfarad pouvant supporter chacun 40.000 volts.

La capacité totale est de $0,03 \times 3 = 0,09$ microfarad.

La tension que peut supporter l'ensemble est 40.000 volts.

Énergie. — La quantité d'énergie emmagasinée dans un condensateur de capacité C farads chargé au potentiel V est

$$\frac{1}{2} CV^2 \quad (\text{Joules})$$

Exemple. Un condensateur de 0,03 microfarad chargé à 40.000 volts possède une énergie de

$$\frac{0,03 \times 10^{-6} \times (40.000)^2}{2} = \frac{48}{2} = 24 \text{ joules.}$$

2° Self-induction. — Elles sont constituées ordinairement par des hélices ou des spirales planes en tube de cuivre ou en ruban de cuivre. Les spires successives sont isolées l'une de l'autre par de l'air.

3° Éclateurs. — L'éclateur joue un rôle très important dans la production des oscillations par étincelles.

Sous sa forme la plus simple il est constitué par deux boules métalliques placées l'une en face de l'autre.

Pour éviter l'échauffement dans le cas des puissances assez grandes on remplace les sphères par des cylindres, des tores ou des plateaux; l'étincelle

peut ainsi varier, et l'élévation de température et l'usure se trouvent réduites.

Dans le cas des fortes puissances on fait tourner les deux cylindres autour de leurs axes.

Tous les éclateurs précédents sont symétriques, il en existe d'autres qui sont asymétriques.

Ils sont constitués, par exemple, par une pointe en regard d'un plateau, ou un tube en regard d'un plateau.

Lorsqu'on veut éviter le bruit des étincelles on enferme l'éclateur dans une boîte à parois épaisses.

On peut, pour une longueur d'étincelle donnée, augmenter la différence de potentiel d'éclatement en plaçant l'éclateur dans un gaz comprimé.

Pour éviter la formation d'un arc après la décharge ce qui empêcherait ensuite toute charge ultérieure on envoie sur l'étincelle un jet d'air puissant destiné à rompre l'arc, dès qu'il s'allume ou bien on emploie un éclateur formé par deux pointes mobiles l'une par rapport à l'autre (éclateurs tournants).

Lorsqu'on veut obtenir une étincelle très résistante, on emploie des éclateurs à électrodes très rapprochées formés par des disques ou des cylindres en regard. Ordinairement dans ces éclateurs les étincelles sont fractionnées c'est à dire qu'elles sont formées de plusieurs étincelles partielles en séries. De tels éclateurs sont employés dans le cas de l'excitation par impulsion ou par choc.

Nous décrivons les éclateurs en détail en même temps que les différents systèmes de transmission.

Sources d'énergie.

Dans tout système destiné à produire des oscillations amorties par la décharge d'un condensateur il faut disposer d'une source d'énergie capable de charger le condensateur avant chacune des décharges.

Les machines électro-statiques donnent bien une haute tension, mais elles sont incapables de fournir un débit appréciable.

Il faut recourir à l'emploi des dynamos à courant continu de haute tension, ou des courants alternatifs dont on élève la tension au moyen de transformateurs ordinaires.

On peut aussi utiliser les batteries d'accumulateurs d'un grand nombre d'éléments fournissant également une solution moins

on abandonne de plus en plus cette disposition en raison du prix de revient, des installations, de leur difficulté d'entretien et d'isolement, et aussi de la nécessité d'avoir dans la plupart des cas deux batteries l'une en charge et l'autre en décharge.

Bobine d'induction.

Dès le début de la Radiotélégraphie, on a eu recours à la bobine d'induction ou bobine de Ruhmkorff pour obtenir à l'aide de courant continu à basse tension des charges à haute tension.

En principe la bobine d'induction est un transformateur à circuit magnétique ouvert comprenant un primaire à petit nombre de spires dans lequel on fait passer du courant continu interrompu et un secondaire à très grand nombre de spires. Le courant continu est fourni par une batterie d'accumulateurs ou de piles ; par une distribution d'éclairage à courant continu ou par une dynamo.

L'organe essentiel est l'interrupteur qui sert à transformer le courant continu en courant interrompu. Plus son action est brusque, plus la vitesse de variation du flux magnétique qui traverse le secondaire est grande, et plus la force électromotrice produite dans ce circuit est grande.

On ne peut songer à utiliser la variation de flux produite par l'établissement du courant lors de la fermeture de l'interrupteur, car la vitesse de variation du courant est relativement faible. Cette vitesse est indépendante du fonctionnement de l'interrupteur ; elle ne dépend que des constantes électriques du circuit. Le circuit primaire d'une bobine possédant en général une self notable comparée à sa résistance le courant produit par une force électromotrice fixe ne peut s'établir que lentement.

Au contraire, on peut augmenter la vitesse de la rupture en se servant d'interrupteurs rapides fonctionnant dans le gaz d'éclairage, l'alcool ou d'autres milieux isolants.

On diminue l'étincelle de rupture qui tend à prolonger le contact par le moyen classique qui consiste à shunter l'interrupteur par un condensateur de forte capacité. Ce condensateur protège le contact contre l'usure due à l'étincelle et améliore le fonctionnement de la bobine, puisque la diminution de l'étincelle correspond à une coupure plus brusque. On monte en général ce condensateur de façon qu'il shunte à la fois le contact de l'interrupteur et le

contact de travail du manipulateur. Ce condensateur qu'on appelle condensateur primaire est un simple condensateur isolé au papier paraffiné.

La réalisation d'interrupteur pouvant couper des courants importants est délicate.

Interrupteurs. — Interrupteur à marteau.

L'interrupteur le plus simple est l'interrupteur à

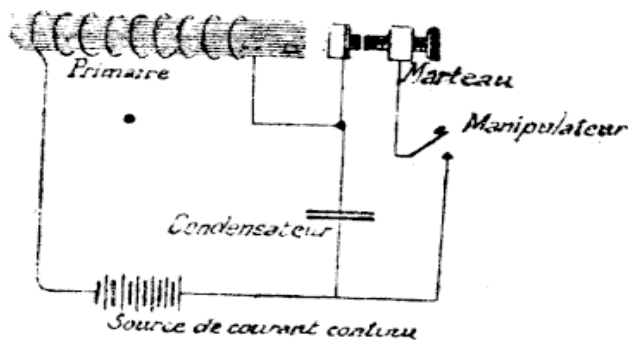
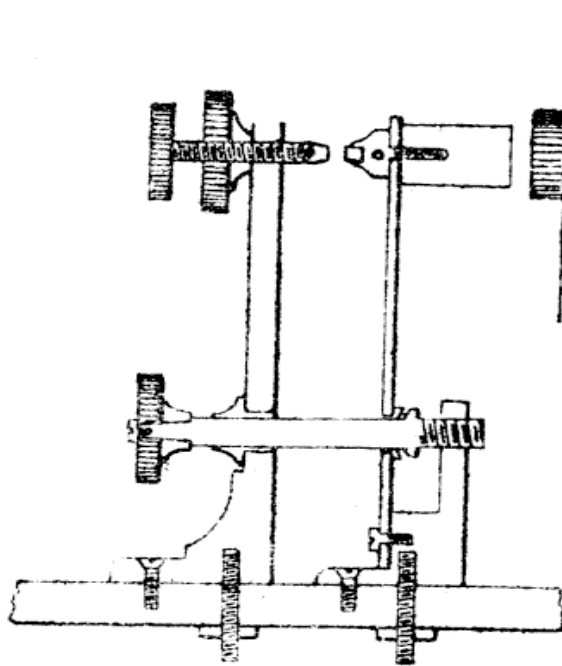


Fig. 7

marteau dont est munie la bobine de Ruhmkorff ordinaire. Il fonctionne à la façon d'une sonnerie trembleuse. Il ne peut couper que des intensités faibles : une dizaine d'ampères au plus.

Le schéma de montage de la bobine munie d'un interrupteur à marteau et de son

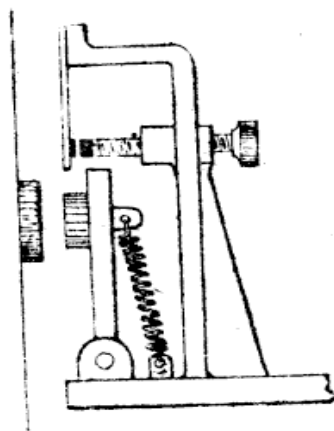
condensateur primaire est représenté par la figure 7.



Interrupteur à marteau

La figure 8 représente un interrupteur dû à Apps. Dans ce modèle on peut augmenter plus ou moins la pression du marteau sur son contact de travail à l'aide d'une vis de réglage. La rupture est ainsi retardée et ne se produit que lorsque l'attraction exercée sur le marteau est devenue assez forte ; la vitesse de rupture est ainsi augmentée. La fréquence des interruptions dépend de la pression exercée par la vis de réglage elle varie de 10 à 50.

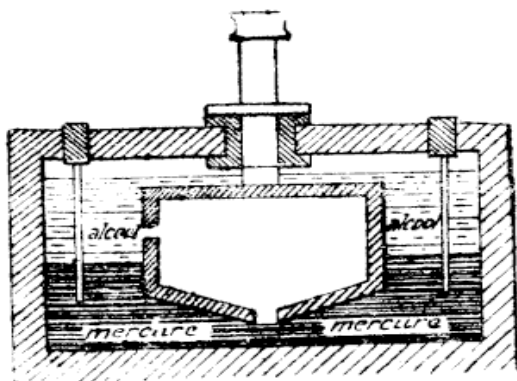
La figure 9 représente un modèle dans lequel le contact est porté par un ressort flexible. L'interruption du courant se fait au moment où le marteau qui a déjà acquis une certaine vitesse vient heurter la lame flexible, elle a donc lieu brusquement.



Interrupteur à marteau

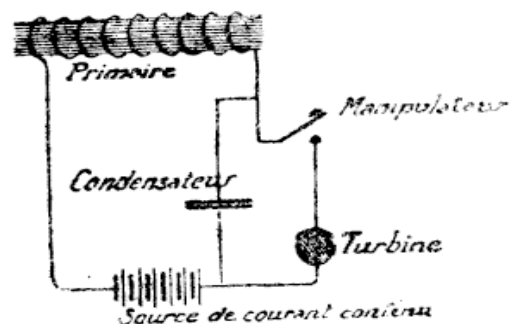
Les contacts des interrupteurs à marteau s'usent assez rapidement; ils demandent à être rafraîchis de temps à autre à l'aide d'une lime fine.

Interrupteur à turbine. — Dans le modèle de Gaiffe, la turbine est constituée par une toupie en fonte qui tourne rapidement autour d'un axe vertical sous l'action d'un moteur (fig 8). Sa partie inférieure percée d'un trou plonge dans du mercure contenu dans un vase en fonte. La partie supérieure du vase est remplie soit d'alcool ou de pétrole, soit de gaz d'éclairage. Un autre orifice à la partie supérieure de la toupie sert à projeter le



Interrupteur à turbine

Fig 8



Montage de la bobine avec Interrupteur à turbine

Fig 9

mercure sous l'action de la force centrifuge. Tout d'abord l'alcool ou le gaz est projeté hors de la coupie ce qui provoque l'aspiration du mercure qui est projeté à son tour sous forme d'un jet qui tourne en même temps que la coupie et vient rencontrer une ou plusieurs lames de cuivre isolées de l'ensemble de l'appareil. Le montage à employer avec cet interrupteur est représenté par la figure 9.

Interrupteur Klingelschuss. — L'Administration française utilise dans certaines de ses stations l'Interrupteur Klingelschuss. Un balai métallique frotte contre un cylindre qui tourne autour de son axe et dont la surface est alternativement isolante et conductrice. L'ensemble est plongé dans un mélange de mercure et de phtale dans des proportions telles qu'il soit isolant, mais amalgame constamment les surfaces en contact. Les interrupteurs permettent de couper jusqu'à 35 ampères. La fréquence des interruptions peut varier de 25 à 120. Le montage à employer est le même qu'avec les interrupteurs précédents.

Interrupteur de Foucault. — L'Interrupteur genre Foucault du type Rochefort se compose d'une tige conductrice entraînée par un moteur qui lui communique un mouvement rapide vertical de va et vient. La tige vient plonger dans un bain de mercure recouvert d'une couche d'alcool pendant sa descente. La montée de la tige rompt le contact; cette rupture doit se produire lorsque la tige est animée de sa vitesse maxima, c'est à dire à peu près au milieu de sa course. Le montage à employer est le même qu'avec les interrupteurs précédents.

Interrupteur électrolytique. — Cet interrupteur se compose dans sa forme primitive utilisée par Wenckelt d'un vase rempli d'une dissolution d'acide sulfurique à 20% dans lequel plongent une lame de plomb formant l'électrode négative et un fil de platine de 1 à 2 mm de diamètre enroulé de quelques millimètres hors d'un tube de verre ou de porcelaine percé à sa partie inférieure.



Interrupteur Wenckelt

Fig. 10.

Dans une autre forme le vase contenant la solution d'acide est cloisonné et dans chacune des parties plonge une large électrode de plomb. La cloison est percée de petits trous. Le passage du courant à travers ces trous dégage de la chaleur qui entraîne la formation de bulles de vapeur qui interrompent



Montage de la bobine
avec l'Interrupteur Wienell

Fig. 11

le courant. Ces interrupteurs montés en série avec un self de réglage fonctionnent très bien pour des intensités moyennes. On ne monte pas de condensateur primaire en élimination sur cet interrupteur (fig. 11).

Interrupteurs à vibrateurs — L'interrupteur peut être constitué par une lame vibrante dont le

mouvement est entretenu : électriquement par un électro-aimant spécial ; ou comme dans le système Magunna par un diapason entretenu par une courroie agissant à la façon d'un archet sans fin. La lame vibrante peut aussi être mise en action mécaniquement chaque fois qu'on appuie sur le manipulateur ; il suffit alors que la vibration de la lame persiste au-delà de la durée d'un trait.

Construction des bobines. — Le primaire qui est gros et court est enroulé sur un faisceau de fils de fer doux ; il est isolé du secondaire par un tube épais en ébonite. Le secondaire est bobiné en galettes, c'est à dire que le fil est enroulé en spirales dans des



Fig. 12

plans perpendiculaires à l'axe, les spirales sont alternativement du centre vers la périphérie et de la périphérie vers le centre et chaque spirale est isolée de ses voisines par une galette d'isolant. On évite ainsi que des fils voisins présentent des différences de potentiel importantes. Ceci se produirait inévitablement si on bobinaït les secondaires en coques, car dans ce cas deux spirales appartenant à des couches successives pourraient être séparées électriquement par un nombre de spires correspondant au double du nombre des spires contenues dans une couche : les couches, si voisines devraient donc être séparées par des tubes isolants très épais. Dans la bobine en galettes le nombre de spires qui sépare deux spirales situées de chaque côté d'une galette est au plus égal au double du nombre des spires d'une galette. Et quoiqu'on juge que ce nombre de spires est grand on peut employer des galettes isolantes dont les épaisseurs sont alternativement croissantes vers le centre ou vers la périphérie (fig. 12). On obtient ainsi une bien meilleure utilisation de l'isolant.

On désigne généralement les bobines par leur longueur maxima en centimètres de l'étincelle qu'elles peuvent fournir à vide entre leurs bornes secondaires.

On ne tarda cependant pas à reconnaître que la longueur d'étincelle ne constitue pas un critérium suffisant. Pour qu'une bobine soit bonne, il faut qu'elle donne

une grande longueur d'étincelle dans des conditions d'utilisation; c'est à dire lorsqu'une capacité est placée en dérivation aux bornes du secondaire. On remarquera ainsi que la section du fil secondaire doit être d'autant plus forte que la bobine est destinée à charger des capacités plus importantes. Il est donc préférable de juger la qualité d'une bobine par la longueur de l'étincelle qu'elle peut donner lorsqu'elle travaille sur une capacité de 0,1 microfarad par exemple.

On peut expliquer l'énorme diminution de la longueur de l'étincelle en passant du régime à vide au régime de charge en considérant ce qui se passe lorsqu'on charge une capacité à travers une forte résistance à l'aide d'une force électromotrice constante. La différence de potentiel aux bornes de la capacité ne prend pas instantanément sa valeur

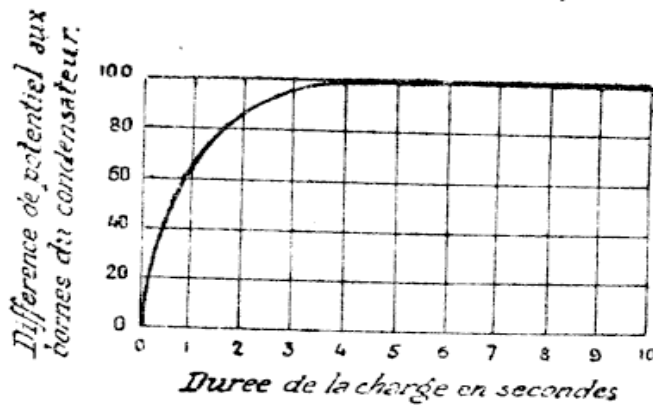


Fig. 13

finale, mais croît lentement et on peut admettre que lorsqu'on charge une capacité C à travers une résistance R le voltage final est pratiquement atteint qu'après un temps égal à $5CR$ secondes.

La fig. 13 montre l'augmentation de la différence de potentiel entre les bornes d'une capacité de 1 microfarad chargé à travers un mégohm. Dans ce cas la durée pratique de charge est $5 \times 10^{-6} \times 10^6 = 5$ secondes.

Le voltage de la source est supposée égal à 100 ce qui fait que la courbe permet de lire immédiatement le pourcentage du voltage final atteint après un temps quelconque. — Les forces électromotrices développées dans le secondaire d'une bobine d'induction sont élevées mais durent très peu de temps, le temps que dure la rupture du courant dans le primaire. Cette force électromotrice charge la capacité du circuit oscillant à travers la résistance du primaire. Par conséquent au moment où la force électromotrice va disparaître la différence de potentiel atteinte entre les bornes de la capacité ne représente qu'une faible fraction de la valeur de la force électromotrice développée. On a donc été conduit à construire des bobines spéciales pour les usages radiotélégraphiques à secondaires peu résistants qui ont un bon fonctionnement sur condensateur.

La bobine Rochefort ou bobine de 50 centimètres comporte un primaire très gros et très court enroulé en une ou deux galettes placées au milieu du noyau, elle donne 50 centimètres d'étincelles à circuit ouvert. Son fonctionnement sur condensateur est très bon. Elle peut aussi être alimentée en courant alternatif.

La bobine de 25 centimètres de la Compagnie Marconi qui travaille sous 100 volts a les caractéristiques suivantes:

Primaire	Secondaire
Résistance 0,20 ohms	Résistance 6.500 ohms
Self-induction 0,015 henry	Self-induction 625 henrys
Rapport de transformation 160:1 — Capacité du condensateur prim ^{re} 1,5 microfarad.	

Ecole Supérieure des Postes et Télégraphes.

Cours de T.S.F.
à l'usage du Personnel

4^{ème} Leçon.

La
Charge des Condensateurs
au moyen d'une force électromotrice
alternative.

Sommaire.

I. Emploi d'une force électromotrice alternative.

Le système de charge des condensateurs au moyen d'une force électromotrice alternative permet l'utilisation d'un matériel simple et robuste.

La mise en résonance du circuit de charge avec la force électromotrice est nécessaire.

La condition de résonance est exprimée par la formule $LC\omega^2 = 1$.
Dans le cas où la charge se fait par l'intermédiaire d'un transformateur de rapport de transformation a , cette condition devient $LCa^2\omega^2 = 1$.

Surdension et coefficient de surdension.

II. Etude de la charge du condensateur.

Différentes allures de la charge selon la valeur de la force électromotrice au moment du commencement de la charge.

Courbes d'amplitudes.

III. Choix du moment auquel il faut produire la décharge.

Pour obtenir le meilleur rendement et le plus grand nombre d'étincelles possibles il faut décharger après une demi-période.

Emissions à une étincelle à l'alternance. — Etude du régime.

Production des décharges. —

A - Mécaniquement par l'emploi d'un éclateur tournant asynchrone.

B - Automatiquement par l'emploi d'un éclateur fixe.

Emission avec satisfaction de l'étincelle. — Audibilité. — Rendement.

Emission à étincelles rares.

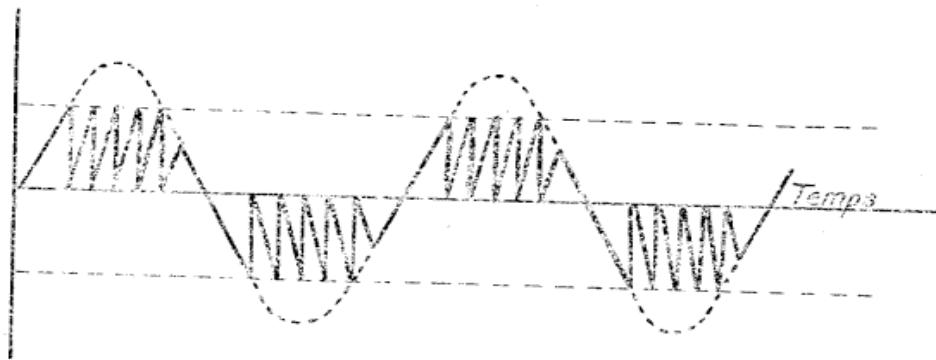
IV. Conclusions.

Emploi d'une force électromotrice alternative.

Le courant alternatif que fournissent les alternateurs permet d'obtenir du courant de haute tension à l'aide d'un simple transformateur industriel.

La charge des condensateurs au moyen d'une force électromotrice alternative permet donc l'usage d'un matériel courant simple, robuste et d'un prix de revient avantageux.

Si les deux électrodes de l'éclateur sont très rapprochées on obtient plusieurs décharges par alternance. La différence de potentiel entre



Différence de potentiel aux bornes de la Capacité

Fig. I

les armatures du condensateur part de zéro, croît et atteint la valeur du potentiel explosif correspondant à la distance entre les électrodes : une étincelle éclate et le condensateur se dé-

charge, la différence de potentiel entre ses armatures tombe donc brusquement à zéro. La charge recommence et l'étincelle jaillit à nouveau, et ainsi de suite. Le fig. I correspond à 5 décharges par alternance.

Il faut remarquer que les décharges ne sont pas régulièrement espacées.

Si l'on opère ainsi sans précaution non seulement les décharges sont irrégulières mais le rendement est mauvais et en général il se forme un arc entre les électrodes de l'éclateur après la première décharge. L'étincelle est, en effet, relativement peu résistante et si la différence de potentiel créée par la source entre les bornes du condensateur au moment de la décharge est suffisante, le courant s'écoule directement par la source à travers l'étincelle peut être suffisant pour allumer un arc. L'arc formé absorbera à peu près toute l'intensité que peut fournir la source et la différence de potentiel entre les électrodes de l'éclateur restera faible : toute nouvelle charge

suivie de décharge est ainsi rendue impossible. En fait, même lorsqu'il n'y a pas production d'un arc la source débite toujours un peu à travers l'étincelle; il y a de ce fait une certaine quantité d'énergie de perdue.

Pour empêcher la formation d'un arc, on peut soit souffler énergiquement l'étincelle au moyen un courant d'air capable de rompre l'arc, soit employer un éclateur tournant dans lequel l'arc est rompu par suite de l'éloignement des deux parties métalliques entre lesquelles l'étincelle se produit.

Utilité de l'établissement de la résonance. — On supprime en partie les inconvénients précédents en s'arrangeant pour qu'après chaque décharge, la différence de potentiel entre les bornes du condensateur croisse très lentement à partir de zéro. La théorie montre que cette différence de potentiel croît le plus lentement possible lorsque le circuit de charge est réglé de façon que sa période propre soit la même que celle de la force électromotrice agissante: c'est-à-dire, lorsqu'il y a résonance entre la force électromotrice périodique appliquée et le circuit de charge du condensateur. L'établissement de la résonance augmente aussi le rendement.

Condition de résonance. — Supposons d'abord que la charge se fasse directement sans l'intermédiaire d'un transformateur-élevateur de tension. Le schéma sera celui de la figure 2. Si L désigne la self-induction de l'alternateur augmentée de la self de réglage, c'est-à-dire la self induction totale du circuit de charge et C la capacité du condensateur, la période propre du circuit est d'après

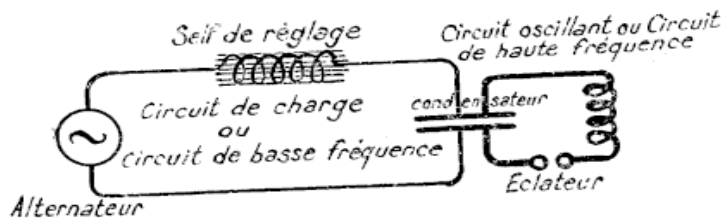


Fig. 2

la formule de Thomson :

$$T = 2\pi\sqrt{LC}$$

Ce qui peut aussi s'écrire :

$$LC\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 = 1$$

La quantité $\left(\frac{2\pi}{T}\right)$ est la pulsation, on la désigne par ω .

Puisqu'à la résonance, la période propre du circuit doit être égale à la période de la force électromotrice; ω doit être aussi la pulsation de la force électromotrice de l'alternateur.

La condition de résonance s'écrit donc :

$$L.C.\omega^2 = 1$$

Dans cette formule L désigne la self induction totale du circuit de charge, C la capacité à charger et ω la pulsation de la force électromotrice agissante. Cette condition ne dépend pas que des constantes électriques du circuit, mais encore de la force électromotrice appliquée.

Exemple. — Quelle est la valeur de la self induction à monter en série avec un alternateur de fréquence 50 qui débite sur une capacité de 0,1 microfarad pour obtenir la résonance?

La self inductance circuit est donnée par la formule $L.C.\omega^2 = 1$, d'où l'on tire $L = \frac{1}{C.\omega^2}$.

C'est-à-dire dans le cas considéré :

$$L = \frac{1}{0,1 \times 10^{-6} \times (2\pi \times 50)^2} = \frac{10^7}{(314,16)^2} = \frac{10^7}{9,86 \times 10^4} = 100 \text{ henrys}$$

Pour avoir la valeur de la self de réglage à ajouter dans le circuit de charge, il suffit de retrancher la valeur de la self propre de l'alternateur de la valeur totale de la self qui ici est de 100 henrys.

Quand la résonance est établie, la différence de potentiel aux bornes du condensateur peut devenir et s'élève progressivement, l'action de l'alternateur tend à augmenter indéfiniment l'amplitude de la tension aux bornes du condensateur et se produit comme dans tous les cas où l'on utilise la résonance une accumulation progressive d'énergie. Cependant cette accumulation est limitée car les oscillations de l'énergie du circuit donnent lieu à des pertes; ces pertes croissent en même temps que grandit l'énergie déjà accumulée. Il arrive un moment où la puissance fournie par la force électromotrice devient juste égale à la puissance dissipée et à partir duquel l'énergie accumulée dans le circuit ne s'accroît plus. On est alors en état de régime permanent.

Théoriquement, ce régime permanent ne peut être atteint qu'après un temps infini; pratiquement, on peut considérer qu'il est atteint au bout d'un temps assez court.

A partir de ce moment, la force électromotrice E n'est plus utilisée qu'à vaincre les résistances passives R du circuit, le courant qu'elle fournit est donc donné par la loi d'ohm.

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

Sur-tension. — Appelons E la force électromotrice de l'alternateur et V la différence de potentiel atteinte en régime permanent entre les bornes du condensateur; on désigne le rapport $\frac{V}{E}$ sous le nom de coefficient de sur-tension. La valeur de E ce coefficient peut atteindre 10. Pratiquement, on la

limite à 6 pour des raisons que nous donnerons dans la suite.

L'emploi des transformateurs employés dans un circuit de charge, a été calculé en tenant compte des tensions, qu'elles ont véritablement à supporter pendant les fonctionnements, il faut tenir compte de l'effet de la surtension et ne pas tabler uniquement sur la force électromotrice et le rapport de transformation adaptés.

Ainsi avec une force électromotrice de 110 volts, on pourrait charger un condensateur à 1500 volts, si le circuit de charge était accordé avec la force électromotrice à condition toutefois qu'il ne dissipe pas trop d'énergie.

Si on utilise la résonance pour produire des surtensions, on n'atteint le voltage fixé qu'après plusieurs périodes et on est arrêté pratiquement pour le temps nécessaire à la charge. La fréquence des charges que l'on peut obtenir est faible par rapport à celle de la force électromotrice.

D'autre part, le rendement diminue lorsque le nombre des périodes nécessaires à la charge augmente.

Emploi des Transformateurs. — Il résulte de ce qui précède qu'il ne faut pas chercher à profiter de la surtension pour obtenir des charges à haute potentialité, il est préférable d'utiliser dans ce but un transformateur auto-inductif la fig. 3.



Fig. 3

Dans ce cas, le circuit de charge ou circuit de haute fréquence comprend deux circuits distincts, l'un à basse fréquence, l'autre à haute tension.

Habituellement

on fait le réglage de la résonance à l'aide d'une self placée de préférence dans le circuit à basse tension. L'isolemant de la bobine est ainsi plus facile à assurer. Les bobines utilisées dans ce but sont des bobines à noyau de fer du type industriel. Leur self est réglable par variation de l'enfoncement du noyau dans la bobine.

Supposons que le transformateur employé soit un transformateur par rapport de transformation 2 et que le courant et la tension avant le transformateur soient

pour valeurs I et V . Le courant et la tension après le transformateur seront $\frac{I}{a}$ et aV . La puissance reste naturellement la même.

Un condensateur de capacité C chargé par le circuit secondaire à la tension aV emmagasinerait une énergie potentielle égale à $\frac{1}{2} C a^2 V^2$; c'est l'énergie qui serait emmagasinée par un condensateur de capacité $C a^2$ chargé directement à la tension primaire.

Une self-induction L montée dans le secondaire est traversée par le courant $\frac{I}{a}$; elle emmagasine une énergie cinétique égale à $\frac{1}{2} \frac{L}{a^2} I^2$; c'est l'énergie qui serait emmagasinée par une self égale à $\frac{L}{a^2}$ montée dans le primaire et parcourue par l'intensité I .

Une résistance R montée dans le secondaire est parcourue par un courant d'intensité $\frac{I}{a}$; la puissance qu'elle dissipe est $\frac{R}{a^2} I^2$; c'est la puissance qui serait dissipée par une résistance $\frac{R}{a^2}$ montée dans le primaire.

Par conséquent, si le secondaire d'un transformateur profite de rapport de transformation a débite dans un circuit de capacité C , de self L et de résistance R tout se passe dans le primaire, comme si le transformateur étant supprimé, on ajoutait dans ce circuit une capacité $C a^2$, une self $\frac{L}{a^2}$ et une résistance $\frac{R}{a^2}$. Les quantités $C a^2$, $\frac{L}{a^2}$, $\frac{R}{a^2}$ sont les valeurs des éléments du secondaire ramenés au primaire.

Une self d'accord placée dans le circuit à haute tension, outre qu'elle serait difficile à isoler, aurait donc un effet beaucoup moindre que la même self placée dans le primaire; c'est une nouvelle raison pour monter la self de réglage dans le primaire à basse tension, comme l'indique la figure 3.

Avec le montage de la figure 3 le condensateur placé dans le secondaire a , au point de vue de ce qui se passe dans le primaire, le même effet qu'une capacité $C a^2$, placée directement dans ce circuit; ce qui fait que la condition de résonance devient

$$L C a^2 \omega^2 = 1$$

Exemple: Quelle est la valeur de la self-induction à monter en série avec un alternateur de fréquence 50 qui charge une capacité de 0,1 microfarad par l'intermédiaire d'un transformateur de rapport de transformation égal à 20?

La self totale du circuit sera égale à la valeur trouvée.

dans l'exemple précédent, divisée par $(20)^2$, c'est-à-dire 400 ; soit environ à 0,25 henry. En retranchant de 0,25 henry la self de l'alternateur on trouve la valeur de la self de réglage.

Les bons transformateurs industriels à circuits magnétiques fermés ne s'écartent pas beaucoup du transformateur parfait ; ils sont employés en radiotélégraphie, sous le nom de transformateurs à résonance.

Cependant on utilise le plus souvent des transformateurs à noyau droits avec fuites magnétiques. Les fuites magnétiques agissent comme des selfs-inductions qui seraient intercalées dans les circuits primaire et secondaire si elles ne sont pas trop considérables. Elles rapprochent le circuit de charge de la condition de résonance. La self d'accord devient très faible et même avec des transformateurs présentant des fuites convenablement calculées, elle peut devenir inutile.

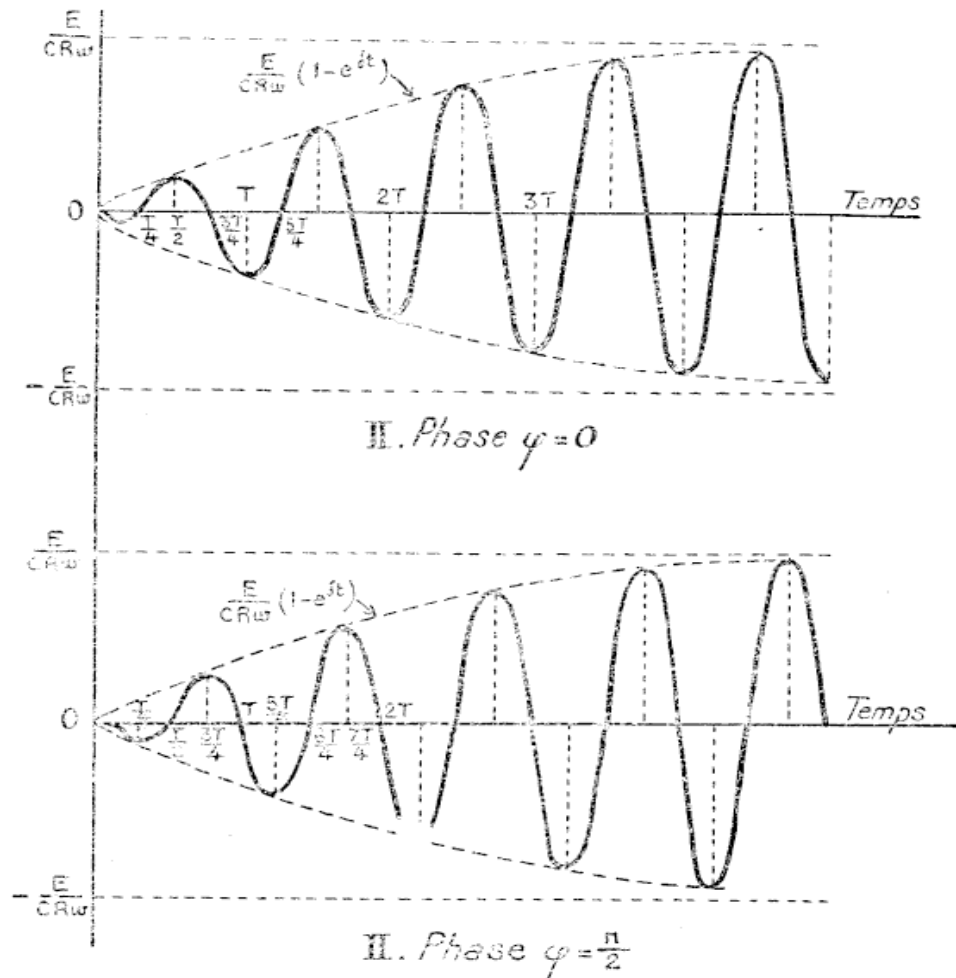
Réglage de la résonance — Ce réglage n'interessant que le circuit de charge à basse fréquence, doit être fait, le circuit de décharge étant supprimé ; c'est-à-dire étant déconnecté ou l'éclateur étant écarté de façon qu'il ne se produise pas d'étincelle. La force électromotrice étant réglée exactement à la fréquence voulue on fait varier progressivement la valeur de la self de réglage du primaire jusqu'à ce qu'on ait le maximum d'intensité dans le circuit de charge lu à un ampèremètre ordinaire monté dans ce circuit.

Etude de la charge du condensateur.

Les courbes représentatives de la différence de potentiel aux bornes d'un condensateur chargé par une force électromotrice alternative varient de forme selon la valeur qu'a cette force électromotrice au moment où la charge commence ; ou comme l'on dit selon sa phase.

Quelle que soit cette phase, les zéro et maxima de tension, à l'exception des deux premiers, sont régulièrement espacés entre eux, les intervalles de temps qui les séparent étant égaux à la demi période de la force électromotrice de charge ; mais leurs positions varient par rapport au moment où commence la charge.

La figure 14 indique les positions extrêmes que peuvent occuper les zéros et les maxima. La courbe I correspond au cas où la force électromotrice est nulle au moment du



Différence de potentiel aux bornes du condensateur
pour une force électromotrice sinusoïdale de valeur E et de période T

$$\delta = \frac{R}{2L}$$

Fig. 4

commencement de la charge (phase $\varphi = 0$) et la courbe II correspond au cas où la force électromotrice a sa valeur maxima (phase $\varphi = \frac{\pi}{2}$)

Pour les autres phases possibles, les courbes de tension ont des formes comprises entre les deux précédentes ou leurs symétriques par rapport à l'axe des temps.

Toutes ces courbes sont tangentes aux courbes d'amplitudes tracées en pointillé. Ces courbes d'amplitudes sont elles-mêmes asymptotes à deux droites qui limitent des amplitudes en régime permanent.

Choix du moment auquel il faut produire la décharge.

Natuellement, le but poursuivi est la production de décharges oscillantes à intervalles réguliers. L'énergie des oscillations produites sera égale aux pertes près à l'énergie accumulée dans le circuit à basse fréquence si la décharge a lieu à un moment où toute cette énergie est emmagasinée dans le condensateur sous forme d'énergie potentielle. On profite ainsi de toute l'énergie accumulée dans le circuit de charge.

On conçoit donc, que pour le rendement soit maximum il faille que la décharge se produise à un moment où la différence de potentiel entre les armatures du condensateur est maximum. De plus, à ce moment, sauf pour le premier maximum, la force électromotrice qui agit sur le circuit de charge est nulle. Le courant dans le circuit de charge est également nul.

Le régime vers lequel il faut tendre est donc un régime dans lequel la décharge a lieu pour un des maxima de la différence de potentiel aux bornes du condensateur. Il faut toutefois éliminer le premier maximum pour lequel la force électromotrice n'est pas nulle au moment de la décharge; c'est-à-dire au commencement de la charge suivante. Lorsqu'on se place dans ce cas la différence de potentiel aux bornes du condensateur croît comme l'indique la courbe 1 de la figure 4; toutes les charges successives sont identiques (au signe près de la différence de potentiel) et ont la même durée. Le bruit produit par les étincelles, si leur nombre est suffisamment élevé est donc un son musical.

Il reste à préciser quel est celui des maxima que l'on doit choisir comme moment de la décharge.

En point de vue pratique, il a été reconnu que dans beaucoup de cas il est désirable d'avoir un grand nombre d'étincelles par seconde, de façon à ce que la hauteur du son perçu aux téléphones à la réception, soit relativement grande. Les fréquences d'étincelles actuellement les plus employées varient de 500 à 1200.

Pour avoir beaucoup d'étincelles, il faut réduire la durée du temps de charge au minimum. L'augmentation de la fréquence des alternances à laquelle on peut songer se heurte à de graves difficultés de construction. On est donc conduit à décharger le condensateur après la première demi-période (le premier maximum de la différence de potentiel).

Cette façon d'opérer a de plus l'avantage de procurer le meilleur rendement possible.

Chaque maximum de la différence de potentiel aux bornes du condensateur correspond bien à un maximum de rendement, mais, parmi tous ces maxima de rendement, un choix est à faire.

Nous avons dit qu'à chaque demi-période l'action de la source tend à augmenter l'énergie oscillante du circuit de charge, mais en même temps que les amplitudes des oscillations croissent, les pertes d'énergies croissent également, et il arrive un moment où pratiquement toute la puissance fournie par la source est consommée. Le gain d'énergie du circuit par demi période ou alternance devient donc de plus en plus petit alors que l'énergie fournie par la source reste la même.

Appelons W l'énergie fournie par la source pendant une alternance, et $W_1, W_2, W_3, \dots$ les accroissements successifs de l'énergie du circuit de charge pendant la première, la deuxième, la troisième, ..., la $n^{\text{ième}}$ alternance.

Les quantités $W_1, W_2, W_3, \dots$ d'après ce que nous venons de dire vont en décroissant. Le rendement après la première alternance est : $\frac{W_1}{W}$, après la seconde $\frac{W_1 + W_2}{W}$, après la troisième $\frac{W_1 + W_2 + W_3}{W}$ etc....

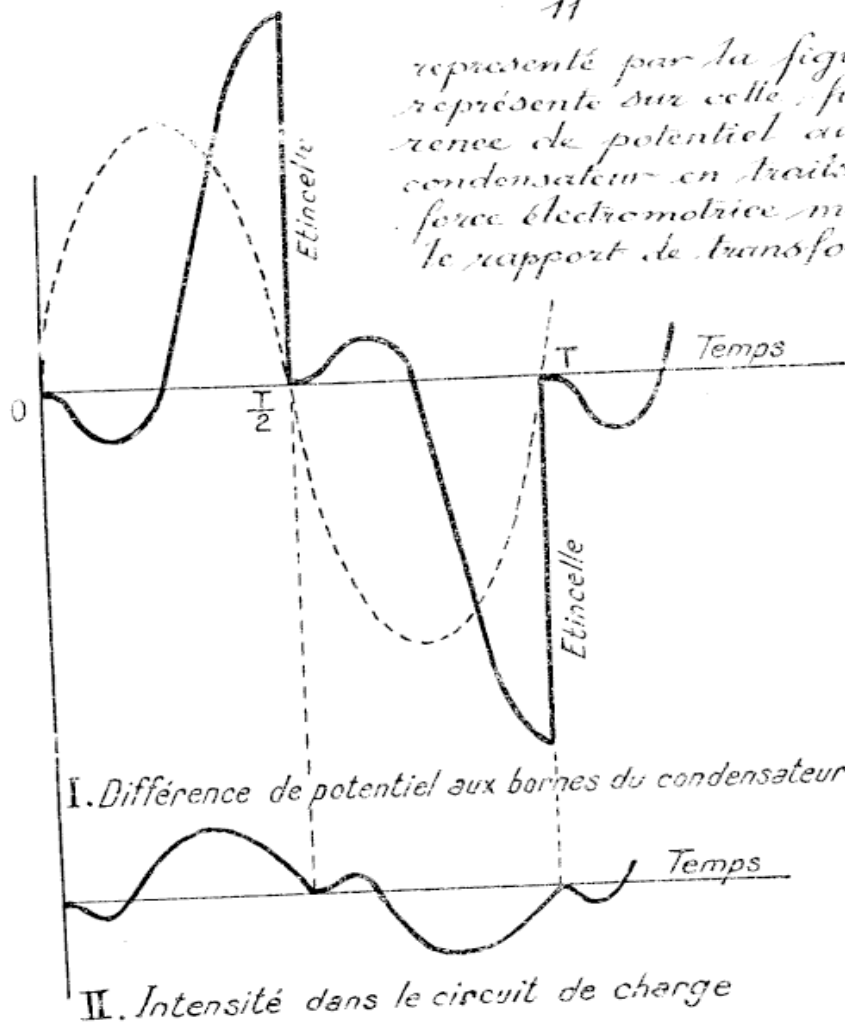
Puisque les numérateurs de ces fractions croissent ² W moins vite que les dénominateurs, leurs valeurs sont de plus en plus petites ; ce qui montre bien que le plus grand rendement correspond au maximum de la différence de potentiel qui a lieu après la première alternance. Ce rendement est naturellement d'autant plus élevé que l'énergie dissipée pendant la première alternance est plus faible, c'est à dire que la surtension est plus grande.

En calculant les valeurs du rendement suivant que la décharge a lieu après la première, la deuxième ou la troisième alternance. Dans le cas particulier d'un poste pour lequel la surtension a une valeur égale à 6, on trouve les nombres ci-dessous :

Une étincelle par alternance	Rendement	0, 33
deux alternances		0, 60
trois alternances		0, 50

Dans la plupart des stations modernes, à étincelles, où la charge se fait par courant alternatif, on a adopté le principe de l'étincelle à l'alternance.

Le régime de charges et de décharges successives est :



Charges et décharges successives du condensateur en régime musical
(Force électromotrice alternative - Une étincelle à l'alternance)

pointillé.
Dana.
l'exemple
choisi, la
surtension
est telle
que la
différence
de poten-
tiel aux
bornes du
condensa-
teur est
déjà, après
une demi-
période
supérieure
à la force
électromo-
trice mul-
tipliée par
le rap-
port de
transfor-
mation.

Fig. 5

Production des décharges.

On peut produire une succession régulière de décharges satisfaisant aux conditions précédentes, soit mécaniquement soit automatiquement.

Dans le premier cas l'étincelle éclate à intervalles réguliers à chaque passage des pointes de l'électrode mobile d'un éclateur tournant devant l'électrode fixe.

Dans le second cas, une étincelle éclate automatiquement.

chaque fois que la tension, entre les électrodes d'un éclateur fixe, a atteint une valeur déterminée par la distance explosive.

A. Réalisation mécanique avec l'emploi d'un éclateur tournant synchrone. — Un éclateur tournant, s'il est synchrone et muni d'un nombre convenable de pointes permet d'obtenir d'une façon simple des décharges rigoureusement espacées d'une demi-période. La façon la plus simple d'avoir un synchronisme parfait entre l'éclateur et la force électromotrice, consiste à euter ce dernier sur l'arbre même de l'alternateur qui produit le courant.

Mais il ne suffit pas d'avoir le synchronisme qui permet d'obtenir une décharge toutes les demi-périodes ; il faut de plus que cette décharge ait lieu exactement au moment du maximum de différence de potentiel entre les deux bornes du condensateur. Pour atteindre ce résultat il faut que l'éclateur, soit convenablement orienté.

L'éclateur lui-même et l'électrode fixe peuvent être déplacés l'un par rapport à l'autre de façon à permettre cette orientation. Il y a là quelque chose d'analogue au fonctionnement d'un appareil télégraphique synchrone, d'un Hughes par exemple, pour lequel il ne suffit pas d'établir le synchronisme pour recevoir la lettre. En effet, il faut encore prendre soin d'orienter convenablement la roue des types par le moyen du "rappel au blanc"; précaution sans laquelle les lettres transmises seraient traduites par d'autres lettres, toujours les mêmes, mais en retard ou en avance, d'un certain nombre de lettres.

Si l'éclateur est mal calé, les étincelles sont toujours avec la périodicité voulue, mais le rendement n'est plus le rendement maximum ; un décalage même très faible de l'éclateur par rapport à sa position normale produit une forte diminution de ce rendement.

D'autre part, si l'éclatement est retardé, la machine peut avoir à supporter avant la décharge une tension plus grande que celles qui correspondent au potentiel explosif.

Il faut d'autre part s'arranger, pour que chaque décharge soit très courte vis à vis de l'intervalle qui sépare deux points consécutifs. On peut y arriver, soit en fonctionnant l'étincelle, soit en écartant les pointes et en accroissant la vitesse périphérique de la poutrelle, en augmentant le diamètre du disque. Pour des oscillations suffisamment fortes, correspondant à de grandes longueurs d'ondes, on peut réaliser l'oscillation

par l'impulsion par ce dernier procédé.

On peut aussi associer un éclateur synchrone à un autre éclateur. En choisissant un éclateur à étincelles éteintes, d'un type quelconque, on réalise un ensemble possédant la régularité des éclateurs synchrones et les qualités des éclateurs à étincelles éteintes.

B. Réalisation automatique par l'emploi d'un éclateur fixe. — On peut, en réglant convenablement la force électromotrice (en agissant sur l'excitateur lorsqu'il s'agit d'un alternateur) obtenir une décharge à l'alternance.

Avec l'éclateur fixe une décharge se produit exactement chaque fois que la différence de potentiel entre les bornes du condensateur a atteint la valeur du potentiel explosif correspondant à l'écartement des électrodes de l'éclateur. Mais cette valeur du potentiel explosif varie d'une décharge à la suivante car les décharges successives ne laissent pas un éclateur exactement dans le même état. L'usure des électrodes, leur échauffement ainsi que celui de l'air, l'ionisation de l'air font varier le potentiel explosif pour une distance d'électrodes donnée. Aussi l'intervalle de temps compris entre deux décharges consécutives oscille-t-il constamment entre deux limites. Ces limites sont d'autant plus voisines que la transmission est mieux réalisée.

Dans ces conditions la charge ne commencera plus exactement au moment où la force électromotrice est nulle et les charges successives différeront un peu entre elles, mais leurs formes resteront toutes très voisines de celle de la courbe 1 de la fig. 4.

Si l'on veut que l'étincelle éclate certainement, il faut rapprocher les électrodes de l'éclateur un peu plus qu'à la distance correspondant à la différence de potentiel maxima entre les bornes du condensateur après une alternance. Si on n'y prenait pas ainsi, le moindre dérèglement ferait « rater » l'étincelle qui se produirait avec presque une demi-pluie de retard. Ce rapprochement des électrodes oblige à renoncer volontairement au rendement maximum.

Les transmissions à éclateurs fixes les plus perfectionnées sont pourvuës d'éclateurs à étincelles éteintes.

Emissions avec excitation de l'étincelle. — On peut régler la distance des électrodes d'un éclateur fixe de façon que la décharge ne se produise qu'après 2, 3, 4, ... alternances.

On atténue ainsi l'effet de l'irrégularité du fonctionnement d'un éclateur fixe. L'écart entre le temps qui s'écoule entre deux

décharges consécutives et le temps moyen qui s'écoule entre deux décharges devient de plus en plus petit comparé à l'intervalle de temps qui sépare deux décharges.

Il est donc d'autant plus facile d'obtenir un son musical pour que la durée de la charge est plus grande. Malheureusement cette condition est incompatible avec un bon rendement et rend difficile l'obtention de notes aiguës.

Pour obtenir un bon fonctionnement, il faut avoir soin d'établir le circuit de charge de façon que les amplitudes successives des maxima de différence de potentiel entre les bornes du condensateur soient bien différents pour les deux ou trois premières périodes. On obtient ce résultat en diminuant les pertes c'est à dire en augmentant la surtension.

On ne peut cependant pas trop augmenter les surtensions, car alors les moindres irrégularités dans la fréquence de force électromotrice sont capables de produire des dérèglages importants. Ordinairement on ne dépasse pas 6 pour la valeur du coefficient de surtension.

Aujourd'hui on a abandonné le principe de la raréfaction; on se contente de la musicalité des émissions à une étincelle par alternance qui est bonne dans les postes bien construits. La raréfaction entraîne, en effet, une trop forte diminution du rendement. De plus pour une fréquence d'étincelles donnée elle exige l'emploi d'un alternateur de fréquence relativement élevée; si on veut obtenir 300 étincelles à la seconde dans le cas d'une étincelle chaque deux périodes il faut un alternateur de fréquence 600.

Dans le cas d'une étincelle à l'alternance, il suffit d'un alternateur de fréquence 150.

Or il est très avantageux d'avoir à construire un alternateur dont la fréquence ne soit pas trop élevée; au delà de la fréquence 1000 la construction devient très spéciale.

Dans certaines stations on peut modifier la raréfaction. Pour cela on dispose de deux moyens:

a) Faire varier la longueur de l'étincelle c'est à dire le potentiel explosif; la durée de la charge se trouve ainsi modifiée. Si on rapproche les électrodes les étincelles sont plus fréquentes et chaque décharge correspond à une énergie moindre. Si on écarte les électrodes; c'est l'inverse qui se produit.

b) Faire varier la force électromotrice, sans modifier la longueur de l'étincelle. Si par exemple on augmente la force électromotrice, les amplitudes successives de la courbe de charge

sont toutes augmentées, et l'étincelle se déte après un nombre moindre d'alternances. La fréquence des décharges est ainsi augmentée; et comme l'énergie de chaque décharge est restée la même, la puissance du poste est augmentée. Si on veut maintenir la puissance constante il faut que lorsqu'on augmente le nombre de décharges on diminue en même temps la distance entre les électrodes de l'éclateur.

On fait varier la force électromotrice d'un alternateur en agissant sur son excitation.

Emissions à étincelles rares. — Si l'on applique la raréfaction de l'étincelle à un courant de fréquence industrielle, on obtient une émission ne présentant qu'un très petit nombre d'étincelles par seconde. Le son n'est plus musical et on entend à la réception une sorte de roulement. Avec un courant de fréquence 50 et une étincelle chaque 3 périodes on aurait 16 étincelles par seconde.

Dans les premières stations radiotélégraphiques on a quelquefois appliqué ce système. On recevait alors des machines du type industriel ou même on branchait l'émission sur un secteur électrique ordinaire à courant monophasé ce qui était une grande simplification. De plus ces systèmes sont très robustes et d'un fonctionnement très sûr.

À l'époque où l'on établissait des stations marines d'émissions de ce genre on ne recherchait pas la musicalité de la transmission; car on utilisait alors des détecteurs dont l'action était « déclanchée » par des ondes d'une certaine amplitude. L'énergie nécessaire au fonctionnement de la réception était ensuite fournie par une source locale. La portée d'un poste d'une puissance déterminée était donc augmentée lorsque l'énergie de chaque décharge était maximale.

Aujourd'hui les réceptions employées utilisent l'énergie effectivement reçue de la station de transmission; celle énergie sert à mettre en vibrations la plaque d'un téléphone et la réception se fait au son; on a donc intérêt à se servir d'émissions musicales.

Avec les étincelles rares la réception devient impossible dès que les « parasites » sont très nombreux.

Pour toutes ces raisons les émissions à étincelles rares ont été abandonnées.

Conclusions.

Conclusions. — Le système de charge des condensateurs au moyen d'une force électromotrice alternative permet l'utilisation d'un matériel simple et robuste.

Le rendement n'est bon qu'aux conditions suivantes :

1° La période propre du circuit de charge doit être égale à la période de la force électromotrice de la source.

2° Les pertes d'énergie dans le circuit de charges doivent être faibles.

3° La décharge doit être produite à chaque alternance et exactement au moment du maximum de la différence de potentiel entre les armatures du condensateur.

La musicalité est d'autant meilleure que le temps de charge est plus grand par rapport à la période de la force électromotrice qui agit sur le circuit de charge ; cette condition est incompatible avec un bon rendement.

Les variations de fréquence de la force électromotrice influent sur le réglage, le rendement et la musicalité.

Dans les stations modernes utilisant la charge parcourant alternatif, on produit en général une étincelle à l'alternance.

Lorsqu'on utilise l'éclateur aquatique, l'oscillation de cet éclateur influe largement sur le rendement.

École Supérieure des Postes et Télégraphes.

Cours de T.S.F.
à l'usage du Personnel.

5^{ème} Leçon.

La
Charge des Condensateurs
au moyen d'une force électromotrice
constante.

Sommaire.

Différentes sources de courant continu à haute tension : Accumulateurs, Dynamos.

Etude de la charge d'un condensateur au moyen d'une force électromotrice constante

Charge oscillante. Charge apériodique.

Etude de la charge oscillante.

Qualités spéciales à exiger du matériel. - Protection des machines.

Choix de l'Instant de la décharge.

La décharge après une demi période de circuit de charge correspond à la plus grande fréquence d'étincelle et au meilleur rendement.

Etude du régime. - Réglage des circuits.

Production des décharges.

Eclateur fixe et éclateur tournant.

Comparaison des procédés de charges au moyen d'une force électromotrice alternative et d'une force électromotrice constante.

On peut charger directement le condensateur d'un circuit oscillant au moyen d'une source fournissant une force électromotrice constante de haute tension.

Jusqu'à ces dernières années la seule solution possible consistait à employer des batteries d'accumulateurs. C'est celle qui fut adoptée à la station de Clifden par M. Marconi. La batterie d'accumulateurs de cette station comprend 6000 éléments donnant une force électromotrice de 12.000 volts.

Théoriquement l'emploi d'accumulateurs procure de grands avantages. La force électromotrice est constante et l'énergie est immédiatement disponible à tout instant sans qu'il y ait à mettre en marche des machines; la self-induction de la batterie est négligeable ce qui permet d'obtenir facilement n'importe quelle fréquence d'étincelles avec le meilleur rendement.

Pratiquement, les inconvénients semblent l'emporter sur les avantages. L'encombrement d'une batterie de plusieurs milliers d'éléments est forcément très grand; sa surveillance et son entretien sont difficiles; son isolement est difficile à maintenir, en raison de la tension et des vapeurs acides qui s'en dégagent constamment. Les accumulateurs, même dans les meilleures conditions pratiques de fonctionnement ne restituent pas à la décharge toute l'énergie qu'ils ont reçue lors de la charge; leur rendement ne dépasse guère 0,70 ou 0,75. Cependant l'emploi d'accumulateurs peut dispenser de la nécessité d'avoir des machines à haute tension, puisqu'on peut fractionner la batterie en plusieurs parties que l'on met en parallèles lors de la charge; mais alors, il faut prévoir toujours deux batteries l'une "en charge" l'autre "en décharge". L'emploi de machines à haute tension dispense d'avoir deux batteries d'accumulateurs, et permet la marche avec la batterie "en tension".

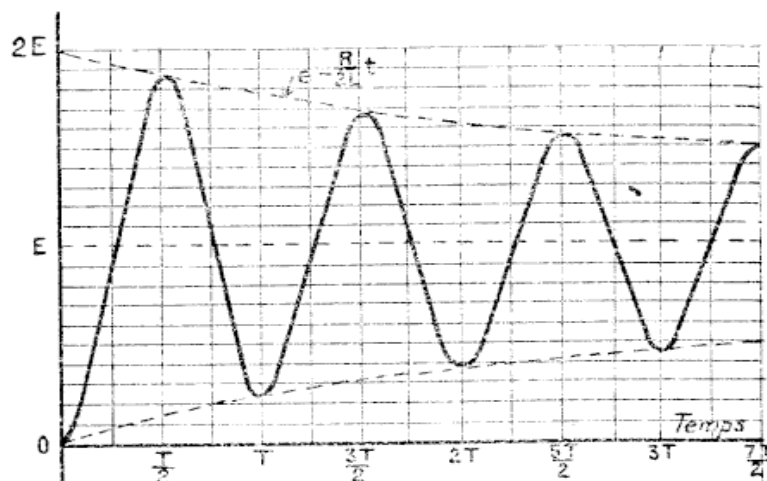
Ces inconvénients ont fait songer à abandonner les accumulateurs que l'on élimine d'ailleurs de plus en plus dans les exploitations industrielles et ont conduit à l'adoption de dynamos à haute tension chargeant directement les condensateurs. Ces machines se construisent aujourd'hui couramment pour des tensions de 10.000 et 12.000 volts. Il serait même possible d'aller plus loin sans rencontrer de difficultés sérieuses.

Étude de la charge d'un condensateur par une force électromotrice constante. - Lorsqu'on charge un condensateur à travers une self-induction au moyen d'une source produisant une force électromotrice constante, la charge est oscillante si la résistance du circuit de charge n'est pas trop grande.

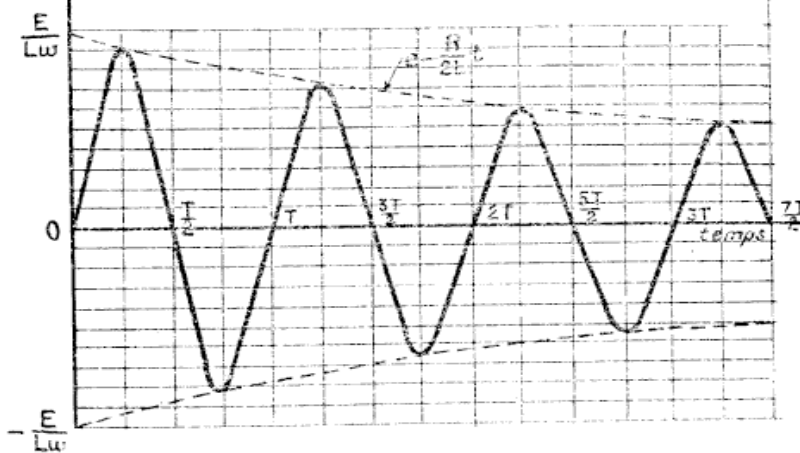
La représentation mécanique de la charge oscillante d'un condensateur par une force électromotrice constante est facile à obtenir. Prenons un vibreur formé par un ressort qui représente le condensateur auquel est suspendue une masse qui représente la self du circuit. La force constante que l'on peut faire agir facilement sur ce système est le poids de la masse. Il suffit donc de fixer le ressort à un crochet, d'y suspendre la masse que l'on supporte avec la main, de

façon que le ressort ne soit pas bandé. Le système dans cet état est l'image du circuit de charge au repos : condensateur non chargé ; courant nul ; aucune force électromotrice n'est appliquée.

Abandonnons alors la masse ; le poids de cette masse agit sur le système qui oscille avec sa période propre. Les oscillations s'amortissent peu à peu, et la masse se fixe après un certain nombre d'oscillations. Le ressort est bandé sous l'action du poids de la masse qu'il supporte : c'est la représentation du circuit de charge dont le condensateur est chargé à une



I. Différence de Potential aux bornes du Condensateur.



II. Intensité dans le circuit de charge

Fig. 1

Charge d'un condensateur au moyen d'une force électromotrice constante E .

différence de potentiel constante.

La figure 1 représente la charge oscillante ou périodique d'un condensateur dans le cas où le courant dans le circuit et la différence de potentiel aux bornes du condensateur sont nuls au début de la charge. La courbe 1 donne la différence de potentiel entre les bornes du condensateur et la figure 2 l'intensité du courant qui parcourt le circuit de charge. La période de la charge est désignée par T ; sa valeur est donnée par la formule de Thomson $T = 2\pi \sqrt{LC}$. Les courbes d'amplitudes qui limitent les courbes précédentes sont d'autant plus inclinées que l'amortissement du circuit est plus grand.

Lorsque la résistance du circuit de charge est grande, la charge devient apériodique. Dans ce cas, la différence de potentiel aux bornes du condensateur reste toujours inférieure à sa force électromotrice appliquée et le rendement est inférieur à 0,50. On l'évite donc dans la pratique. On obtient la représentation mécanique de ce cas avec le vibreur précédent dont on immerge la masse dans de la glycérine.

Choix de l'instant de la décharge. — Après la première demi-oscillation, la différence de potentiel entre les bornes du condensateur est maxima et atteint presque deux fois la valeur de la force électromotrice appliquée. C'est à cet instant que le condensateur contient l'énergie utilisable maxima. De plus, l'intensité dans le circuit de charge est nulle; le moment est donc favorable pour produire la décharge.

C'est d'ailleurs ainsi que l'on obtient le rendement maximum, comme on peut le concevoir facilement, puisque c'est pour ce maximum qu'on a le maximum d'énergie disponible avec le minimum de pertes subies.

En régime normal, il faut donc s'arranger pour que l'intervalle de temps qui sépare deux décharges successives soit égal à une demi-période de l'oscillation de charge. La différence de potentiel au moment des décharges est d'autant plus voisine du double de la force électromotrice de la source et le rendement d'autant meilleur que l'amortissement du circuit de charge est plus petit.

La suite des phénomènes lorsque la fréquence des décharges est ainsi réglée, est la suivante:

Quand une étincelle vient de s'éteindre, l'intensité et la différence de potentiel entre les bornes du condensateur sont sensiblement nulles. A partir de ce moment, la différence de

potentiel augmente d'une façon continue pendant une demi-période de l'oscillation de charge. Elle atteint alors une valeur voisine du double de la force électromotrice de la source.

L'intensité du courant de charge part de zéro, augmente jusqu'à un maximum qui est atteint au milieu du temps de charge, puis diminue ensuite et reprend la valeur zéro à la fin de la charge.

Une étincelle éclate alors, le condensateur se décharge, et les mêmes phénomènes recommencent dans le même ordre qu'auparavant.

La figure 2 représente les charges et décharges successives du condensateur, en régime musical, dans le cas où la durée de la charge est égale à la moitié de la

période propre du circuit de charge.

La fréquence propre du circuit de charge doit donc être réglée de façon à être la moitié de celle des étincelles.

Si la fréquence des décharges n'était pas exactement le double de celle du courant de charge, l'étincelle n'éclaterait pas au moment où la différence de potentiel entre les bornes de la capacité est maximale et où l'intensité du courant de charge dans le circuit est nulle. Dans ces conditions les conditions initiales ne sont plus après chaque décharge, celles qui ont servi de base à l'établissement

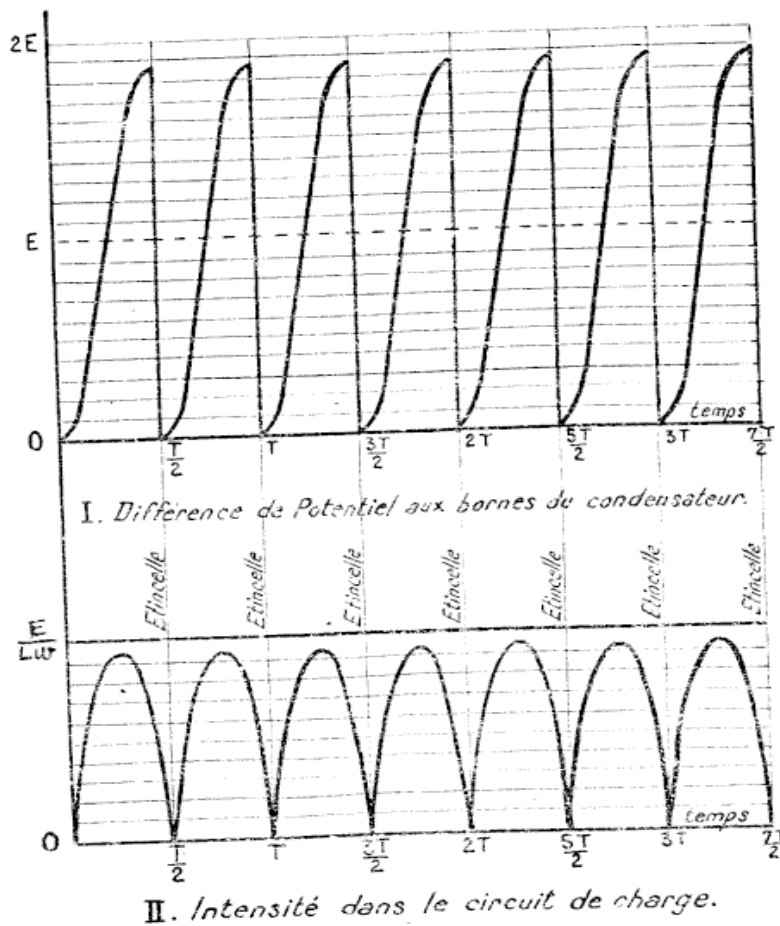


Fig.2

Charges et décharges successives du condensateur en régime musical.
(Force électromotrice constante)

des courbes de la figure 1.

Si, en particulier, l'éclatement a lieu après l'instant du maximum de différence de potentiel, comme cela peut se produire avec un éclateur tournant dont la vitesse est trop faible, ce maximum peut dépasser la valeur trouvée dans le cas normal où la décharge a lieu exactement après une demi-période de l'oscillation de charge. L'amortissement du circuit de charge empêche cependant que le maximum ainsi obtenu corresponde à des tensions dangereuses pour le matériel.

Qualités à exiger du matériel. — Les machines à haute tension employées en T.S.F. fonctionnent dans des conditions spéciales dont il doit être tenu compte dans la construction.

1° Avec une force électromotrice donnée, on obtient entre les bornes de la capacité une différence de potentiel dont la valeur est sensiblement le double de celle de la force électromotrice. Si la charge est faite directement ou à travers une self très faible, la différence de potentiel aux bornes de la machine peut atteindre une valeur voisine du double de sa force électromotrice. Il faut donc que l'isolement des enroulements soit prévu en conséquence.

La construction d'une machine de 10.000 volts de force électromotrice doit donc, au point de vue de l'isolement, être la même que celle d'une machine de 20.000 volts servant aux usages ordinaires.

2° Le courant qui parcourt les enroulements de la dynamo n'est pas un courant continu (voir fig. 2) : c'est un courant alternatif non sinusoïdal, dont la fréquence est celle des étincelles. Si on veut obtenir un bon rendement, on doit donc prendre dans la construction de la machine les mêmes précautions que celles qui se rapportent à la construction d'une machine fournissant du courant alternatif de la même fréquence.

La construction d'une machine destinée à la T.S.F. est donc plus difficile et plus coûteuse que celle d'une dynamo ordinaire de même force électromotrice, puisque l'isolement des enroulements doit être prévu pour une tension double de la tension nominale et que certaines pièces doivent être

feuilletées pour éviter les pertes causées par le passage d'un courant alternatif dans la machine.

On peut cependant s'affranchir de la condition relative à l'isolement si elle est gênante, en intercalant dans le circuit de charge, des selfs, dont la valeur et l'isolement seraient prévus de façon qu'elles absorbent une différence de potentiel suffisante pour protéger la machine, si celle-ci ne peut supporter sans risques une différence de potentiel supérieure à sa force électromotrice. En donnant par exemple, à la self totale des bobines de protection une valeur égale à celle de la machine, ces bobines absorberont la moitié de la différence de potentiel totale aux bornes de la capacité et la machine n'aura plus à supporter une tension égale à sa force électromotrice.

On peut aussi empêcher le passage du courant alternatif de charge à travers la machine, en la shuntant par une batterie d'accumulateurs ou une batterie de condensateurs. La seconde solution doit être préférée à la première en raison des inconvénients déjà signalés qu'entraîne la présence d'une batterie d'accumulateurs dans une station.

Avec cette disposition le courant alternatif de charge évite la self de la machine et passe à travers la capacité. Plus cette capacité est grande plus l'amélioration qu'elle produit est grande ; on n'est limité que par le prix et l'encombrement de la batterie.

La mise en dérivation d'une batterie de condensateurs procure les avantages suivants :

1° La machine n'a plus à supporter de tension nécessitant un isolement spécial de la machine.

2° Le rendement est amélioré, puisque le courant alternatif de charge ne traverse plus la machine.

3° La self de la machine peut sans inconvénient être grande, car elle n'influe à peu près plus sur la fréquence propre du circuit de charge qui peut alors devenir très grande. Ceci permet de réaliser des transmissions musicales correspondant à des notes très hautes.

Le circuit de charge peut donc être réalisé de deux façons :

1° Les machines chargent directement la capacité.

à travers une self réglable, elles sont alors spécialement construites pour fonctionner sous le régime auquel elles seront soumises pendant la production des étincelles. En particulier leur isolement doit être calculé pour une tension double de la force électromotrice de la machine. Si la self des machines est assez réduite et si la fréquence des étincelles n'est pas trop élevée on doit introduire dans le circuit de charge des selfs de réglage qui constituent en même temps une protection contre les surtensions;

2° Les machines sont shuntées par une batterie de condensateurs. Elles n'ont plus de surtension à supporter. De plus, le rendement est amélioré, la self des machines peut être grande, même si on désire obtenir une fréquence d'étincelles très élevée.

Les condensateurs employés pour cet usage peuvent être assez imparfaits, puisqu'ils ne sont pas traversés par le courant de haute fréquence; mais simplement par le courant de charge dont la fréquence est égale à celle des étincelles.

L'emploi d'une capacité servant à la protection des machines est donc avantageux; cependant, dans le cas d'une station de moyenne puissance où l'on recherche surtout la simplicité, on peut se contenter d'une simple machine spécialement isolée ne demandant pas de protection.

Protection contre les retours de courants de haute fréquence. — Pendant la décharge oscillante du condensateur, il existe entre les bornes de ce condensateur une différence de potentiel de haute fréquence. Il se produit donc dans le circuit de charge (bobines de self, et machine) des ondes stationnaires qui peuvent introduire des tensions très dangereuses pour les isolants entre deux points géométriquement voisins du même enroulement. Il faut donc intercaler entre la capacité du circuit oscillant et du circuit de charge proprement dit des dispositifs amortisseurs, qui seront constitués par des bobines de choc ou selfs en acier de fer fortement isolées, dont l'épaisseur des tôles est déterminée de telle sorte que les courants de Foucault, négligeables pour la fréquence du courant de charge, soient très importants pour la fréquence des oscillations produites par la décharge et amortissent rapidement l'onde de haute fréquence.

Il suffit dans bien des cas de renforcer l'isolement des premières spires des bobines de la self de réglage qui joue ainsi le rôle de bobines de choc.

Lorsque la génératrice est protégée contre le courant alternatif de charge par un condensateur monté entre ses bornes elle est à fortiori protégée contre le retour des oscillations de hautes fréquences.

Choix du type d'éclateur. — On peut, comme dans le cas du courant alternatif, produire les décharges à l'aide d'éclateurs fixes ou d'éclateurs tournants. Dans les deux cas des régimes musicaux stables, s'établissent d'eux-mêmes et se rétablissent après un dérèglement momentané.

Avec l'éclateur tournant, la durée de la charge est rigoureusement constante, car il est facile d'éviter les variations de vitesse de l'éclateur en l'entraînant au moyen d'un moteur spécial. L'éclateur qui tourne à une assez grande vitesse forme d'ailleurs volant et sa vitesse se stabilise d'elle-même. Si cependant des variations de vitesses se produisaient, la différence de potentiel d'éclatement ne serait pas beaucoup modifiée.

La vitesse de rotation de l'éclateur tournant doit être réglée de façon à correspondre à une fréquence d'étincelles qui sont le double de la fréquence propre du circuit de charge.

Dans le cas d'un éclateur fixe, c'est la différence de potentiel d'éclatement qui est constante. Mais en réalité, comme nous l'avons dit dans la précédente leçon, elle varie constamment d'une étincelle à la suivante, en raison du changement d'état des électrodes en regard, des différences de température et d'ionisation de l'air, etc.... D'autre part, de faibles variations de la différence de potentiel d'éclatement correspondent, en régime normal, à de grandes variations de la durée de charge et par conséquent de la hauteur du son. Il en résulte qu'il est plus difficile d'obtenir un son musical pur de hauteur et d'intensité constante, avec un éclateur fixe qu'avec un éclateur tournant.

Les variations continuelles de la différence de potentiel d'éclatement ont d'ailleurs un autre inconvénient. Supposons que la distance d'éclatement ait été réglée de telle sorte qu'elle corresponde à une décharge

par demi-période, ce qui est le cas. ² ³ ⁴ ⁵ ⁶ ⁷ ⁸ ⁹ ¹⁰ ¹¹ ¹² ¹³ ¹⁴ ¹⁵ ¹⁶ ¹⁷ ¹⁸ ¹⁹ ²⁰ ²¹ ²² ²³ ²⁴ ²⁵ ²⁶ ²⁷ ²⁸ ²⁹ ³⁰ ³¹ ³² ³³ ³⁴ ³⁵ ³⁶ ³⁷ ³⁸ ³⁹ ⁴⁰ ⁴¹ ⁴² ⁴³ ⁴⁴ ⁴⁵ ⁴⁶ ⁴⁷ ⁴⁸ ⁴⁹ ⁵⁰ ⁵¹ ⁵² ⁵³ ⁵⁴ ⁵⁵ ⁵⁶ ⁵⁷ ⁵⁸ ⁵⁹ ⁶⁰ ⁶¹ ⁶² ⁶³ ⁶⁴ ⁶⁵ ⁶⁶ ⁶⁷ ⁶⁸ ⁶⁹ ⁷⁰ ⁷¹ ⁷² ⁷³ ⁷⁴ ⁷⁵ ⁷⁶ ⁷⁷ ⁷⁸ ⁷⁹ ⁸⁰ ⁸¹ ⁸² ⁸³ ⁸⁴ ⁸⁵ ⁸⁶ ⁸⁷ ⁸⁸ ⁸⁹ ⁹⁰ ⁹¹ ⁹² ⁹³ ⁹⁴ ⁹⁵ ⁹⁶ ⁹⁷ ⁹⁸ ⁹⁹ ¹⁰⁰ ¹⁰¹ ¹⁰² ¹⁰³ ¹⁰⁴ ¹⁰⁵ ¹⁰⁶ ¹⁰⁷ ¹⁰⁸ ¹⁰⁹ ¹¹⁰ ¹¹¹ ¹¹² ¹¹³ ¹¹⁴ ¹¹⁵ ¹¹⁶ ¹¹⁷ ¹¹⁸ ¹¹⁹ ¹²⁰ ¹²¹ ¹²² ¹²³ ¹²⁴ ¹²⁵ ¹²⁶ ¹²⁷ ¹²⁸ ¹²⁹ ¹³⁰ ¹³¹ ¹³² ¹³³ ¹³⁴ ¹³⁵ ¹³⁶ ¹³⁷ ¹³⁸ ¹³⁹ ¹⁴⁰ ¹⁴¹ ¹⁴² ¹⁴³ ¹⁴⁴ ¹⁴⁵ ¹⁴⁶ ¹⁴⁷ ¹⁴⁸ ¹⁴⁹ ¹⁵⁰ ¹⁵¹ ¹⁵² ¹⁵³ ¹⁵⁴ ¹⁵⁵ ¹⁵⁶ ¹⁵⁷ ¹⁵⁸ ¹⁵⁹ ¹⁶⁰ ¹⁶¹ ¹⁶² ¹⁶³ ¹⁶⁴ ¹⁶⁵ ¹⁶⁶ ¹⁶⁷ ¹⁶⁸ ¹⁶⁹ ¹⁷⁰ ¹⁷¹ ¹⁷² ¹⁷³ ¹⁷⁴ ¹⁷⁵ ¹⁷⁶ ¹⁷⁷ ¹⁷⁸ ¹⁷⁹ ¹⁸⁰ ¹⁸¹ ¹⁸² ¹⁸³ ¹⁸⁴ ¹⁸⁵ ¹⁸⁶ ¹⁸⁷ ¹⁸⁸ ¹⁸⁹ ¹⁹⁰ ¹⁹¹ ¹⁹² ¹⁹³ ¹⁹⁴ ¹⁹⁵ ¹⁹⁶ ¹⁹⁷ ¹⁹⁸ ¹⁹⁹ ²⁰⁰ ²⁰¹ ²⁰² ²⁰³ ²⁰⁴ ²⁰⁵ ²⁰⁶ ²⁰⁷ ²⁰⁸ ²⁰⁹ ²¹⁰ ²¹¹ ²¹² ²¹³ ²¹⁴ ²¹⁵ ²¹⁶ ²¹⁷ ²¹⁸ ²¹⁹ ²²⁰ ²²¹ ²²² ²²³ ²²⁴ ²²⁵ ²²⁶ ²²⁷ ²²⁸ ²²⁹ ²³⁰ ²³¹ ²³² ²³³ ²³⁴ ²³⁵ ²³⁶ ²³⁷ ²³⁸ ²³⁹ ²⁴⁰ ²⁴¹ ²⁴² ²⁴³ ²⁴⁴ ²⁴⁵ ²⁴⁶ ²⁴⁷ ²⁴⁸ ²⁴⁹ ²⁵⁰ ²⁵¹ ²⁵² ²⁵³ ²⁵⁴ ²⁵⁵ ²⁵⁶ ²⁵⁷ ²⁵⁸ ²⁵⁹ ²⁶⁰ ²⁶¹ ²⁶² ²⁶³ ²⁶⁴ ²⁶⁵ ²⁶⁶ ²⁶⁷ ²⁶⁸ ²⁶⁹ ²⁷⁰ ²⁷¹ ²⁷² ²⁷³ ²⁷⁴ ²⁷⁵ ²⁷⁶ ²⁷⁷ ²⁷⁸ ²⁷⁹ ²⁸⁰ ²⁸¹ ²⁸² ²⁸³ ²⁸⁴ ²⁸⁵ ²⁸⁶ ²⁸⁷ ²⁸⁸ ²⁸⁹ ²⁹⁰ ²⁹¹ ²⁹² ²⁹³ ²⁹⁴ ²⁹⁵ ²⁹⁶ ²⁹⁷ ²⁹⁸ ²⁹⁹ ³⁰⁰ ³⁰¹ ³⁰² ³⁰³ ³⁰⁴ ³⁰⁵ ³⁰⁶ ³⁰⁷ ³⁰⁸ ³⁰⁹ ³¹⁰ ³¹¹ ³¹² ³¹³ ³¹⁴ ³¹⁵ ³¹⁶ ³¹⁷ ³¹⁸ ³¹⁹ ³²⁰ ³²¹ ³²² ³²³ ³²⁴ ³²⁵ ³²⁶ ³²⁷ ³²⁸ ³²⁹ ³³⁰ ³³¹ ³³² ³³³ ³³⁴ ³³⁵ ³³⁶ ³³⁷ ³³⁸ ³³⁹ ³⁴⁰ ³⁴¹ ³⁴² ³⁴³ ³⁴⁴ ³⁴⁵ ³⁴⁶ ³⁴⁷ ³⁴⁸ ³⁴⁹ ³⁵⁰ ³⁵¹ ³⁵² ³⁵³ ³⁵⁴ ³⁵⁵ ³⁵⁶ ³⁵⁷ ³⁵⁸ ³⁵⁹ ³⁶⁰ ³⁶¹ ³⁶² ³⁶³ ³⁶⁴ ³⁶⁵ ³⁶⁶ ³⁶⁷ ³⁶⁸ ³⁶⁹ ³⁷⁰ ³⁷¹ ³⁷² ³⁷³ ³⁷⁴ ³⁷⁵ ³⁷⁶ ³⁷⁷ ³⁷⁸ ³⁷⁹ ³⁸⁰ ³⁸¹ ³⁸² ³⁸³ ³⁸⁴ ³⁸⁵ ³⁸⁶ ³⁸⁷ ³⁸⁸ ³⁸⁹ ³⁹⁰ ³⁹¹ ³⁹² ³⁹³ ³⁹⁴ ³⁹⁵ ³⁹⁶ ³⁹⁷ ³⁹⁸ ³⁹⁹ ⁴⁰⁰ ⁴⁰¹ ⁴⁰² ⁴⁰³ ⁴⁰⁴ ⁴⁰⁵ ⁴⁰⁶ ⁴⁰⁷ ⁴⁰⁸ ⁴⁰⁹ ⁴¹⁰ ⁴¹¹ ⁴¹² ⁴¹³ ⁴¹⁴ ⁴¹⁵ ⁴¹⁶ ⁴¹⁷ ⁴¹⁸ ⁴¹⁹ ⁴²⁰ ⁴²¹ ⁴²² ⁴²³ ⁴²⁴ ⁴²⁵ ⁴²⁶ ⁴²⁷ ⁴²⁸ ⁴²⁹ ⁴³⁰ ⁴³¹ ⁴³² ⁴³³ ⁴³⁴ ⁴³⁵ ⁴³⁶ ⁴³⁷ ⁴³⁸ ⁴³⁹ ⁴⁴⁰ ⁴⁴¹ ⁴⁴² ⁴⁴³ ⁴⁴⁴ ⁴⁴⁵ ⁴⁴⁶ ⁴⁴⁷ ⁴⁴⁸ ⁴⁴⁹ ⁴⁵⁰ ⁴⁵¹ ⁴⁵² ⁴⁵³ ⁴⁵⁴ ⁴⁵⁵ ⁴⁵⁶ ⁴⁵⁷ ⁴⁵⁸ ⁴⁵⁹ ⁴⁶⁰ ⁴⁶¹ ⁴⁶² ⁴⁶³ ⁴⁶⁴ ⁴⁶⁵ ⁴⁶⁶ ⁴⁶⁷ ⁴⁶⁸ ⁴⁶⁹ ⁴⁷⁰ ⁴⁷¹ ⁴⁷² ⁴⁷³ ⁴⁷⁴ ⁴⁷⁵ ⁴⁷⁶ ⁴⁷⁷ ⁴⁷⁸ ⁴⁷⁹ ⁴⁸⁰ ⁴⁸¹ ⁴⁸² ⁴⁸³ ⁴⁸⁴ ⁴⁸⁵ ⁴⁸⁶ ⁴⁸⁷ ⁴⁸⁸ ⁴⁸⁹ ⁴⁹⁰ ⁴⁹¹ ⁴⁹² ⁴⁹³ ⁴⁹⁴ ⁴⁹⁵ ⁴⁹⁶ ⁴⁹⁷ ⁴⁹⁸ ⁴⁹⁹ ⁵⁰⁰ ⁵⁰¹ ⁵⁰² ⁵⁰³ ⁵⁰⁴ ⁵⁰⁵ ⁵⁰⁶ ⁵⁰⁷ ⁵⁰⁸ ⁵⁰⁹ ⁵¹⁰ ⁵¹¹ ⁵¹² ⁵¹³ ⁵¹⁴ ⁵¹⁵ ⁵¹⁶ ⁵¹⁷ ⁵¹⁸ ⁵¹⁹ ⁵²⁰ ⁵²¹ ⁵²² ⁵²³ ⁵²⁴ ⁵²⁵ ⁵²⁶ ⁵²⁷ ⁵²⁸ ⁵²⁹ ⁵³⁰ ⁵³¹ ⁵³² ⁵³³ ⁵³⁴ ⁵³⁵ ⁵³⁶ ⁵³⁷ ⁵³⁸ ⁵³⁹ ⁵⁴⁰ ⁵⁴¹ ⁵⁴² ⁵⁴³ ⁵⁴⁴ ⁵⁴⁵ ⁵⁴⁶ ⁵⁴⁷ ⁵⁴⁸ ⁵⁴⁹ ⁵⁵⁰ ⁵⁵¹ ⁵⁵² ⁵⁵³ ⁵⁵⁴ ⁵⁵⁵ ⁵⁵⁶ ⁵⁵⁷ ⁵⁵⁸ ⁵⁵⁹ ⁵⁶⁰ ⁵⁶¹ ⁵⁶² ⁵⁶³ ⁵⁶⁴ ⁵⁶⁵ ⁵⁶⁶ ⁵⁶⁷ ⁵⁶⁸ ⁵⁶⁹ ⁵⁷⁰ ⁵⁷¹ ⁵⁷² ⁵⁷³ ⁵⁷⁴ ⁵⁷⁵ ⁵⁷⁶ ⁵⁷⁷ ⁵⁷⁸ ⁵⁷⁹ ⁵⁸⁰ ⁵⁸¹ ⁵⁸² ⁵⁸³ ⁵⁸⁴ ⁵⁸⁵ ⁵⁸⁶ ⁵⁸⁷ ⁵⁸⁸ ⁵⁸⁹ ⁵⁹⁰ ⁵⁹¹ ⁵⁹² ⁵⁹³ ⁵⁹⁴ ⁵⁹⁵ ⁵⁹⁶ ⁵⁹⁷ ⁵⁹⁸ ⁵⁹⁹ ⁶⁰⁰ ⁶⁰¹ ⁶⁰² ⁶⁰³ ⁶⁰⁴ ⁶⁰⁵ ⁶⁰⁶ ⁶⁰⁷ ⁶⁰⁸ ⁶⁰⁹ ⁶¹⁰ ⁶¹¹ ⁶¹² ⁶¹³ ⁶¹⁴ ⁶¹⁵ ⁶¹⁶ ⁶¹⁷ ⁶¹⁸ ⁶¹⁹ ⁶²⁰ ⁶²¹ ⁶²² ⁶²³ ⁶²⁴ ⁶²⁵ ⁶²⁶ ⁶²⁷ ⁶²⁸ ⁶²⁹ ⁶³⁰ ⁶³¹ ⁶³² ⁶³³ ⁶³⁴ ⁶³⁵ ⁶³⁶ ⁶³⁷ ⁶³⁸ ⁶³⁹ ⁶⁴⁰ ⁶⁴¹ ⁶⁴² ⁶⁴³ ⁶⁴⁴ ⁶⁴⁵ ⁶⁴⁶ ⁶⁴⁷ ⁶⁴⁸ ⁶⁴⁹ ⁶⁵⁰ ⁶⁵¹ ⁶⁵² ⁶⁵³ ⁶⁵⁴ ⁶⁵⁵ ⁶⁵⁶ ⁶⁵⁷ ⁶⁵⁸ ⁶⁵⁹ ⁶⁶⁰ ⁶⁶¹ ⁶⁶² ⁶⁶³ ⁶⁶⁴ ⁶⁶⁵ ⁶⁶⁶ ⁶⁶⁷ ⁶⁶⁸ ⁶⁶⁹ ⁶⁷⁰ ⁶⁷¹ ⁶⁷² ⁶⁷³ ⁶⁷⁴ ⁶⁷⁵ ⁶⁷⁶ ⁶⁷⁷ ⁶⁷⁸ ⁶⁷⁹ ⁶⁸⁰ ⁶⁸¹ ⁶⁸² ⁶⁸³ ⁶⁸⁴ ⁶⁸⁵ ⁶⁸⁶ ⁶⁸⁷ ⁶⁸⁸ ⁶⁸⁹ ⁶⁹⁰ ⁶⁹¹ ⁶⁹² ⁶⁹³ ⁶⁹⁴ ⁶⁹⁵ ⁶⁹⁶ ⁶⁹⁷ ⁶⁹⁸ ⁶⁹⁹ ⁷⁰⁰ ⁷⁰¹ ⁷⁰² ⁷⁰³ ⁷⁰⁴ ⁷⁰⁵ ⁷⁰⁶ ⁷⁰⁷ ⁷⁰⁸ ⁷⁰⁹ ⁷¹⁰ ⁷¹¹ ⁷¹² ⁷¹³ ⁷¹⁴ ⁷¹⁵ ⁷¹⁶ ⁷¹⁷ ⁷¹⁸ ⁷¹⁹ ⁷²⁰ ⁷²¹ ⁷²² ⁷²³ ⁷²⁴ ⁷²⁵ ⁷²⁶ ⁷²⁷ ⁷²⁸ ⁷²⁹ ⁷³⁰ ⁷³¹ ⁷³² ⁷³³ ⁷³⁴ ⁷³⁵ ⁷³⁶ ⁷³⁷ ⁷³⁸ ⁷³⁹ ⁷⁴⁰ ⁷⁴¹ ⁷⁴² ⁷⁴³ ⁷⁴⁴ ⁷⁴⁵ ⁷⁴⁶ ⁷⁴⁷ ⁷⁴⁸ ⁷⁴⁹ ⁷⁵⁰ ⁷⁵¹ ⁷⁵² ⁷⁵³ ⁷⁵⁴ ⁷⁵⁵ ⁷⁵⁶ ⁷⁵⁷ ⁷⁵⁸ ⁷⁵⁹ ⁷⁶⁰ ⁷⁶¹ ⁷⁶² ⁷⁶³ ⁷⁶⁴ ⁷⁶⁵ ⁷⁶⁶ ⁷⁶⁷ ⁷⁶⁸ ⁷⁶⁹ ⁷⁷⁰ ⁷⁷¹ ⁷⁷² ⁷⁷³ ⁷⁷⁴ ⁷⁷⁵ ⁷⁷⁶ ⁷⁷⁷ ⁷⁷⁸ ⁷⁷⁹ ⁷⁸⁰ ⁷⁸¹ ⁷⁸² ⁷⁸³ ⁷⁸⁴ ⁷⁸⁵ ⁷⁸⁶ ⁷⁸⁷ ⁷⁸⁸ ⁷⁸⁹ ⁷⁹⁰ ⁷⁹¹ ⁷⁹² ⁷⁹³ ⁷⁹⁴ ⁷⁹⁵ ⁷⁹⁶ ⁷⁹⁷ ⁷⁹⁸ ⁷⁹⁹ ⁸⁰⁰ ⁸⁰¹ ⁸⁰² ⁸⁰³ ⁸⁰⁴ ⁸⁰⁵ ⁸⁰⁶ ⁸⁰⁷ ⁸⁰⁸ ⁸⁰⁹ ⁸¹⁰ ⁸¹¹ ⁸¹² ⁸¹³ ⁸¹⁴ ⁸¹⁵ ⁸¹⁶ ⁸¹⁷ ⁸¹⁸ ⁸¹⁹ ⁸²⁰ ⁸²¹ ⁸²² ⁸²³ ⁸²⁴ ⁸²⁵ ⁸²⁶ ⁸²⁷ ⁸²⁸ ⁸²⁹ ⁸³⁰ ⁸³¹ ⁸³² ⁸³³ ⁸³⁴ ⁸³⁵ ⁸³⁶ ⁸³⁷ ⁸³⁸ ⁸³⁹ ⁸⁴⁰ ⁸⁴¹ ⁸⁴² ⁸⁴³ ⁸⁴⁴ ⁸⁴⁵ ⁸⁴⁶ ⁸⁴⁷ ⁸⁴⁸ ⁸⁴⁹ ⁸⁵⁰ ⁸⁵¹ ⁸⁵² ⁸⁵³ ⁸⁵⁴ ⁸⁵⁵ ⁸⁵⁶ ⁸⁵⁷ ⁸⁵⁸ ⁸⁵⁹ ⁸⁶⁰ ⁸⁶¹ ⁸⁶² ⁸⁶³ ⁸⁶⁴ ⁸⁶⁵ ⁸⁶⁶ ⁸⁶⁷ ⁸⁶⁸ ⁸⁶⁹ ⁸⁷⁰ ⁸⁷¹ ⁸⁷² ⁸⁷³ ⁸⁷⁴ ⁸⁷⁵ ⁸⁷⁶ ⁸⁷⁷ ⁸⁷⁸ ⁸⁷⁹ ⁸⁸⁰ ⁸⁸¹ ⁸⁸² ⁸⁸³ ⁸⁸⁴ ⁸⁸⁵ ⁸⁸⁶ ⁸⁸⁷ ⁸⁸⁸ ⁸⁸⁹ ⁸⁹⁰ ⁸⁹¹ ⁸⁹² ⁸⁹³ ⁸⁹⁴ ⁸⁹⁵ ⁸⁹⁶ ⁸⁹⁷ ⁸⁹⁸ ⁸⁹⁹ ⁹⁰⁰ ⁹⁰¹ ⁹⁰² ⁹⁰³ ⁹⁰⁴ ⁹⁰⁵ ⁹⁰⁶ ⁹⁰⁷ ⁹⁰⁸ ⁹⁰⁹ ⁹¹⁰ ⁹¹¹ ⁹¹² ⁹¹³ ⁹¹⁴ ⁹¹⁵ ⁹¹⁶ ⁹¹⁷ ⁹¹⁸ ⁹¹⁹ ⁹²⁰ ⁹²¹ ⁹²² ⁹²³ ⁹²⁴ ⁹²⁵ ⁹²⁶ ⁹²⁷ ⁹²⁸ ⁹²⁹ ⁹³⁰ ⁹³¹ ⁹³² ⁹³³ ⁹³⁴ ⁹³⁵ ⁹³⁶ ⁹³⁷ ⁹³⁸ ⁹³⁹ ⁹⁴⁰ ⁹⁴¹ ⁹⁴² ⁹⁴³ ⁹⁴⁴ ⁹⁴⁵ ⁹⁴⁶ ⁹⁴⁷ ⁹⁴⁸ ⁹⁴⁹ ⁹⁵⁰ ⁹⁵¹ ⁹⁵² ⁹⁵³ ⁹⁵⁴ ⁹⁵⁵ ⁹⁵⁶ ⁹⁵⁷ ⁹⁵⁸ ⁹⁵⁹ ⁹⁶⁰ ⁹⁶¹ ⁹⁶² ⁹⁶³ ⁹⁶⁴ ⁹⁶⁵ ⁹⁶⁶ ⁹⁶⁷ ⁹⁶⁸ ⁹⁶⁹ ⁹⁷⁰ ⁹⁷¹ ⁹⁷² ⁹⁷³ ⁹⁷⁴ ⁹⁷⁵ ⁹⁷⁶ ⁹⁷⁷ ⁹⁷⁸ ⁹⁷⁹ ⁹⁸⁰ ⁹⁸¹ ⁹⁸² ⁹⁸³ ⁹⁸⁴ ⁹⁸⁵ ⁹⁸⁶ ⁹⁸⁷ ⁹⁸⁸ ⁹⁸⁹ ⁹⁹⁰ ⁹⁹¹ ⁹⁹² ⁹⁹³ ⁹⁹⁴ ⁹⁹⁵ ⁹⁹⁶ ⁹⁹⁷ ⁹⁹⁸ ⁹⁹⁹ ¹⁰⁰⁰ ¹⁰⁰¹ ¹⁰⁰² ¹⁰⁰³ ¹⁰⁰⁴ ¹⁰⁰⁵ ¹⁰⁰⁶ ¹⁰⁰⁷ ¹⁰⁰⁸ ¹⁰⁰⁹ ¹⁰¹⁰ ¹⁰¹¹ ¹⁰¹² ¹⁰¹³ ¹⁰¹⁴ ¹⁰¹⁵ ¹⁰¹⁶ ¹⁰¹⁷ ¹⁰¹⁸ ¹⁰¹⁹ ¹⁰²⁰ ¹⁰²¹ ¹⁰²² ¹⁰²³ ¹⁰²⁴ ¹⁰²⁵ ¹⁰²⁶ ¹⁰²⁷ ¹⁰²⁸ ¹⁰²⁹ ¹⁰³⁰ ¹⁰³¹ ¹⁰³² ¹⁰³³ ¹⁰³⁴ ¹⁰³⁵ ¹⁰³⁶ ¹⁰³⁷ ¹⁰³⁸ ¹⁰³⁹ ¹⁰⁴⁰ ¹⁰⁴¹ ¹⁰⁴² ¹⁰⁴³ ¹⁰⁴⁴ ¹⁰⁴⁵ ¹⁰⁴⁶ ¹⁰⁴⁷ ¹⁰⁴⁸ ¹⁰⁴⁹ ¹⁰⁵⁰ ¹⁰⁵¹ ¹⁰⁵² ¹⁰⁵³ ¹⁰⁵⁴ ¹⁰⁵⁵ ¹⁰⁵⁶ ¹⁰⁵⁷ ¹⁰⁵⁸ ¹⁰⁵⁹ ¹⁰⁶⁰ ¹⁰⁶¹ ¹⁰⁶² ¹⁰⁶³ ¹⁰⁶⁴ ¹⁰⁶⁵ ¹⁰⁶⁶ ¹⁰⁶⁷ ¹⁰⁶⁸ ¹⁰⁶⁹ ¹⁰⁷⁰ ¹⁰⁷¹ ¹⁰⁷² ¹⁰⁷³ ¹⁰⁷⁴ ¹⁰⁷⁵ ¹⁰⁷⁶ ¹⁰⁷⁷ ¹⁰⁷⁸ ¹⁰⁷⁹ ¹⁰⁸⁰ ¹⁰⁸¹ ¹⁰⁸² ¹⁰⁸³ ¹⁰⁸⁴ ¹⁰⁸⁵ ¹⁰⁸⁶ ¹⁰⁸⁷ ¹⁰⁸⁸ ¹⁰⁸⁹ ¹⁰⁹⁰ ¹⁰⁹¹ ¹⁰⁹² ¹⁰⁹³ ¹⁰⁹⁴ ¹⁰⁹⁵ ¹⁰⁹⁶ ¹⁰⁹⁷ ¹⁰⁹⁸ ¹⁰⁹⁹ ¹¹⁰⁰ ¹¹⁰¹ ¹¹⁰² ¹¹⁰³ ¹¹⁰⁴ ¹¹⁰⁵ ¹¹⁰⁶ ¹¹⁰⁷ ¹¹⁰⁸ ¹¹⁰⁹ ¹¹¹⁰ ¹¹¹¹ ¹¹¹² ¹¹¹³ ¹¹¹⁴ ¹¹¹⁵ ¹¹¹⁶ ¹¹¹⁷ ¹¹¹⁸ ¹¹¹⁹ ¹¹²⁰ ¹¹²¹ ¹¹²² ¹¹²³ ¹¹²⁴ ¹¹²⁵ ¹¹²⁶ ¹¹²⁷ ¹¹²⁸ ¹¹²⁹ ¹¹³⁰ ¹¹³¹ ¹¹³² ¹¹³³ ¹¹³⁴ ¹¹³⁵ ¹¹³⁶ ¹¹³⁷ ¹¹³⁸ ¹¹³⁹ ¹¹⁴⁰ ¹¹⁴¹ ¹¹⁴² ¹¹⁴³ ¹¹⁴⁴ ¹¹⁴⁵ ¹¹⁴⁶ ¹¹⁴⁷ ¹¹⁴⁸ ¹¹⁴⁹ ¹¹⁵⁰ ¹¹⁵¹ ¹¹⁵² ¹¹⁵³ ¹¹⁵⁴ ¹¹⁵⁵ ¹¹⁵⁶ ¹¹⁵⁷ ¹¹⁵⁸ ¹¹⁵⁹ ¹¹⁶⁰ ¹¹⁶¹ ¹¹⁶² ¹¹⁶³ ¹¹⁶⁴ ¹¹⁶⁵ ¹¹⁶⁶ ¹¹⁶⁷ ¹¹⁶⁸ ¹¹⁶⁹ ¹¹⁷⁰ ¹¹⁷¹ ¹¹⁷² ¹¹⁷³ ¹¹⁷⁴ ¹¹⁷⁵ ¹¹⁷⁶ ¹¹⁷⁷ ¹¹⁷⁸ ¹¹⁷⁹ ¹¹⁸⁰ ¹¹⁸¹ ¹¹⁸² ¹¹⁸³ ¹¹⁸⁴ ¹¹⁸⁵ ¹¹⁸⁶ ¹¹⁸⁷ ¹¹⁸⁸ ¹¹⁸⁹ ¹¹⁹⁰ ¹¹⁹¹ ¹¹⁹² ¹¹⁹³ ¹¹⁹⁴ ¹¹⁹⁵ ¹¹⁹⁶ ¹¹⁹⁷ ¹¹⁹⁸ ¹¹⁹⁹ ¹²⁰⁰ ¹²⁰¹ ¹²⁰² ¹²⁰³ ¹²⁰⁴ ¹²⁰⁵ ¹²⁰⁶ ¹²⁰⁷ ¹²⁰⁸ ¹²⁰⁹ ¹²¹⁰ ¹²¹¹ ¹²¹² ¹²¹³ ¹²¹⁴ ¹²¹⁵ ¹²¹⁶ ¹²¹⁷ ¹²¹⁸ ¹²¹⁹ ¹²²⁰ ¹²²¹ ¹²²² ¹²²³ ¹²²⁴ ¹²²⁵ ¹²²⁶ ¹²²⁷ ¹²²⁸ ¹²²⁹ ¹²³⁰ ¹²³¹ ¹²³² ¹²³³ ¹²³⁴ ¹²³⁵ ¹²³⁶ ¹²³⁷ ¹²³⁸ ¹²³⁹ ¹²⁴⁰ ¹²⁴¹ ¹²⁴² ¹²⁴³ ¹²⁴⁴ ¹²⁴⁵ ¹²⁴⁶ ¹²⁴⁷ ¹²⁴⁸ ¹²⁴⁹ ¹²⁵⁰ ¹²⁵¹ ¹²⁵² ¹²⁵³ ¹²⁵⁴ ¹²⁵⁵ ¹²⁵⁶ ¹²⁵⁷ ¹²⁵⁸ ¹²⁵⁹ ¹²⁶⁰ ¹²⁶¹ ¹²⁶² ¹²⁶³ ¹²⁶⁴ ¹²⁶⁵ ¹²⁶⁶ ¹²⁶⁷ ¹²⁶⁸ ¹²⁶⁹ ¹²⁷⁰ ¹²⁷¹ ¹²⁷² ¹²⁷³ ¹²⁷⁴ ¹²⁷⁵ ¹²⁷⁶ ¹²⁷⁷ ¹²⁷⁸ ¹²⁷⁹ ¹²⁸⁰ ¹²⁸¹ ¹²⁸² ¹²⁸³ ¹²⁸⁴ ¹²⁸⁵ ¹²⁸⁶ ¹²⁸⁷ ¹²⁸⁸ ¹²⁸⁹ ¹²⁹⁰ ¹²⁹¹ ¹²⁹² ¹²⁹³ ¹²⁹⁴ ¹²⁹⁵ ¹²⁹⁶ ¹²⁹⁷ ¹²⁹⁸ ¹²⁹⁹ ¹³⁰⁰ ¹³⁰¹ ¹³⁰² ¹³⁰³ ¹³⁰⁴ ¹³⁰⁵ ¹³⁰⁶ ¹³⁰⁷ ¹³⁰⁸ ¹³⁰⁹ ¹³¹⁰ ¹³¹¹ ¹³¹² ¹³¹³ ¹³¹⁴ ¹³¹⁵ ¹³¹⁶ ¹³¹⁷ ¹³¹⁸ ¹³¹⁹ ¹³²⁰ ¹³²¹ ¹³²² ¹³²³ ¹³²⁴ ¹³²⁵ ¹³²⁶ ¹³²⁷ ¹³²⁸ ¹³²⁹ ¹³³⁰ ¹³³¹ ¹³³² ¹³³³ ¹³³⁴ ¹³³⁵ ¹³³⁶ ¹³³⁷ ¹³³⁸ ¹³³⁹ ¹³⁴⁰ ¹³⁴¹ ¹³⁴² ¹³⁴

il faut en général utiliser plusieurs machines montées en série. La self de l'ensemble devient importante et si on veut obtenir de grande fréquence d'étincelles: 1800 par exemple, il est commode de monter une batterie de condensateurs aux bornes des machines pour éliminer l'effet de la self.

La présence de cette batterie de condensateur n'a d'ailleurs que des avantages comme nous venons de le dire.

Cette batterie protège les machines contre les retours de courants alternatifs de haute et de basse fréquence.

Le prix et l'encombrement de la batterie sont compensés par la plus grande facilité de construction

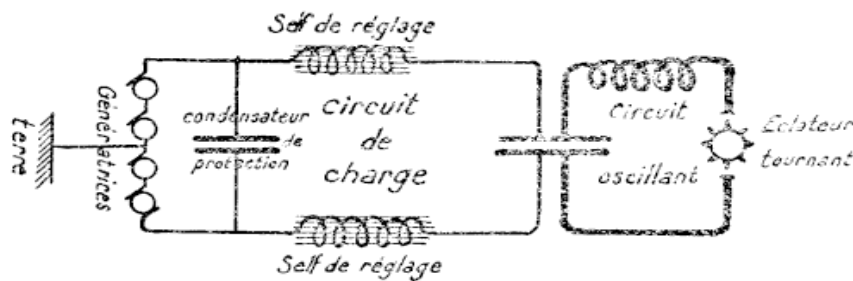


Fig. 4

des généra-
trices.

Le schéma de l'installation est représenté par la figure 4.

Dans les deux cas on emploie l'éclateur tournant entraîné par

un moteur auxiliaire, dont la vitesse est facile à régler. Un dérèglement n'a d'ailleurs pas une grosse influence s'il n'est pas trop important.

Comparaison entre la charge au moyen d'une force électromotrice alternative et la charge au moyen d'une force électromotrice constante. — le tableau ci-après résume les caractéristiques des deux procédés de charges au moyen d'une force électromotrice alternative et au moyen d'une force électromotrice constante.

Tableau

Cas de la charge au moyen d'une force électromotrice constante	Cas de la charge au moyen d'une force électromotrice alternative.
1° Matériel d'une construction spéciale contenant des collecteurs et des parties tournantes sous haute tension 2° La vitesse de rotation des machines n'intervient pas dans le réglage des circuits. 3° On peut utiliser le rendement maximum que peut donner le système de charges. Ce rendement peut, en pratique, dépasser 0,90. 4° Un défaut de réglage de la vitesse même notable de l'éclateur tournant ne conduit qu'à une faible diminution du rendement. 5° Le son musical obtenu est pur et très agréable.	1° Matériel robuste de construction courante. 2° Les circuits sont réglés sur la vitesse de rotation de l'alternateur qui doit être maintenue rigoureusement constante. 3° Le coefficient de surtension doit rester assez faible pour atténuer la répercussion d'une variation de vitesse de l'alternateur sur les réglages. Cette nécessité conduit à diminuer le rendement maximum possible du système de charge. 4° Une erreur d'orientation même faible de l'éclateur tournant par rapport à sa position théorique provoque une forte diminution du rendement. 5° Il est assez difficile d'obtenir un son musical pur et agréable.

Cours de T. S. F.
à l'usage du Personnel.

6^{ème} Leçon.

Production
des Oscillations entretenues.

Sommaire.

I - Alternateur d'Alexanderson. — Impossibilité d'obtenir de la haute fréquence en utilisant le mode habituel de construction pour les alternateurs.

Alexanderson a construit un alternateur dans lequel la seule partie tournante est un disque d'acier portant des dents réparties sur sa périphérie.

Mode de fonctionnement.

Description d'un alternateur de 2 KW - 100 000 At - 200 00 tours à la minute.

II - Alternateur de Goldschmidt. — Principe de la multiplication des fréquences.

Fonctionnement de l'alternateur.

Données pratiques relatives au système Goldschmidt.

III - Transformateurs statiques de fréquence (Maurice Joly)

Le fonctionnement de ces appareils est basé sur les propriétés du fer (Saturation).

Doubleurs et tripleurs de fréquences. Description et fonctionnement.

IV - Production des oscillations entretenues au moyen de l'arc électrique. — Expérience d'Elihu Thomson. —

Arc chantant de Duddell.

Mode de fonctionnement de l'arc. — Caractéristique. — Oscillations de première, deuxième et troisième espèce.

Arc de Poulsen.

Arc entre électrodes mobiles (Marconi).

Production des Oscillations entretenues.

Les oscillations entretenues sont des courants alternatifs de très haute fréquence. Les fréquences utilisées actuellement sont généralement supérieures à 15000.

Alternateur d'Alexanderdon. — L'idée qui vient immédiatement à l'esprit lorsqu'on cherche à produire des courants alternatifs de très haute fréquence consiste à utiliser des alternateurs.

Les alternateurs industriels produisent des courants dont la fréquence n'est généralement pas supérieure à 50 ou 60.

Ils sont constitués en principe, par deux enroulements : l'inducteur et l'induit. Le premier est parcouru par un courant continu d'excitation fourni par une batterie ou une dynamo auxiliaire. Son rôle est de produire un flux variable périodiquement dans l'enroulement de l'induit. La variation de ce flux fait naître dans l'induit une force électromotrice périodique.

On obtient la variation du flux en laissant l'un des enroulements fixes (Stator) et en faisant tourner l'autre (Rotor) autour d'un axe. De cette façon des pôles d'électro-aimants alternativement nord et sud viennent se présenter successivement devant les bobines de l'induit. Le flux dans l'une des bobines de l'induit varie donc périodiquement, la période étant égale au temps que met une paire de pôles pour passer devant une bobine fixe. Si N est le nombre de tours du rotor par seconde et p le nombre de paires de pôles de l'inducteur la fréquence est Np .

Pour accroître, autant que possible la fréquence il faut donc augmenter la vitesse de rotation du rotor et le nombre des pôles de l'inducteur. Mais on est vite limité dans l'une et l'autre voie. La vitesse périphérique maxima, admissible pour une pièce tournante dépend de la résistance mécanique des organes qui la constituent. Lorsqu'il s'agit en particulier d'enroulements et non de pièces métalliques homogènes cette vitesse périphérique reste faible. Le nombre de pôles augmentant chaque pôle devient plus petit et les phénomènes d'induction dans l'induit et par conséquent la puissance de l'alternateur deviennent plus faibles.

On a donc songé à construire des alternateurs de haute fréquence dont les deux enroulements restent immobiles et dans lesquels on ne fait tourner que des pièces métalliques homogènes.

En particulier, Alexanderdon a réalisé des alternateurs qui peuvent débiter plusieurs Kilowatts pour la fréquence 200.000

La pièce tournante est un disque en acier-chrome-nickel portant un grand nombre de dents réparties sur sa périphérie; les creux compris entre les dents sont remplis par du bronze. La surface du disque est ainsi plus lisse et le frottement de l'air est moindre. Les bobines excitatrices produisent un flux magnétique dont la ligne moyenne est représentée sur la fig. 1

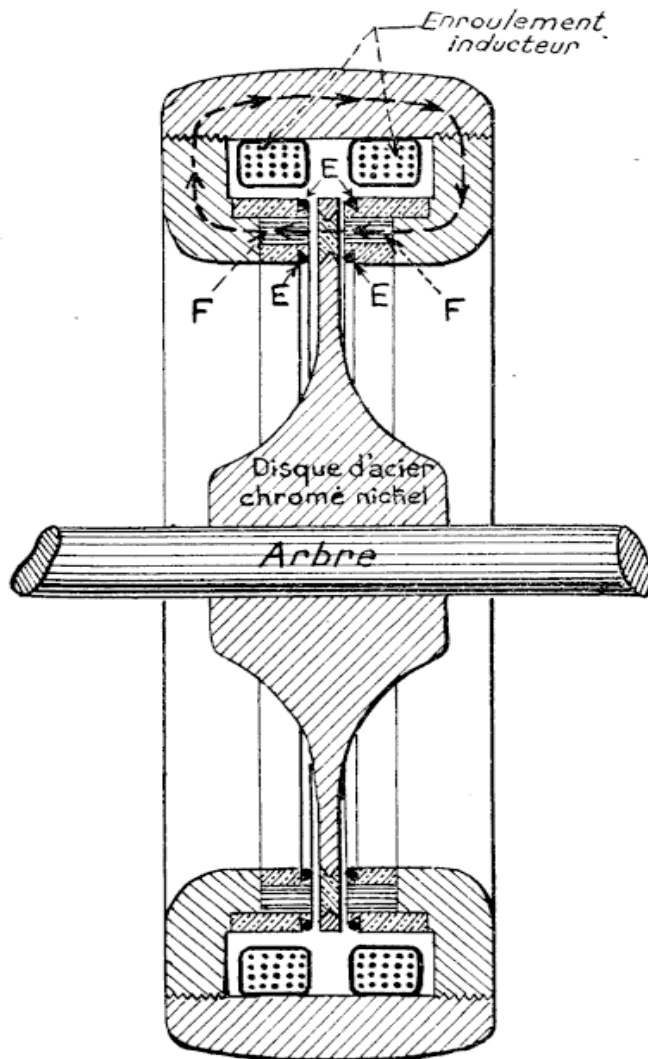


Fig. 1
Alternateur d'Alexanderson
(Coupe)

par un trait portant des flèches indiquant son sens. Le circuit magnétique est constitué par l'acier de la carcasse par des tôles F, très minces en fer doux. Lorsque le disque présente une dent, le flux n'a à franchir que les deux entrefers très étroits qui se trouvent entre les tôles et le disque et l'épaisseur du disque, qui est en acier et est, par suite, très perméable; lorsqu'il présente un creux, le flux doit franchir tout l'espace compris entre les tôles (le bronze au point de vue du passage du flux magnétique se comporte comme de l'air). Le flux est donc plus grand au passage d'une dent qu'au passage d'un creux.

La rotation du disque produit par suite des variations très rapides du flux dans l'enroulement induit E, qui est logé dans des encoches taillées de part et d'autre du disque dans l'armature fixe. Chaque encoche ne contient qu'un seul fil.

Dans un des types décrits d'alternateurs d'Alexanderson, le disque avait environ 30 centimètres de diamètre et portait 300 dents. Sa vitesse de rotation était de 20 000 tours à la minute.

L'induit était bobiné dans 600 encoches. La puissance normale de 2 kW environ pour la fréquence 100.000.

Les entrefers étaient réglables. Avec les entrefers minima ($0,1\text{ mm}$), la force électromotrice obtenue était de 300 volts et avec les entrefers normaux ($0,4\text{ mm}$ environ) elle était de 150 volts. Sur un circuit accordé on pourrait débiter 30 ampères sous 70 volts.

Avec des alternateurs d'un type plus récent Alexanderson en employant un nouveau type de bobinage a obtenu la fréquence 200.000.

Les alternateurs du type précédent permettent d'obtenir des fréquences suffisamment élevées pour travailler même avec de faibles longueurs d'ondes ; mais ils exigent la rotation d'une armature à très grande vitesse. Malgré cette grande vitesse le coefficient de sécurité ne tombe pas au-dessous de 6.

Alternateur de Goldschmidt. — M. R. Goldschmidt a construit un alternateur qui comprend comme un alternateur ordinaire deux enroulements l'un fixe ou stator et l'autre mobile ou rotor. L'un est excité par du courant continu. Il naît par le mécanisme ordinaire du courant alternatif de fréquence fondamentale dans l'induit ; le champ produit par ce courant réagissant sur l'inducteur donne du courant de fréquence double de la fréquence fondamentale. Ce courant réagissant à son tour sur l'induit y fait naître un courant de fréquence triple de la fréquence fondamentale et ainsi de suite.

Le fonctionnement de l'alternateur de Goldschmidt peut être expliqué simplement en s'appuyant sur la propriété suivante des champs magnétiques alternatifs de direction fixe :

Un champ magnétique de direction fixe, mais de grandeur périodiquement variable suivant une loi sinusoïdale, peut être remplacé par la somme de deux champs de grandeur constante mais tournant en sens inverse et avec une vitesse angulaire égale à la pulsation du champ alternatif.

Un champ magnétique de direction fixe mais de grandeur variant suivant une loi sinusoïdale, est celui que produit un électro-aimant fixe dont l'enroulement est parcouru par un courant alternatif.

On peut se représenter un champ de grandeur constante mais tournant comme un champ dont les lignes de force toujours distribuées de la même façon mais tournent à la façon d'une aiguille de montre.

Pour comprendre la démonstration de la propriété énoncée

plus haut, il suffit d'examiner la figure 2 dans laquelle OB et OA

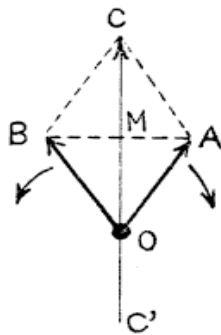


Fig.2

représentent des champs d'intensité constante, tournant avec des vitesses égales, mais de sens contraire autour du point O . Ces champs se composent à la façon de deux forces, et donnent une résultante $OC = 2 OM$ dont la direction est fixée quel que soit l'angle dont ces deux champs ont tourné. D'autre part la grandeur de OM et par suite de OC varie par définition selon une loi sinusoïdale.

Dans l'alternateur de Goldschmidt le stator qui est alimenté par du courant continu produit un champ fixe et constant. Ce champ induit dans le rotor un courant alternatif de la fréquence fondamentale correspondant à la vitesse de rotation et au nombre de pôles.

Le courant développé dans les bobines du rotor par cette force électromotrice produit un champ alternatif de direction fixe par rapport au rotor. Ce champ peut être remplacé par deux champs d'intensité constante tournant avec la vitesse du rotor l'un dans le même sens que lui et l'autre en sens inverse en vertu de la propriété qui vient d'être démontrée. L'un de ces champs est donc immobile dans l'espace et l'autre tourne deux fois plus vite que le rotor. Le premier champ tend à diminuer l'action du champ excitateur du stator ; cette action est connue sous le nom de réaction d'induit ; le second traverse les bobines du stator et développe des courants d'une fréquence double de la fréquence fondamentale.

Ces courants produisent un champ alternatif de direction fixe et de grandeur variant avec une fréquence double de la fréquence fondamentale. Ce champ fixe peut être remplacé par deux champs tournant en sens inverse avec des vitesses doubles de la vitesse du rotor. Celui qui tourne dans le même sens que le rotor a, par rapport à celui-ci une vitesse égale à celle du rotor, il y engendre donc une force électromotrice de la fréquence fondamentale ; celui qui tourne en sens inverse a, par rapport au rotor, une vitesse triple de celui-ci, il y engendre donc une force électromotrice ayant une fréquence triple de la fréquence fondamentale. Cette dernière force électromotrice donne naissance à un courant qui produit un champ alternatif fixe par rapport au rotor mais de fréquence triple de la fréquence fondamentale.

Ce champ peut, à son tour, être décomposé en deux champs tournant, dont l'un, en particulier, tourne deux fois plus vite que le rotor.

il engendre dans le stator un courant de fréquence quadruple de la fréquence fondamentale. On pourrait raisonner ainsi indéfiniment et obtenir théoriquement des courants dont la fréquence, soit 2, 3, 4... fois plus grande que la fréquence fondamentale.

Goldschmidt a donné le nom d'alternateur à réflexion à sa machine parce qu'il comparait le stator et le rotor qui se renvoient réciproquement l'énergie électrique à un miroir fixe et un miroir tournant, entre lesquels un rayon lumineux se réfléchit successivement sur l'un et l'autre des miroirs.

Pratiquement, pour que les forces électromotrices des fréquences successives puissent produire des courants d'intensité suffisante, il faut leur ménager des chemins dans des circuits oscillants accordés, montés aux bornes du stator et du rotor dans lesquels ils passent sans rencontrer de résistances appréciables. Comme on ne peut pas augmenter indéfiniment le nombre de ces circuits oscillants, on limite pratiquement le nombre des réflexions à 3 ou 4. En partant, comme l'a fait Goldschmidt d'une fréquence fondamentale de 10.000, on peut obtenir des courants de fréquence de 30.000 ou 40.000 selon le cas. En général, le dernier circuit accordé est le circuit d'utilisation.

La figure 3 représente schématiquement un alternateur

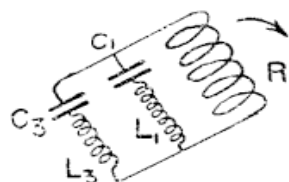
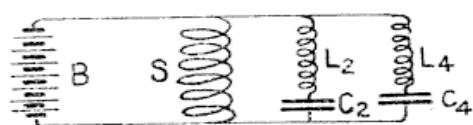


Fig. 3

Schéma de l'Alternateur Goldschmidt
(4 réflexions)

à 4 réflexions. R représente l'enroulement du rotor et S celui du stator. Ce dernier est parcouru par le courant continu d'excitation.

Deux circuits oscillants sont montés entre les bagues du rotor, l'un ($L_1 C_1$) est accordé sur la fréquence fondamentale et l'autre ($L_3 C_3$) la fréquence triple, deux autres circuits oscillants sont montés entre les bornes du rotor,

l'un ($L_2 C_2$) est accordé sur la fréquence double et l'autre ($L_4 C_4$) sur la fréquence quadruple de la fréquence fondamentale. Dans la pratique ($L_1 C_1$) serait l'antenne.

Dans cet alternateur, tous les champs de fréquences intermédiaires s'annulent à peu près, les uns les autres, sauf le dernier qui persiste et qui cause seul les pertes dans le fer.

Les circuits magnétiques traversés par des champs de

Haute fréquence sont constitués par des tôles très minces ($0,04 \text{ mm}$ environ) de fer doux isolées les unes des autres et serrées de façon à constituer un bloc assez compact.

La fréquence des courants est déterminée par la vitesse de rotation de l'alternateur qui, par conséquent doit être bien réglée et maintenue constante. Le réglage de cette vitesse constitue une difficulté qui a été résolue comme nous le verrons dans l'étude des stations.

On construit des alternateurs de ce type, dont la puissance peut varier de 5 à 150 kilowatts et dont la fréquence est de l'ordre de 30.000 ou 40.000. Le rendement est satisfaisant. La forme du courant est pure et l'amplitude bien constante.

La fréquence que peut fournir ces machines est limitée en raison de l'impossibilité d'obtenir une fréquence fondamentale beaucoup supérieure à 10.000 et d'employer plus de 4 réflexions successives.

Transformateurs statiques de fréquence. — On réalise ordinairement les changements de fréquence des courants industriels au moyen de groupes convertisseurs moteur-générateur. Ce procédé ne permet pas d'obtenir de la haute fréquence puisqu'il suppose qu'on peut réaliser une génératrice capable de produire cette fréquence.

Maurice Joly a indiqué un procédé qui permet d'obtenir de hautes fréquences en multipliant à l'aide de transformateurs statiques analogues aux transformateurs ordinaires la fréquence du courant fourni par un alternateur. Il a étudié un transformateur doubleur de fréquence et un transformateur tripleur de fréquence.

Le fonctionnement de ces appareils utilise le phénomène de la saturation du fer. Lorsque du fer doux est placé dans un champ magnétique d'intensité croissante le flux produit augmente d'abord proportionnellement à l'intensité de ce champ; puis, à partir d'un certain moment le fer est saturé et le flux qui le traverse reste sensiblement constant malgré l'augmentation de l'intensité du champ.

La méthode de multiplication de Maurice Joly consiste essentiellement dans l'emploi de deux transformateurs dont les primaires sont reliés en série et dont les secondaires sont également reliés en série, mais de façon que les forces électromotrices de la fréquence primaire s'opposent et disparaissent de ce fait. Un tel système alimenté par du courant alternatif ne débite rien. Mais en créant une dissymétrie magnétique dans les deux transformateurs, soit par l'emploi d'une excitation spéciale.

par courant continu, soit en établissant les circuits magnétiques d'une façon appropriée, on peut développer dans le secondaire des courants de fréquences multiples de la fréquence primaire.

Le circuit d'utilisation doit être réglé à la résonance pour la fréquence à obtenir ; autrement, la puissance disponible resterait très faible.

Transformateur doubleur. — Le montage est celui de la figure 4. Deux transformateurs ordinaires identiques ont leurs

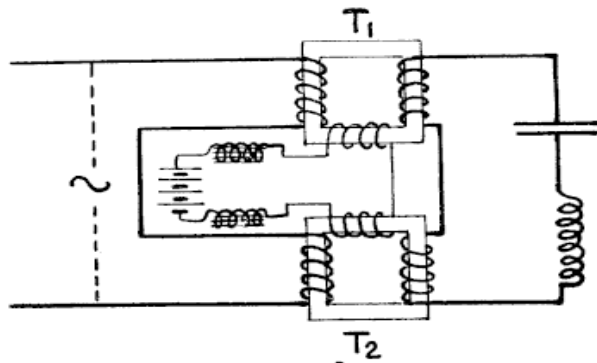


Fig. 4

Doubleur de Fréquence Maurice Joly.

primaires reliés en série ; les secondaires étant également reliés en série mais de façon que les forces électromotrices qui y sont induites par chacun des primaires soient en opposition. Chaque transformateur porte un enroulement supplémentaire parcouru par un même courant continu, mais de sens contraire. L'intensité du courant continu excitateur est telle que la saturation du

fer est juste atteinte.

Le fonctionnement du système est facile à saisir. Considérons ce qui se passe pendant une période du courant primaire. La première alternance produit, dans l'un des transformateurs, T_2 par exemple, un effet de même sens que le courant continu d'aimantation ; et dans l'autre transformateur T_1 un effet de sens inverse. Le noyau du premier transformateur est donc soumis à une force magnétomotrice plus grande et le second à une force magnétomotrice plus petite que celle qui est due au courant permanent. Le flux magnétique n'augmente que d'une quantité insensible dans le premier noyau puisque le fer est déjà saturé, tandis qu'il diminue fortement dans le second. La variation du flux dans les deux noyaux est représentée par la figure 5 ; la courbe a représente le courant dans les primaires ; la courbe b la variation du flux dans le secondaire de T_1 et la courbe c la variation du flux dans le secondaire T_2 .

Pendant l'alternance suivante c'est l'inverse qui se produit, le flux dans le noyau du second transformateur n'augmente presque pas, tandis que dans le noyau du premier il diminue fortement.

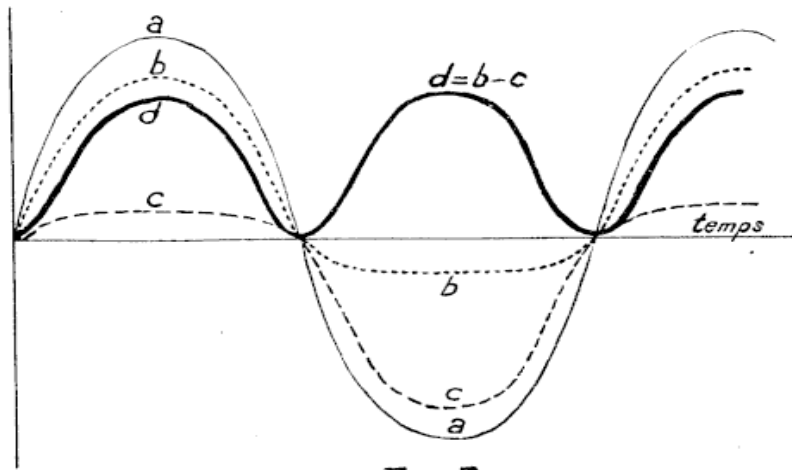


Fig. 5

- a Courant primaire
 b Variation du flux dans le noyau du transformateur T_1
 - - - c Variation du flux dans le secondaire
 — d Variation du flux dans le secondaire

La variation du flux dans l'ensemble du circuit secondaire qui comprend les deux secondaires montés de façon que les forces électromotrices induites par les primaires se retranchent est donc obtenue en retranchant les ordonnées de la courbe c de celles de la courbe b, ce qui donne

la courbe d. Il faut remarquer que cette soustraction donne bien des résultats positifs pour la seconde alternance puisqu'il s'agit de différences entre quantités négatives dont la première est plus petite en valeur absolue que la seconde.

Le flux varie donc périodiquement dans le circuit d'utilisation avec une fréquence double de celle du courant d'alimentation; la force électromotrice induite dans le circuit a par suite une fréquence double de celle du courant qui traverse le primaire; et si le circuit d'utilisation est réglé à la résonance pour la fréquence de cette force électromotrice elle pourra débiter un courant importants.

Transformateur tripleur de fréquence. — Le montage est

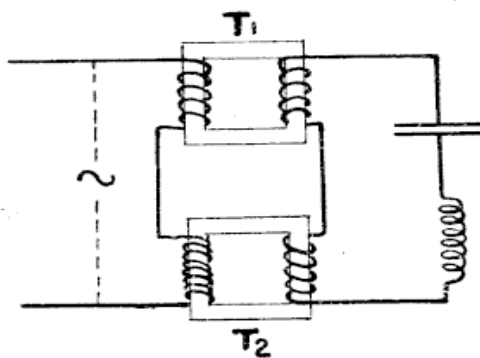


Fig. 6

Tripleur de Fréquence Maurice Joly.

celui de la figure 6. Les deux transformateurs ne sont plus identiques comme dans le cas précédent. Les circuits magnétiques sont au contraire établis de façon à avoir des propriétés très différentes. Le premier a une faible section et est saturé avant que l'intensité du courant primaire ait atteint sa valeur maxima; le flux croît donc d'abord rapidement, puis devient stationnaire malgré l'augmentation du courant lorsque la saturation

est atteinte, la courbe représentative b présente un palier. Lorsque le courant diminue la décroissance du flux est insensible tant que le fer est saturé, puis elle devient rapide dès qu'on est en dessous de la saturation.

Le circuit magnétique du second transformateur a au contraire une forte section de façon à ce que la saturation soit encore loin d'être atteinte même pour l'intensité maxima; le flux qui le traverse peut être représenté par la courbe c qui présente une pointe très accusée au moment du courant maximum.

La variation du flux dans le secondaire est représentée par la courbe d (fig. 7) qui s'obtient en retranchant les ordonnées de la courbe c

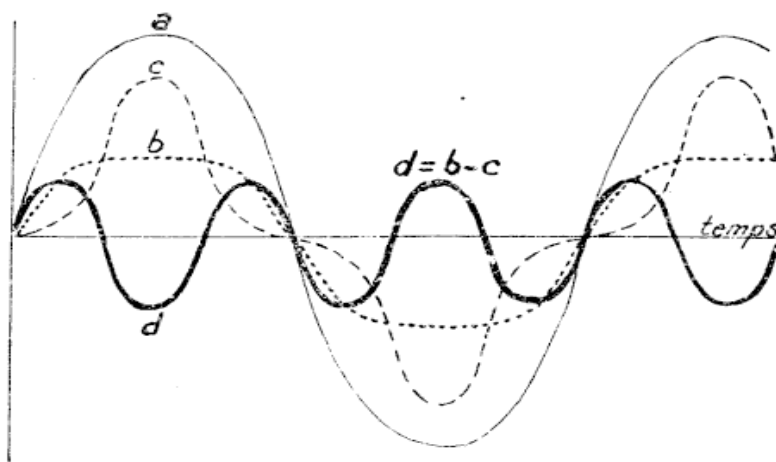


Fig. 7

- | | | | |
|-------|--|-------------|-------|
| — a | Courant primaire | | |
| --- b | Flux produit dans le noyau du transformateur T_1 | | |
| --- c | | $d = b - c$ | T_2 |
| — d | Flux produit dans le secondaire | | |

et celles de la courbe b . Cette courbe est périodique et sa période est le tiers de celle du courant d'alimentation.

La force électromotrice engendrée par la variation du flux a donc une fréquence triple de celle du courant d'alimentation.

Le circuit d'utilisation est réglé à la résonance pour cette fréquence triple. Il

faut naturellement que les transformateurs soient calculés de façon que les flux aient bien les grandeurs relatives indiquées sur la figure.

Production des oscillations entretenues au moyen de l'arc électrique.

— C'est Elihu Thomson qui démontra le premier la possibilité de produire dans un circuit oscillant des oscillations entretenues avec du courant continu. Dans le montage qu'il utilisait (figure 8) une source de courant continu ayant une force électromotrice d'environ 500 volts alimentait un éclateur à électrodes métalliques à travers deux bobines de self induction. On amenait d'abord les électrodes au contact et on les écartait ensuite, de façon qu'un arc s'amorce. Dans ces

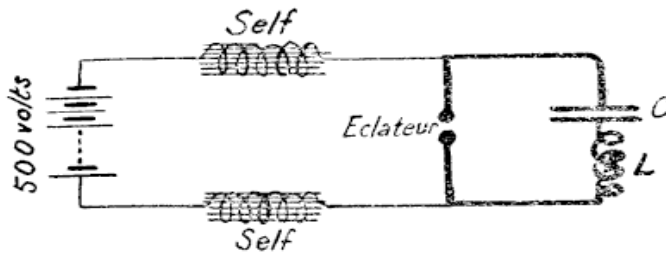


Fig. 8

Montage d'Elihu Thomson

placant les électrodes métalliques de l'éclateur par des charbons de

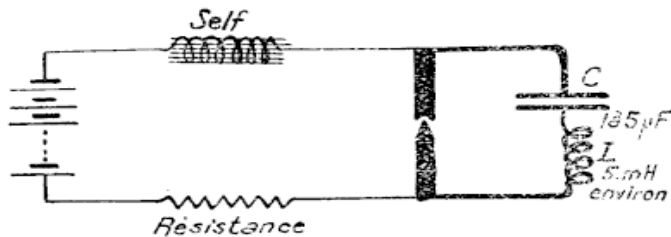


Fig. 9

Arc chantant de Duddell

conditions, l'inventeur peut obtenir dans le circuit oscillant des oscillations d'une fréquence de 30.000 ou 40.000. Cependant, on ne sait pas si les oscillations qu'il obtenait ainsi étaient véritablement entretenues.

W. Duddell réalisa un progrès important en remplaçant les électrodes métalliques de l'éclateur par des charbons de lampe à arc. Le montage était celui de la fig. 9. Si la fréquence propre du circuit oscillant est comprise dans les limites des sons audibles l'arc fait entendre un son de hauteur correspondante, d'où le nom "d'arc chantant" donné à ce dispositif.

L'arc de Duddell ne permet cependant pas d'obtenir des oscillations de très haute fréquence, ni d'une énergie suffisante pour être utilisable en radiotélégraphie.

Mode de fonctionnement de l'arc. — D'une façon générale, on appelle caractéristique d'un conducteur, la courbe obtenue en représentant la différence de potentiel entre les extrémités de ce conducteur en fonction de l'intensité qui le traverse. Si le conducteur suit la loi d'ohm, l'intensité est proportionnelle à la différence de potentiel, la caractéristique est donc une droite passant par l'origine des coordonnées.

L'arc diffère complètement d'un conducteur métallique ordinaire. Lorsque le courant dans l'arc augmente, la différence de potentiel entre ses électrodes diminue.

Ceci tient à ce que la naissance de l'arc est liée à l'existence d'une cathode incandescente qui peut alors émettre des charges négatives ou électrons. Cette émission donne lieu au phénomène de l'arc; elle est d'autant plus facile que la température est plus élevée et la région incandescente plus développée. On conçoit donc que la résistance de l'arc diminue avec l'intensité.

Prenons un arc de longueur donnée et faisons varier l'intensité qui le traverse. En mesurant la différence de potentiel aux bornes de cet arc pour les différentes intensités et en portant les valeurs obtenues sur une courbe, on obtient ce qu'on appelle la caractéristique statique de l'arc.

L'examen de cette caractéristique permet de saisir facilement son mode de fonctionnement. (fig.10).

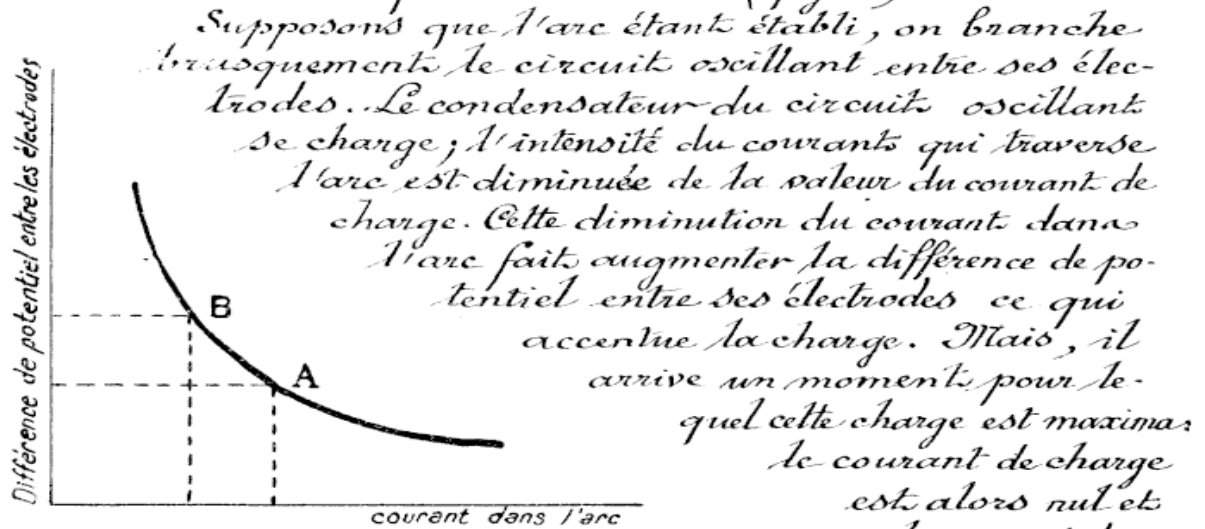


Fig.10

Caractéristique statique d'un arc de longueur donnée.

Supposons que l'arc étant établi, on branche brusquement le circuit oscillant entre ses électrodes. Le condensateur du circuit oscillant se charge; l'intensité du courant qui traverse l'arc est diminuée de la valeur du courant de charge. Cette diminution du courant dans l'arc fait augmenter la différence de potentiel entre ses électrodes ce qui accentue la charge. Mais, il arrive un moment pour lequel cette charge est maximale; le courant de charge est alors nul et le courant dans l'arc a repris sa valeur primitive. La différence de potentiel entre les électrodes de l'arc a donc diminué et repris aussi sa valeur primitive. Mais alors, le condensateur qui est chargé à une différence de potentiel supérieure à la différence de potentiel normale entre les bornes de l'arc, se décharge dans celui-ci, ce qui augmente le courant qui le traverse et diminue la différence de potentiel entre ses bornes; la décharge est donc favorisée. Mais, en raison de la self que possède le circuit oscillant, le courant de décharge ne s'arrête pas lorsque le condensateur est complètement déchargé, il persiste et recharge le condensateur en sens inverse. Les phénomènes précédents se répètent; mais avec cette différence que le système se trouve chargé à une différence de potentiel inférieure à celle qui alimente l'arc. Des oscillations entretenues prennent donc naissance dans le circuit oscillant.

La fréquence de ces oscillations est égale à la fréquence propre du circuit oscillant.

Le raisonnement précédent suppose que le courant d'alimentation est constant, c'est à dire que l'intensité des oscillations qui

chargent le condensateur du circuit oscillant, est prélevée sur celle du courant qui traverse l'arc. Ceci est légitime, car l'alimentation se fait à travers une self qui s'oppose à des variations d'intensité de grande fréquence.

Lorsque l'arc produit des oscillations et qu'il est traversé par un courant d'intensité variable, sa caractéristique n'est plus la même que dans le cas où l'intensité qui traverse l'arc varie lentement, un régime stable s'établissant après chaque variation. La caractéristique est dans ce cas une courbe fermée, on l'appelle caractéristique dynamique pour la distinguer de la caractéristique statique.

On connaît trois modes différents de fonctionnement d'un arc :

1°) L'intensité dans le circuit oscillant reste faible, par rapport à l'intensité normale d'alimentation ; le courant qui traverse l'arc ne varie pas beaucoup. C'est ainsi que fonctionne l'arc chantant de Duddell ;

2°) L'intensité dans l'arc s'annule et l'arc s'éteint un certain temps. Le mode de fonctionnement de l'arc ordinaire de Poulsen rentre dans ce cas

3°) L'amplitude des oscillations peut être suffisante pour que l'arc, après s'être éteint, soit rallumé par un courant de sens inverse.

Oscillations de première espèce. — Les oscillations ont des amplitudes limitées. Pour les hautes fréquences, leur énergie reste trop faible pour qu'on puisse les utiliser en Radiotélégraphie. Ce mode de fonctionnement s'adapte à la production des courants alternatifs de fréquence musicale ; c'est celui de l'arc chantant de Duddell.

Oscillations de seconde espèce. — Lorsque l'amplitude des oscillations peut dépasser la valeur du courant normal d'alimentation de l'arc, l'intensité dans l'arc s'annule à un certain moment et si on agit alors convenablement sur l'arc il s'éteint et ne se rallume qu'après un certain temps, lorsque la tension entre les électrodes de l'arc a atteint la valeur qui correspond à la tension d'allumage.

Le courant dans le circuit oscillant n'est pas sinusoïdal, et sa forme diffère d'autant plus d'une sinusoïde que la durée d'extinction est plus longue. Il ne faut donc pas trop augmenter cette durée sous peine de produire des oscillations contenant des harmoniques d'amplitudes notables, et dont on ne peut utiliser que l'énergie correspondant à la fréquence fondamentale puisqu'on les fait agir sur un circuit réglé à la résonance. En exagérant la durée d'extinction, on peut

produire une suite d'impulsions bien séparées capables de donner des excitations par choc parfaits.

La fréquence n'est plus donnée par la formule de Thomson, elle dépend du temps que dure l'extinction.

L'énergie que l'on peut emprunter au circuit oscillant est grande, car pendant la période d'extinction, le condensateur du circuit oscillant est chargé par la source; il se décharge ensuite dans l'arc qui se rallume lorsque la tension d'allumage est atteinte. L'énergie emmagasinée par le condensateur est d'autant plus grande que la tension d'allumage est plus grande. Pour augmenter cette tension d'allumage, on emploie tous les procédés susceptibles de faire disparaître les traces d'ionisation de l'air, dès que l'arc est éteint; on refroidit les électrodes et en particulier l'anode (électrode positive), on fait tourner la cathode (électrode négative) de façon que l'arc jaillisse entre des parties relativement froides, on produit l'arc dans une atmosphère d'hydrogène, de gaz d'éclairage ou de vapeur d'alcool; enfin, on chasse les gaz ionisés qui sont entre les électrodes, au moyen d'un champ magnétique puissant.

Les arcs utilisés comme générateurs d'oscillations entretenues pour la transmission fonctionnent d'après ce mode.

Oscillations de troisième espèce. — Les oscillations de troisième espèce ne sont pas de véritables oscillations entretenues, elles sont constituées par les décharges amorties du condensateur à travers l'arc qui se produisent lorsque celui-ci se rallume. Elles ont le même caractère que les décharges obtenues à l'aide d'un éclateur à étincelles éteintes. Ce mode d'oscillation prend naissance lorsqu'on exagère l'augmentation de la tension d'allumage. On n'a généralement pas à l'employer en T.S.F.

Arc de Poulsen. (fig. 11). — Poulsen a porté l'arc à un haut degré de perfection, et en a fait un générateur d'oscillations entretenues véritablement pratique.

La grande amélioration introduite par Poulsen consiste à faire jaillir l'arc dans une atmosphère d'hydrogène ou de carbures d'hydrogène. Cet arc est produit entre une anode (électrode positive) en cuivre et une cathode (électrode négative) en charbon.

L'anode est refroidie par une circulation d'eau. De plus, l'arc jaillit dans un champ magnétique très puissant qui le coupe dès que l'intensité s'annule et qui chasse tous les gaz ionisés.

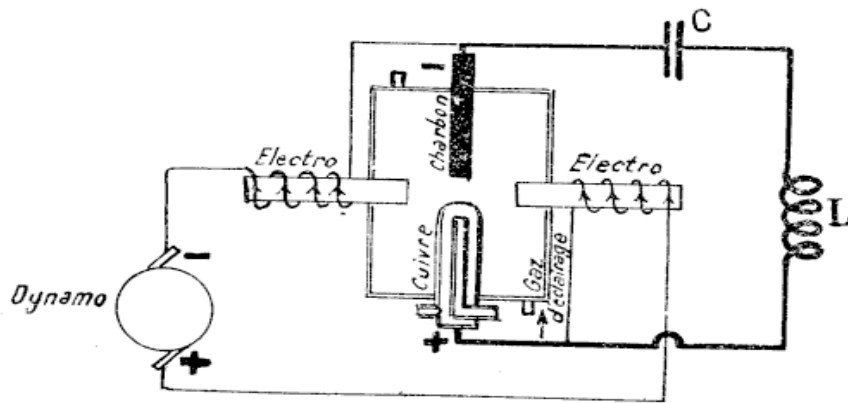


Fig. 11

Montage de l'Arc de Poulsen

de son axe, elle est entraînée par un moteur.

L'arc est alimenté à travers les enroulements de l'électro-aimant, qui jouent le rôle de bobines de choc et empêchent le retour des oscillations de haute fréquence vers la

source. Un autre avantage de cette disposition consiste en ce que des variations accidentelles de la force électromotrice de la source troublent beaucoup moins le fonctionnement de l'arc.

La boîte qui renferme l'arc est refroidie soit par le rayonnement d'ailettes, soit par une circulation d'eau. Pratiquement on produit souvent l'arc dans une atmosphère de gaz d'éclairage, ou de vapeur d'alcool; dans ce dernier cas on fait tomber l'alcool liquide goutte à goutte dans la boîte, à l'aide d'une sorte de graisseur.

On règle la longueur de l'arc au moyen d'une vis; il y a une valeur déterminée qui donne de bien meilleurs résultats que les autres.

L'arc de Poulsen fonctionne bien sous une tension de 500 à 600 volts. On l'amorce en amenant momentanément les électrodes au contact, et en les séparant ensuite.

Cet arc donne des oscillations de grande énergie pour des fréquences pouvant atteindre un million. Pour obtenir un bon fonctionnement à une fréquence déterminée, il faut que la capacité du circuit oscillant soit petite, par rapport à sa self-induction. Le rapport de la self exprimé en microhenrys à la capacité exprimée en microfarads doit être de l'ordre de 10.000.

Si on veut obtenir une grande puissance, il faut monter plusieurs arcs en série ce qui permet de travailler à des tensions plus élevées. Il est souvent plus commode d'opérer ainsi, que d'augmenter l'intensité dans l'arc.

Les arcs dissipent beaucoup d'énergie sous forme de chaleur, aussi leur rendement est assez faible. On les emploie néanmoins de plus en plus, car ils permettent d'obtenir

très simplement des oscillations entretenues de grande puissance. On construit actuellement d'après ce principe des arcs de 100 et même 200 kilowatts.

Arc entre électrodes mobiles (Marconi). — En 1906 Marconi produisit des oscillations entretenues, ou à peu près en utilisant d'un arc jaillissant entre des électrodes métalliques, tournant à grande vitesse. Le dispositif dont il se servit est représenté par la fig. 12.

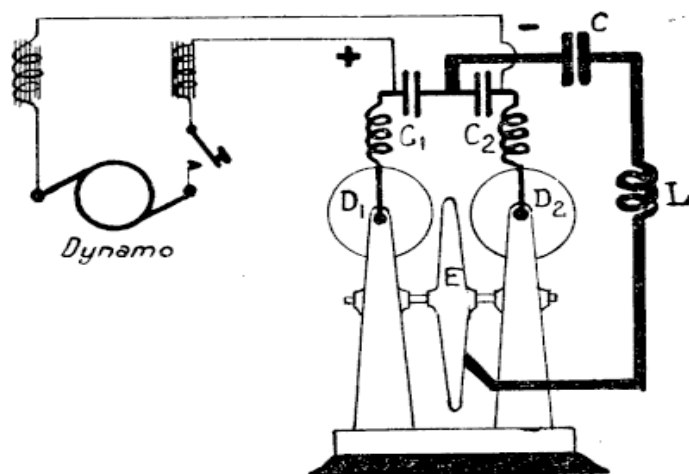


Fig. 12

Arc entre électrodes mobiles (Marconi)

Le disque central E tourne à très grande vitesse, il est entraîné par une turbine ou par un moteur électrique, les deux autres disques D₁ et D₂ tournent également très rapidement. Ces disques sont parfaitement polis. S est la source de courant continu.

Marconi explique ainsi le fonctionnement du système:

La source charge progressivement les deux condensateurs C₁ et C₂ de sorte que le disque de gauche devient positif et celui de droite négatif. Par exemple à un certain moment, sous l'action de la différence de potentiel, une décharge se produit entre l'un des disques et le disque central. Supposons que ce soit le condensateur de droite qui se soit déchargé: sa décharge traverse le circuit oscillant ECL elle est oscillante. Lorsque l'intensité change de sens il se produit une étincelle entre le disque de gauche et le disque central, puisque le condensateur qui était déjà chargé reçoit une nouvelle charge de signe convenable qui porte la différence de potentiel entre ses électrodes à la valeur voulue pour qu'il se produise une étincelle. Les condensateurs sont donc déchargés alternativement dans le circuit oscillant.

Pour que ce dispositif fonctionne, il faut que les disques tournent, autrement il se produit un arc ordinaire et on n'obtient pas d'oscillations.

École Supérieure des Postes et Télégraphes.

Cours de T. S. F. à l'usage du Personnel.

7^{ème} Leçon.

Les ondes électromagnétiques.

Sommaire.

Une onde consiste en la propagation d'un mouvement vibratoire et non en un déplacement d'ensemble de particules matérielles.

Vibrations transversales et longitudinales

L'onde apparaît comme un mouvement d'un milieu périodique dans le temps et dans l'espace.

Vitesse de propagation. - Longueur d'onde.

Les deux qualités du milieu qui interviennent dans la propagation sont l'inertie et l'élasticité.

Les ondes de toute longueur se propagent avec la même vitesse dans le même milieu.

Formule: $\lambda = VT$

Production d'une onde électrique.

Radiations chimiques, lumineuses, calorifiques et électriques.

Toutes ces radiations se propagent dans l'éther avec une vitesse de 300.000 Kilomètres à la seconde. Elles donnent lieu à des vibrations transversales du milieu.

Propriétés des ondes: Réflexion, réfraction, diffraction, interférence.

Ondes sur les fils.

Avant d'aborder l'étude des ondes électromagnétiques qui ne tombent pas directement sous nos sens puisqu'elles sont invisibles et inaudibles, il est intéressant d'examiner les propriétés des ondes qui se propagent dans les milieux matériels et qui produisent les effets faciles à observer. Le but n'est pas de citer de simples analogies, mais

bien de faire saisir au moyen d'exemples concrets le mécanisme général de la propagation d'une onde qui est le même quels qu'en soient l'origine et les milieux dans lesquels elle se déplace.

Le premier point d'importance capitale à signaler est que lorsqu'une onde se déplace, toutes les particules du milieu intéressé sont animées d'un mouvement vibratoire mais ne sont pas entraînées dans un mouvement d'ensemble dans le sens du déplacement de l'onde.

Une onde consiste en réalité en la propagation d'un mouvement vibratoire et non en un déplacement d'ensemble de particules matérielles. La propagation d'une onde est donc, si on peut ainsi parler, le déplacement d'un mouvement.

On distingue des ondes de deux espèces. Dans les unes les vibrations des particules matérielles sont des vibrations transversales, c'est-à-dire perpendiculaires à la direction dans laquelle l'onde se déplace; et dans les autres, les vibrations des particules matérielles sont des vibrations longitudinales, c'est-à-dire dirigées selon la direction de la propagation de l'onde.

On peut produire des ondes très faciles à observer en laissant tomber une pierre dans une eau tranquille. Il faut cependant remarquer que dans ce cas très simple, les ondes produites n'intéressent que la surface libre du liquide et non sa masse totale. Lorsque la pierre commence à s'enfoncer, elle ne peut se frayer un chemin qu'en chassant l'eau qui occupait primitivement sa place car l'eau est très peu compressible. Mais le déplacement de l'eau ne peut s'opérer latéralement, car il faudrait que la pierre puisse déplacer en bloc toute l'eau située à la surface du réservoir. Or, cette eau possède une inertie considérable et la pierre n'a pas l'énergie suffisante pour la mettre en mouvement. Le liquide qui occupait le volume pris par la pierre s'élève donc le long de cette dernière en formant un anneau situé au-dessus du niveau général. Mais l'eau ainsi soulevée exerce une pression sur les particules voisines qui ne pouvant pour les raisons précédentes se déplacer latéralement se soulèvent à leur tour, tandis que les particules constituant l'anneau initial s'abaissent. Cette action se poursuit de proche en proche et on observe une ride dont le diamètre va en grandissant. Mais l'eau soulevée par la pierre ne s'arrête pas, en redescendant exactement au niveau primitif, mais descend d'abord plus bas en vertu de son inertie, puis remonte plus haut exécutant une série d'oscillations amorties. On observe donc en réalité une série d'anneaux de moins

en moins accusés qui se suivent à intervalles réguliers.

L'explication précédente montre qu'aucune particule d'eau ne s'éloigne du point de chute et qu'il y a simplement propagation d'un mouvement vibratoire; l'énergie que reçoit chaque particule n'est pas conservée par celle-ci, mais cédée à la particule voisine.

On peut constater expérimentalement qu'il n'y a pas de déplacement latéral des particules d'eau en semant à sa surface des petits morceaux de liège ou de papier. Ceux-ci prennent des mouvements vibratoires dirigés selon une verticale mais n'avancent pas dans le sens de la propagation de l'onde. Les ondes de surface donnent donc lieu à des vibrations transversales.

Les vagues de la mer nous fournissent un autre exemple d'ondes de surface dans lequel le mouvement de l'eau est aussi un mouvement vertical d'ascension et de descente et non pas un mouvement de déplacement. Un canot n'est pas propulsé par les vagues, il s'élève et redescend en restant au même point de la surface de la mer. Il ne faudrait pas cependant observer les vagues sur une plage à l'endroit où elles viennent mourir, car là le phénomène n'est plus pur.

Les vagues de la mer sont produites et entretenues par le vent, aussi au lieu de s'amortir comme les rides produites par la chute d'un corps dans l'eau elles grandissent en utilisant l'énergie du vent. Lorsque le vent commence à souffler à la surface d'une mer calme, les légères inégalités dans la pression de l'air produisent de petites dépressions accompagnées d'une petite élévation de l'eau située à côté. Le vent soufflant sur la crête de la petite vague naissante produit un léger vide juste derrière; ce vide aide un peu à l'élévation de l'eau. Le phénomène se produit pour chaque vague; de sorte que l'amplitude du mouvement de l'eau augmente de plus en plus sous l'action prolongée du vent.

Les ondes produisent dans un milieu des vibrations longitudinales lorsque le milieu est compressible ou lorsque l'onde se propage dans une tige plongée dans un milieu qui lui permet de se dilater ou se contracter latéralement.

Les ondes sonores rentrent dans cette catégorie.

Supposons qu'un corps qui vibre dans l'air se dilate à un certain moment, il exerce alors une pression sur les couches d'air voisines. Cette pression ne produit pas un déplacement en bloc de tout l'air environnant, car la force initiale serait incapable de le produire en raison de l'inertie de cette masse considérable d'air. Mais les couches voisines du corps sonore

retenues par l'inertie de toute la masse d'air voisine se laisseront comprimer. Les parties comprimées agissent sur les couches voisines qui, à leur tour, se compriment alors que les particules de la couche primitivement comprimée se déplacent vers l'extérieur; l'air de cette couche reprend sa pression initiale. Ce phénomène se propage de proche en proche et l'état de compression est communiqué à des couches sphériques dont le rayon devient de plus en plus grand. La masse générale de l'air reste au repos, mais une coquille sphérique très mince est en état de compression et ses particules avancent un peu lorsque la décompression se produit.

L'onde de compression est suivie d'une onde de dépression, puis d'une autre onde de compression, etc. qui sont engendrées successivement par les dilatactions et contractions du corps sonore. Chaque particule d'air est donc animée d'un mouvement vibratoire dans le sens du déplacement de l'onde.

Une source sonore placée au sein d'une grande masse d'eau peut également y engendrer des ondes sonores. Le mécanisme de production de ces ondes est le même que dans l'air, mais il est différent de celui de la propagation des ondes de surface étudiées plus haut, puisqu'ici, c'est l'élasticité, c'est à dire la compressibilité de l'eau qui entre en jeu. D'autre part, dans ce cas, les vibrations de chaque particule sont longitudinales et non plus transversales. Les vitesses de propagation diffèrent également.

On peut, selon le mode d'excitation produire facilement des vibrations transversales ou des vibrations longitudinales dans une tige métallique.

D'une façon générale, la propagation des ondes dans un milieu matériel fait intervenir deux propriétés fondamentales de ce milieu : l'inertie et l'élasticité.

L'inertie est la propriété en vertu de laquelle une particule oppose une résistance à sa mise en mouvement, et tend à continuer d'elle-même ce mouvement lorsqu'il est acquis. Il revient au même de dire que pour communiquer une vitesse de déplacement V à une particule de masse M , il faut lui communiquer une énergie $\frac{1}{2} MV^2$ qui reste attachée à cette particule.

L'élasticité est la propriété en vertu de laquelle une portion d'un milieu résiste à un changement de volume ou de forme. Dans le cas d'un fluide comme l'air, il n'y a aucune résistance au changement de forme, mais l'élasticité se manifeste par une résistance au changement de volume.

C'est grâce à ces deux propriétés : inertie et élasticité qu'un milieu peut être le siège de la propagation d'un mouvement vibratoire.

Une conséquence immédiate de l'inertie est que lorsqu'une perturbation est produite en un point du milieu, elle n'est pas ressentie immédiatement en tous les points de ce milieu ; car pour qu'il puisse en être ainsi, il faudrait que la force agissante soit capable de déplacer en bloc tout le milieu, ce qui est impossible en raison de son inertie. Il y a donc toujours une vitesse de propagation finie, cette vitesse est la même pour toutes les ondes se déplaçant dans un même milieu ; cela se conçoit aisément puisque le mécanisme de la propagation ne fait intervenir que l'inertie et l'élasticité de ce milieu.

D'autre part, nous avons appelé énergie radiante, l'énergie propagée dans un milieu quelconque sans spécifier la nature des radiations. Nous savons maintenant que cette énergie est rayonnée sous forme d'ondes. Il est évident que cette énergie est à un certain moment complètement localisée dans le milieu sous forme d'énergie cinétique, en raison de l'inertie de ce milieu, et d'énergie potentielle en raison de l'élasticité de ce milieu.

Cette localisation est très facile à concevoir. Supposons qu'une personne pousse un cri bref, ce cri ne sera entendu par un observateur éloigné qu'un certain temps après son émission. L'énergie fournie par la personne qui a crié est complètement localisée dans l'air dans lequel elle se propage.

Nature d'une onde. — Nous allons maintenant étudier la nature d'une onde.

Physiquement parlant, une onde est un changement d'état d'un milieu périodique dans le temps et dans l'espace. Ce qui en langage ordinaire, veut dire qu'une onde consiste en un mouvement périodique de toutes les particules d'un milieu ; ces mouvements sont les mêmes pour tous les points mais n'ont pas lieu simultanément.

Dans le cas d'une onde se propageant à la surface de l'eau les particules sont animées de mouvements vibratoires, mais toutes les particules situées dans une même direction exécutent ce mouvement successivement.

Pour examiner ce qui se passe lors de la propagation d'une onde nous pouvons supposer d'abord qu'un observateur reste fixe. Dans ce cas il trouve que la particule qu'il examine est animée d'un mouvement vibratoire,

c'est à dire d'un mouvement périodique dans le temps.

Ainsi un baigneur immobile dans la mer voit l'eau monter et descendre périodiquement à mesure que passent les vagues.

Supposons maintenant qu'à un instant donné on fixe dans les positions qu'elles occupent des particules qui étaient initialement distribuées le long d'une ligne droite. On trouvera que ces particules sont distribuées suivant une sinusoïde, c'est à dire d'une courbe périodique dans l'espace (fig. 1). La distance qui sépare deux maxima ou deux

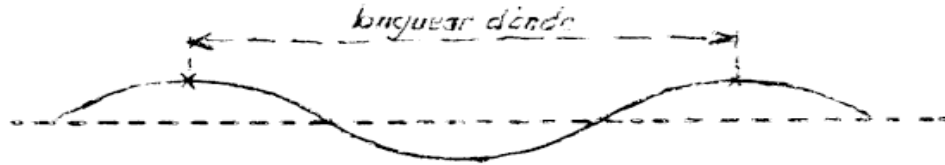


Fig. 1

zéros successifs de cette courbe est appelée la longueur d'onde. Deux points distants d'une longueur d'onde dans le sens de la propagation sont donc deux points dont les mouvements sont en phase. En se déplaçant d'une longueur d'onde, on rencontre des particules à toutes les phases possibles de leur mouvement.

Si on imagine qu'un observateur se déplace avec une vitesse telle, qu'il se trouve toujours au-dessus de particules qui sont à la même phase de leurs mouvements, sa vitesse est dite vitesse de propagation. Par exemple, une bouée qui vole de façon à être toujours exactement au sommet d'une vague se déplace avec la vitesse de propagation des vagues.

Si on appelle λ la longueur d'onde, V la vitesse de propagation et T la période dans le temps du mouvement d'une particule quelconque, on a toujours entre ces quantités la relation :

$$\lambda = V T$$

en appelant f la fréquence du mouvement des différentes particules, qui est égale à $\frac{1}{T}$, cette relation peut s'écrire :

$$\lambda = \frac{V}{f}$$

La vitesse de propagation dans un milieu est comme nous l'avons déjà dit, indépendante de la fréquence.

L'éther. — L'étude de l'optique a conduit Huygens à formuler l'hypothèse de l'existence d'un milieu particulier, qu'il a appelé l'éther, dans lequel se propagent des vibrations qui sont la cause de tous

les phénomènes lumineux. Toutes les observations faites jusqu'ici ont confirmé cette manière de voir. Les ondes lumineuses consistent en vibrations transversales de l'éther qui se propagent avec une vitesse de 300 000 kilomètres à la seconde. Le fait que la lumière des astres nous arrive après avoir traversé les espaces interstellaires, nous montre que l'éther doit remplir tout l'espace. Il remplit aussi les corps transparents ainsi que tous les corps comme la suite nous l'apprendra.

L'observation des actions qui s'exerce à distance entre les masses électriques et les masses magnétiques avait suggéré aux premiers physiciens qui les constatèrent l'idée qu'il devait exister un milieu par l'intermédiaire duquel ces actions sont transmises. Mais ce n'est qu'en 1864 que Maxwell précisa l'hypothèse de l'existence du milieu électromagnétique transmettant avec une vitesse finie les actions électriques et magnétiques. Le mémoire de Maxwell mettait en évidence l'identité de l'éther lumineux et du milieu électromagnétique.

Comme les phénomènes électriques et magnétiques se manifestent dans tous les corps, on est amené à penser que l'éther est un agent répandu dans tout l'univers et pénètre tous les corps solides, liquides ou gazeux. Cette dernière propriété ne doit pas paraître étonnante puisque les corps matériels sont des agglomérations d'atomes, entre lesquels il existe d'innombrables interstices; chaque atome est lui-même constitué par un assemblage de petits centres portant des charges électriques. Même avec l'aide du microscope, l'œil ne peut pas discerner les intervalles qui existent entre les différents constituants d'un corps matériel. Il se produit un effet analogue à ce qui se passe lorsqu'on observe à distance une foule qui paraît compacte alors qu'en réalité elle est constituée par des individus différents et bien séparés.

La constitution réelle de l'éther n'est pas connue, mais certaines de ses propriétés ont été déterminées par l'étude des propriétés des phénomènes lumineux ou électriques.

En particulier, l'éther est doué d'inertie ou d'élasticité, puisqu'il permet la propagation des ondes.

Dans l'air la vitesse de propagation du son est de 330 m; dans les aciers même très durs elle n'est encore que de 5600 m. Ces vitesses sont tellement inférieures à celles des ondes qui se déplacent dans l'éther qu'on a été amené à penser que ses propriétés élastiques et son inertie sont de nature notablement différentes de celle des milieux matériels ordinaires.

Les ondes chimiques, lumineuses, caloriques et électriques. — Le mouvement vibratoire de l'éther se manifeste de façon très dissemblable.

suivant la fréquence des vibrations transmises ou ce qui revient au même selon la longueur d'onde des radiations.

La nature nous a doté d'un sens spécial : la vue sur lequel agissent les ondes lumineuses dont les longueurs sont comprises entre $0^{\mu}4$ et $0^{\mu}78$ (la lettre μ signifie micron, ou millième de millimètre). À chaque longueur d'onde correspond une couleur déterminée. En deça du violet qui correspond aux ondes visibles les plus courtes, il existe des rayons invisibles appelés ultra-violet qui produisent des effets chimiques faciles à mettre en évidence au moyen d'une plaque photographique. Les longueurs des ondes chimiques varient de $0^{\mu}1$ à $0^{\mu}4$.

De même au-delà du rouge, il existe des ondes également invisibles dont les longueurs s'étendent de $0^{\mu}78$ à 314^{μ} ; elles produisent des effets caloriques décelables au moyen du thermomètre.

En général, les sources de radiation lumineuse produisent en même temps des rayons chimiques, lumineux et caloriques.

C'est Hertz qui, le premier, a réussi à produire des ondes électriques ou ondes hertziennes avec lesquelles il renouvela les expériences fondamentales de l'optique. Actuellement, on peut produire des ondes dont la longueur varie de 2 millimètres à plusieurs kilomètres. En radiotélégraphie on utilise ordinairement des ondes dont les longueurs sont comprises entre 150 mètres et 10 kilomètres.

Entre les ondes calorifiques et les ondes électriques, il existe toute une région encore inexplorée correspondant à un intervalle d'environ 3 octaves. Les rayons calorifiques ont des propriétés qui se rapprochent déjà beaucoup des propriétés de rayons électriques de petite longueur d'onde; malgré tout, il y a peu d'espoir pour qu'on puisse combler ce vide en utilisant nos sources actuelles de radiations.

Les rayons chimiques ultra-violet sont eux-mêmes séparés de rayons X dont la longueur est encore plus courte par une région de radiations encore inconnues.

Toutes ces radiations donnent lieu à des vibrations transversales de l'éther qui se propagent dans l'espace avec une vitesse de 300.000 kilomètres à la seconde; elles diffèrent par leurs longueurs et surtout par leurs manifestations.

Il est évident que l'éther doit emmagasiner l'énergie lumineuse, calorifique, électrique sous forme d'énergie cinétique et d'énergie potentielle pendant la propagation. L'énergie lumineuse que nous envoie le soleil par exemple est, après l'avoir quitté et avant d'avoir atteint la terre complètement, localisée dans l'éther.

De même l'énergie radiée par une antenne est, après l'avoir quittée et avant de rencontrer des conducteurs absorbants complètement contenue dans le milieu. Cet emmagasinement sous forme d'énergie cinétique et potentielle est possible parce que l'éther est un milieu doué d'élasticité et d'inertie.

Nous savons déjà qu'une force électromotrice appliquée à un diélectrique le place dans un état de tension spécial et que la déformation est proportionnelle à l'inverse du pouvoir inducteur spécifique. Cette dernière quantité joue donc pour un diélectrique le rôle de l'élasticité pour un corps matériel.

D'autre part, une déformation mécanique d'un corps élastique entraîne un emmagasinement d'énergie potentielle. De même diélectrique, soumis à une force électrique emmagasine une certaine quantité d'énergie électrique de repos. Alors que l'énergie électrique apparaît comme une énergie d'origine élastique, l'énergie magnétique correspond à l'énergie cinétique de l'éther. La somme de ces deux énergies est l'énergie totale que possède chaque volume élémentaire, cette énergie est ensuite cédée aux particules voisines.

Production d'une onde électromagnétique dans un diélectrique.

La propagation d'une onde électromagnétique peut s'expliquer à l'aide des deux lois de circulation de Maxwell (2^e leçon):

La variation du flux d'induction électrique embrassé par un contour engendre le long de ce contour une force magnétomotrice.

La variation du flux d'induction magnétique embrassé par un contour engendre le long de ce contour une force électromotrice.

Supposons qu'un flux magnétique très considérable soit

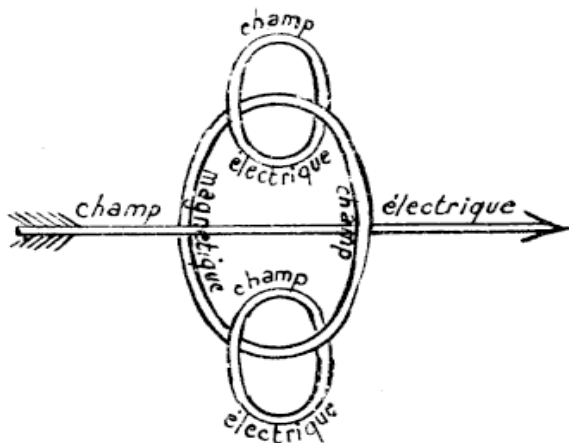


Fig. 2

localisé dans un très petit espace et qu'il soit dirigé selon la flèche (figure 2). Si ce champ disparaît très rapidement, le flux embrassé par des cercles quelconques dont le plan est perpendiculaire à la direction du champ diminue très rapidement, un champ magnétique dont les lignes de force circulaire embrassent le flux de force électrique apparaît donc au voisinage du champ primitif.

Mais l'apparition de ce champ magnétique correspond à une augmentation de flux magnétique à travers tout circuit dont le plan passe par la direction du champ électrique primitif et embrassant les lignes de force magnétique. L'apparition du champ magnétique provoque donc l'apparition d'un champ électrique dont les lignes sont circulaires et entourent les précédentes.

Tous ces champs magnétiques et électriques ne sont pas engendrés simultanément. Les lignes de force magnétiques naissent au voisinage du champ électrique et leur nombre croît lorsque le champ électrique disparaît. La production de ce flux magnétique fait naître d'autres lignes électriques fermées qui entourent les précédentes, mais l'apparition de ce champ électrique fait lui-même apparaître d'autres lignes de force magnétique parallèles et de même sens aux premières mais situées plus loin du champ primitif. La perturbation se propage ainsi de proche en proche dans le milieu. Cette propagation est accompagnée de l'apparition de champs électriques et magnétiques à des distances croissantes du champ primitif.

Lorsque le champ électrique primitif a complètement disparu le flux magnétique doit disparaître aussi puisqu'il n'y a plus de variation du flux électrique embrassé par ses lignes de force. La diminution de ce flux magnétique produit donc un champ électrique qui remplace le premier mais est dirigé en sens inverse du champ initial. Ceci produit un renversement du sens de tout le système de ligne de force électrique et magnétique. Ce renversement de sens ne s'opère pas simultanément en tous les points mais se propage de proche en proche comme la perturbation initiale.

L'énergie que possède un élément de volume du milieu est donc cédée aux éléments voisins par le mécanisme suivant : la variation du flux électrique produit un champ magnétique dont les lignes de force embrassant les lignes de force du champ électrique et la variation de ce flux magnétique provoque l'apparition d'un champ électrique. Les deux flux électrique et magnétique sont perpendiculaires l'un à l'autre, et perpendiculaires à la direction de propagation de l'onde.

Une onde électromagnétique apparaît comme un véritable tissu de lignes de force électriques et magnétiques.

Propriétés des ondes. — Hertz a étudié la propagation des ondes dans l'air et a trouvé qu'elles obéissent aux principales lois de l'optique.

Réflexion. — On sait que les ondes sonores sont réfléchies par les corps solides. (Phénomène de l'écho)

Les rides qu'on peut introduire à la surface de l'eau contenue dans un bassin en y laissant tomber une pierre sont réfléchies sur

les parois.

Les ondes lumineuses sont réfléchies par les surfaces bien polies.

Hertz a trouvé que les ondes électriques sont réfléchies par les corps bons conducteurs de l'électricité. Il constitua des miroirs avec des surfaces métalliques dont les dimensions étaient grandes par rapport à la longueur des ondes à réfléchir et put répéter les expériences de l'optique.

Réfraction. — Lorsqu'une onde traverse obliquement la surface de séparation de deux milieux, sa direction change.

On sait que des rayons lumineux sortant obliquement de l'eau sont déviés ce qui fait paraître les objets situés sous l'eau plus hauts qu'ils ne le sont réellement.

Le mirage est dû à des réfractions successives des rayons lumineux qui traversent des couches d'air dont la densité varie d'une façon continue.

Les positions apparentes des astres qui ne sont pas exactement situés au zénith diffèrent des positions vraies par suite des déviations subies par les rayons lumineux émis par ces astres lorsqu'ils pénètrent obliquement dans des couches successives de l'atmosphère terrestre.

Les ondes électriques se réfractent lorsqu'elles passent d'un milieu diélectrique dans un autre de nature différente. Hertz a constitué des prismes de grandes dimensions en résine ou en asphalte avec lesquels il constata la déviation des ondes électriques.

Diffraction. — Lorsque des ondes sont partiellement arrêtées par un obstacle leurs effets se manifestent néanmoins dans certaines parties de la "zone d'ombre" déterminée par cet obstacle. Nous appellerons "zone d'ombre" la portion de l'espace comprise à l'intérieur d'un cône qui a pour sommet la source de radiations et dont les génératrices s'appuient sur les bords de l'obstacle. Le terme "ombre" étant ainsi appliqué non seulement aux ondes lumineuses mais aux radiations de toutes espèces.

Si un morceau de bois flotte à la surface d'un bassin et que l'on produise des rides en y laissant tomber une pierre, on voit que ces rides sont arrêtées par le morceau de bois, mais qu'elles se reforment petit à petit dans une partie de la zone d'ombre.

Les vagues qui pénètrent dans un port ne continuent pas leur chemin comme des rangs de soldats qui passent par la grille d'une caserne, mais elles s'étalent tout en diminuant de hauteur et arrivent à une certaine distance à former de petites vagues sur une grande partie de l'étendue du bassin.

En optique les phénomènes de diffraction sont bien connus

également.

Les ondes électriques, grâce à la diffraction ne sont pas arrêtées par les montagnes ou autres obstacles : elles les contournent d'autant plus facilement que la longueur d'onde est plus grande.

Interférence. — Lorsqu'une particule d'un milieu se trouve soumise à l'action simultanée de deux ondes, elle prend un mouvement vibratoire qui est la somme des deux mouvements que lui communiqueraient séparément ces deux ondes si elles agissaient seules.

Les phénomènes auxquels donne lieu la combinaison de deux ondes agissant simultanément s'appellent phénomènes d'interférence.

Les ondes se superposent donc sans se déformer. C'est ainsi que des ondes sonores se superposent sans s'altérer lorsqu'on tient une conversation au milieu du bruit par exemple. De même des transmissions radiotélégraphiques simultanées ne se déforment pas les unes les autres.

Ondes sur les fils. — L'onde électromagnétique consiste en la propagation d'une force électrique capable de produire un mouvement de l'électricité dans un conducteur mais ne correspond pas elle-même à un mouvement d'électricité. On peut comme l'a fait Maxwell considérer les courants de déplacement comme un espèce de courant électrique mais en fait ils ne correspondent pas à un déplacement véritable d'électricité.

Les ondes libres sont des ondes qui se propagent dans un milieu isolant, il faut les distinguer des ondes qui se propagent le long des fils. Les conducteurs guident les ondes qui alors au lieu de se propager en ligne droite peuvent suivre un chemin aussi compliqué qu'on le veut.

Mais les ondes se propagent aussi à l'intérieur du conducteur comme à l'extérieur mais beaucoup plus lentement ; en y pénétrant elles engendrent des courants de conduction qui dissipent de l'énergie. La profondeur de pénétration est d'autant plus petite que le corps est meilleur conducteur. Cette pénétration des courants ressemble à une sorte de diffusion lente du courant à l'intérieur du conducteur.

Le fait important est que aussi bien pour les ondes libres que pour les ondes guidées l'énergie est toujours localisée dans le diélectrique et non dans le conducteur ; celui-ci n'ayant qu'un effet directeur. Les échanges d'énergie ont toujours lieu de proche en proche dans le diélectrique qui conserve le rôle d'agent de transmission d'énergie. Les conducteurs ne servent qu'à guider le phénomène et ont même un effet nuisible puisque les courants produits à leur intérieur dissipent de l'énergie sous forme de chaleur.

Ecole Supérieure des Postes et Télégraphes.

Cours de T.S.F.
à l'usage du Personnel.

8^{ème} Leçon.

Circuits rayonnants et absorbants.

Sommaire.

Circuits ouverts et circuits fermés.
Oscillateurs avec et sans terre.

Antenne de transmission. — Différentes formes d'antennes
de transmission.

Longueur d'onde.

Circuits absorbants. — Mode d'action.

Modes de vibration d'une antenne. — Période propre.

Différents modes d'excitation d'une antenne. —
Excitation directe et indirecte.

Excitation directe.

Excitation par dérivation.

Excitation par induction.

Propriétés directives des antennes.

Antenne coudée de Marconi.

Radiogoniomètre de Marconi - Cesi - Bellini.

De même que les différents corps rayonnent ou absorbent plus ou moins facilement les radiations calorifiques et lumineuses, les circuits oscillants rayonnent et absorbent plus ou moins bien les radiations électriques.

Les circuits rayonnants et absorbants peuvent se diviser en deux catégories les circuits ouverts et les circuits fermés.

L'oscillateur de Hertz fig. 1 (a) est un radiateur ouvert, tandis que le circuit représenté par la fig. 1 (b) qui est constitué par les mêmes éléments disposés différemment est un radiateur fermé.

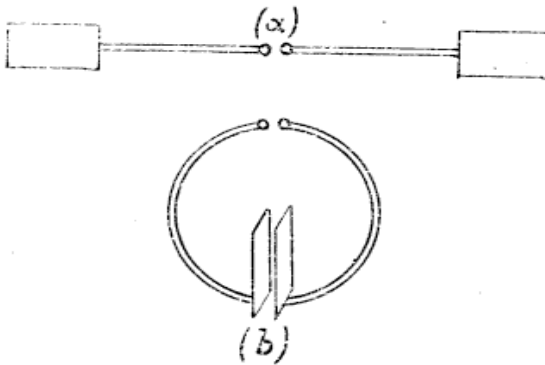


Fig. 1

D'une façon générale, on peut dire que les circuits ouverts sont de bons radiateurs et de bons récepteurs d'ondes; tandis que les circuits fermés sont de mauvais radiateurs et de mauvais absorbants pour les ondes électriques.

Les extrémités libres d'un radiateur ouvert reçoivent périodiquement des charges qui créent dans l'espace environnant un champ électrique; c'est pour cette raison qu'on appelle quelquefois les circuits ouverts : oscillateurs électriques. Les charges sont, soit accumulées dans des capacités terminales comme dans l'oscillateur de Hertz, soit simplement dans la capacité que présente le fil constituant l'oscillateur.

Les circuits rayonnants fermés comprennent généralement un condensateur ordinaire qui accumule les charges électriques. Mais deux charges de signes contraires très voisines situées sur deux éléments d'armatures en regard ne produisent pas de force électrique à distance, de sorte que pour ces oscillateurs, c'est surtout le champ magnétique créé par le courant qui parcourt le circuit qui produit une action; aussi les appelle-t-on oscillateurs magnétiques.

Oscillateurs avec et sans terre. — On peut constituer des oscillateurs comme l'a fait Hertz, par deux conducteurs complètement indépendants de la terre. Dans ce cas, lorsque des oscillations prennent naissance dans le système, des lignes de force du champ magnétique entourent les conducteurs et les lignes du champ électrique partent d'un conducteur et vont se terminer sur l'autre; un tel oscillateur peut être appelé oscillateur sans terre, puisque la présence de la terre n'influe pas sur la distribution des champs électriques et magnétiques. Un long fil tendu horizontalement ou verticalement, suffisamment loin du

sol et coupé et son milieu par un éclateur constitue un oscillateur sans terre qui se comporte comme l'oscillateur de Hertz.

Supposons maintenant qu'on enterre une des deux moitiés de l'oscillateur jusqu'à ce que l'éclateur arrive au voisinage du sol; on obtient ainsi un oscillateur avec terre.

Quelquefois, la seconde électrode au lieu d'être mise directement à la terre est réunie à un conducteur ou un fil placé au voisinage du sol mais isolé de lui. Ce conducteur doit présenter une forte capacité par rapport à la terre, on l'appelle contrepoids. Tout se passe dans ce cas, comme si une grande capacité était intercalée entre l'éclateur et la terre. Or une capacité se laisse traverser très facilement par les courants de haute fréquence dès qu'elle est grande et que les oscillations sont rapides, elle offre une résistance pratiquement nulle au passage du courant et peut être remplacée par une liaison métallique directe à la terre.

Par conséquent, au point de vue électrique, une antenne établie avec un contrepoids de dimensions suffisantes doit être considérée comme une antenne avec terre quoiqu'elle n'y soit réunie par aucune connexion matérielle.

La façon d'établir une terre destinée à une station radiotélégraphique sera décrite lors de l'étude des stations.

Antennes de transmission. - La pratique a montré que les radiateurs sans terre ne peuvent être utilisés que pour les communications à faible distance; les radiateurs mis à la terre donnent un bien meilleur résultat pour les communications à grande distance.

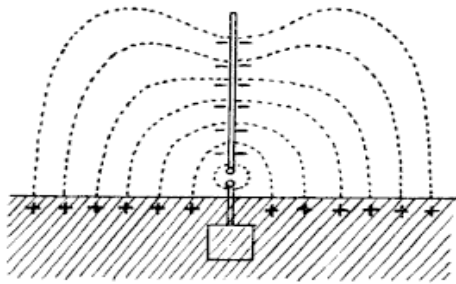


Fig. 2

L'oscillateur ouvert le plus simple consiste en un fil vertical isolé à son extrémité supérieure et réuni à sa partie inférieure à une plaque métallique enfoncée dans le sol; on l'appelle ordinairement antenne.

C'est Marconi qui le premier a donné cette forme au circuit rayonnant. Pour exciter son antenne il avait monté entre la terre et le pied de l'antenne, un éclateur dont les électrodes étaient réunies aux bornes du secondaire d'une bobine d'induction. Lorsque cette bobine fonctionne l'antenne est surchargée à intervalles réguliers. Les lignes de force du champ électrique sont

distribuées à la fin de la charge comme l'indique la figure 2 (en supposant que l'antenne ait reçu une charge négative). Lorsque la différence de potentiel entre les électrodes de l'éclateur atteint la valeur du potentiel explosif correspondant à la distance de ces électrodes, une étincelle jaillit et la charge de l'antenne s'écoule dans le sol ce qui produit un courant de conduction dans le fil; l'intensité de courant est variable selon le point considéré. Un champ magnétique dont les lignes sont circulaires et situées dans des plans perpendiculaires au fil apparaît donc (fig. 3). Mais, en vertu de l'inertie

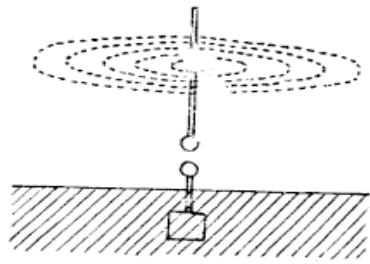


Fig. 3

électrique, le courant ne cesse pas lorsque la décharge est complète, il persiste et recharge la capacité du fil en sens inverse. Un nouveau champ électrique dont les lignes sont disposées comme celles du champ primitif mais dirigées en sens contraire remplace le champ magnétique. Une nouvelle décharge mais de sens inverse, se produit alors; un champ magnétique dont les lignes sont inverses des précédentes est produit et ainsi de suite. Les oscillations durent tant que l'énergie correspondant à la charge initiale n'est pas complètement dissipée.

Si on analyse le phénomène en détail, on trouve qu'au moment de la décharge les extrémités des lignes de force du champ électrique qui partaient de l'antenne pour aller se terminer sur le sol glissent le long du fil et viennent gagner la terre. Elles prennent la forme de demi-boucles

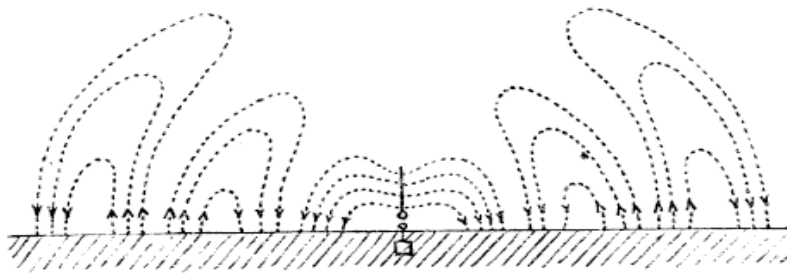


Fig. 4

dont les extrémités sont sur la terre; ces demi-boucles s'éloignent dans toutes les directions. La figure 4 correspond au cas où après une oscillation complète l'antenne est rechargée

dans le sens primitif.

Au voisinage de la terre le champ électrique est perpendiculaire,

à la surface du sol et le champ magnétique lui est parallèle. En un point déterminé de la surface du sol, le champ électrique est dirigé successivement de haut en bas et de bas en haut. A un instant donné la force électrique est dirigée alternativement vers le haut ou vers le bas dans des couronnes circulaires. A chaque nouvelle oscillation ces couronnes avancent, d'une longueur d'onde. La plus courte distance qui sépare deux circonférences pour lesquelles la force électrique est maxima et de même sens est égale à une longueur d'onde.

Différentes formes d'antennes de transmissions. — Avec une antenne verticale simple de Marconi, l'énergie d'un train d'oscillations est égale aux pertes près à l'énergie que possède l'antenne avant chaque décharge ; elle dépend de la capacité de l'antenne et du potentiel auquel on charge cette antenne et est donnée par la formule

$$W = \frac{1}{2} CV^2$$

qui représente l'énergie emmagasinée dans un condensateur. Le voltage auquel on charge l'antenne étant donné, il faut augmenter sa capacité pour augmenter l'énergie d'un train d'oscillation, et comme une antenne unifilaire ne peut jamais avoir une grande capacité à moins d'être très longue, on a été conduit à construire des antennes multifilaires.

L'augmentation du nombre des fils, produit en outre de l'accroissement de la capacité, les effets suivants :

1° Une diminution de la résistance et par suite de l'amortissement des oscillations.

2° Une diminution de la self-induction.

3° Une augmentation de la longueur d'onde propre de l'antenne. Nous verrons en effet dans la suite que la période des oscillations propres d'une antenne s'obtient comme celle d'un circuit oscillant ordinaire par la formule de Thomson :

$$T = 2\pi \sqrt{LC}.$$

Par conséquent si l'influence de l'augmentation de la capacité l'emporte sur celle de la diminution de la self, il y a augmentation de la période des oscillations libres de l'antenne.

La figure 5 représente les types d'antennes employés le plus fréquemment :

Antenne simple. *Antenne prismatique.* *Antenne en rideau.*
Antenne multiple coudée. *Antenne multiple en T.* *Antenne en plan horizontal.*
Antenne parapluie. *Antenne en pyramide renversée.* *Antenne en double cône.*

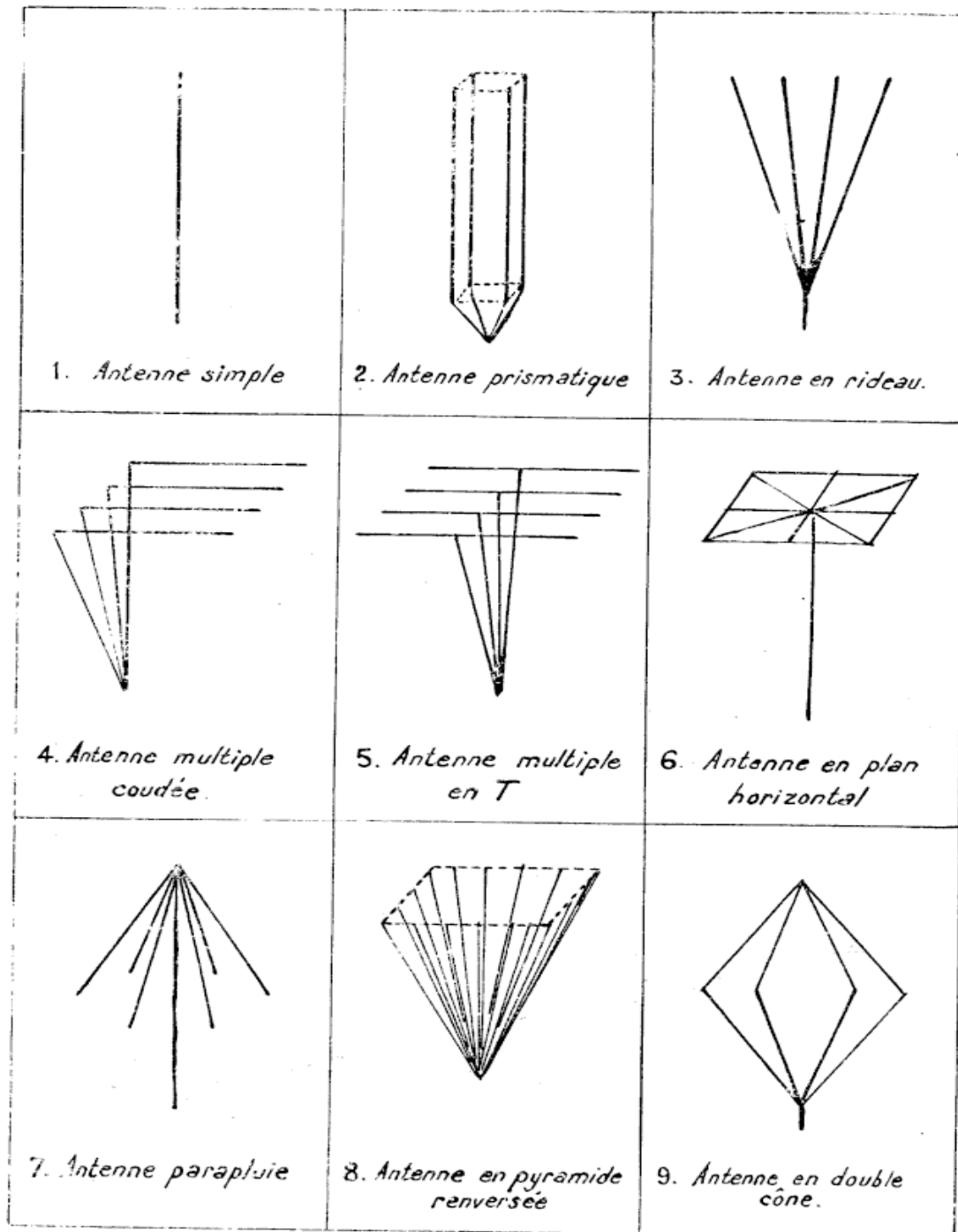


Fig.5

Les antennes parapluie et en double cône n'exigent qu'un seul support.

L'antenne coudée et l'antenne en T sont particulièrement employées à bord les navires ayant 2 mâts. Les antennes possèdent des propriétés directives importantes comme nous le verrons plus loin.

L'antenne en rideau doit être supportée par deux pylones entre lesquels on tend un câble porteur.

Les fils des antennes multifilaires ne doivent pas être trop rapprochés car à partir d'une certaine distance, la capacité n'augmente plus malgré l'augmentation du nombre des fils.

Les circuits fermés sont rarement employés pour la transmission à cause de leur faible pouvoir rayonnant. Ils peuvent être constitués par des circuits situés dans des plans horizontaux ou verticaux comprenant plus ou moins de spires montées en série ou en parallèle. On utilise quelquefois les propriétés directives des circuits fermés situés dans des plans verticaux. Ces circuits ont un rayonnement maximum dans l'esplan et un rayonnement à peu près nul dans une direction perpendiculaire à ce plan.

On construit ordinairement les antennes en fils de cuivre ou d'aluminium. Il faut éviter l'emploi de métaux magnétiques tels que le fer ou l'acier.

Circuits absorbants. — Lorsque des ondes hertziennes se déplaçant dans l'espace rencontrent un circuit oscillant convenable leur énergie est absorbée par ce circuit dans lequel il naît des oscillations électriques.

De même que les corps qui sont de bons radiateurs thermiques et lumineux, sont en général de bons absorbants, les circuits qui sont de bons radiateurs constituent de bons absorbants pour les ondes.

Les corps noirs émettent facilement la chaleur et l'absorbent facilement. Les circuits oscillants ouverts qui sont de bons émetteurs constituent de bonnes antennes de réception. On sait de plus qu'un corps absorbe le plus facilement les radiations calorifiques et lumineuses qu'il émettrait si on le chauffait. Il existe une loi analogue dans le cas des radiations électriques, elle peut s'énoncer ainsi :

Un circuit oscillant absorbe les radiations électromagnétiques et il absorbe plus facilement celles qui sont de même

nature (longueur d'onde amortissement) que celles qu'il émettrait s'il était excité. Il absorbe également mieux les ondes qui viennent de la direction dans laquelle son émission serait la plus intense.

Une bonne antenne de transmission est généralement une bonne antenne de réception pour les ondes de même nature que celles qu'elle émet. Dans une station on peut donc le cas échéant se servir, sans inconvénient de la même antenne successivement pour la transmission et la réception.

Nous allons maintenant indiquer le mode d'action d'une onde qui se déplace sur une antenne de réception. Considérons d'abord, pour plus de simplicité une antenne unifi-laire verticale. La force électrique qui est perpendiculaire au sol est dirigée selon le fil; elle engendre donc une force électromotrice dans ce fil; cette force électromotrice est alternative puisque lorsque l'onde se déplace la force électrique est alternativement dirigée de haut en bas et de bas en haut.

Le champ magnétique est parallèle au sol et perpen-diculaire à la direction de propagation de l'onde; il est donc perpendiculaire à l'antenne. Lorsque l'onde progresse, le champ magnétique se déplace et le fil coupe un certain flux magnétique et est par suite le siège d'une force électromo-trice. On voit facilement que cette force électromotrice est alternative comme la précédente, est dirigée dans le même sens et a la même fréquence, puisque les renversements de sens du champ magnétique se font avec la même fré-quence que ceux du champ électrique. L'antenne est donc placée dans les mêmes conditions qu'un fil de l'enroulement d'un alternateur devant lequel se déplacent les pôles de l'inducteur; c'est pour cette raison qu'on dit quelquefois que l'effet de la composante magnétique de l'onde est un effet dynamo. L'antenne simple verticale utilise donc, au mieux les deux composantes des ondes ra-yonnées par une antenne verticale. Un fil qui serait ten-du parallèlement au sol n'absorberait aucune des deux composantes et par suite ne permettrait pas de déceler les ondes.

Dans le cas où le circuit absorbant est fermé et situé dans un plan vertical par exemple, en plus des effets précé-dents, produits par les composantes de l'onde sur les côtés verticaux, le passage de cette onde engendre une force électromotrice dans le circuit par suite de la variation du flux

magnétique embrassé par ce circuit; ce flux est en effet alternatif. On appelle cette action de l'onde sur un circuit fermé effet transformateur.

Pratiquement on peut recevoir en utilisant, comme circuit absorbant, des cadres de quelques mètres de côté et présentant quelques dizaines de spires. L'absorption d'un tel cadre est maximum pour des ondes venant d'une direction située dans le plan du cadre et rigoureusement nulle pour des ondes venant d'une direction perpendiculaire au plan du cadre.

Modes de vibration d'une antenne. — Une antenne est un circuit oscillant, dont la capacité et la self-induction au lieu d'être rassemblées comme dans les circuits que nous avons précédemment rencontrés, sont réparties le long des fils qui constituent cette antenne.

L'antenne a donc une période propre d'oscillations dont la valeur est donnée par la formule de Thomson :

$$T = 2\pi \sqrt{L_A C_A}.$$

Dans cette formule L_A et C_A représentent la self et la capacité apparentes de l'antenne; nous reviendrons plus bas sur la signification de ces quantités.

Lorsqu'on excite une antenne au moyen d'oscillations d'une autre période que la sienne, elle est le siège d'oscillations forcées. Nous avons dit à propos de la résonance que les oscillations forcées d'un circuit oscillant ne peuvent prendre des amplitudes notables que si la période propre de ce circuit est égale à celle de la force agissante. On exprime ce résultat en disant que l'antenne doit être accordée pour les ondes qu'elle doit émettre ou recevoir.

Pour accorder une antenne il faut avoir le moyen de lui donner une période propre déterminée. Pour cela on ajoute en série dans le pied de l'antenne une self ou une capacité réglable. Une self augmente la self de l'antenne sans changer la capacité; la période propre du système ainsi constitué augmente donc puisque cette période est donnée par la formule de Thomson. Une capacité montée à la base de l'antenne diminue la capacité apparente de l'antenne puisque cette capacité peut être considérée comme montée en série avec celle de l'antenne; la période propre est donc diminuée.

Les longueurs d'onde sont reliées aux périodes d'oscillations

par la formule déjà indiquée :

$$\lambda = VT.$$

Lorsqu'on dispose d'une antenne donnée, on peut donc augmenter sa longueur d'onde propre en montant une self en série dans le pied de cette antenne et diminuer sa longueur d'onde en montant une capacité en série dans le pied de cette antenne.

La longueur d'onde propre d'une antenne dépend de ses dimensions et augmente avec elles.

A cause des difficultés de construction et du prix de revient, les stations qui travaillent avec de grandes longueurs d'onde ne sont pas toujours pourvues d'antenne ayant une longueur d'onde propre suffisante. On doit leur adjoindre des selfs quelquefois importantes. Une antenne dont la longueur d'onde a été ainsi augmentée émet un plus faible rayonnement qu'une antenne excitée de la même façon mais qui aurait la longueur d'onde voulue.

Lorsqu'on utilise une petite antenne pour la réception, on doit également lui ajouter une self d'antenne réglable qui permette de l'accorder pour les grandes longueurs d'ondes.

Lorsque des ondes se propagent sur un fil dont l'extrémité est libre, elles se réfléchissent à cette extrémité et reviennent en arrière. Des phénomènes d'interférence se produisent entre les ondes incidentes et les ondes réfléchies. L'expérience et le calcul montrent qu'il se produit alors une onde stationnaire qui présente des nœuds et des ventres. Ce phénomène est absolument analogue à celui que présentent en acoustique les vibrations de l'air dans un tuyau sonore fermé à une extrémité. Le potentiel est analogue à la pression de l'air et le courant électrique est analogue à la pression de l'air. Aux ventres de pression, c'est-à-dire aux points où la pression est maxima, la vitesse de l'air est nulle c'est-à-dire qu'on a un nœud de vitesse. Inversement aux points où la vitesse de l'air est maxima, la pression est nulle.

Lorsqu'une onde électrique se propage sur un fil ouvert, les ventres de potentiel se trouvent aux points où il existe des nœuds du courant et les nœuds de potentiel se trouvent aux points où il existe des vents de courant.

Mais le courant est forcément nul à l'extrémité isolée du fil, et le potentiel nul au point où l'antenne

est reliée au sol. On peut donc en conclure que dans une antenne mise à la terre on a un nœud de potentiel et un ventre de courant à la base, et un ventre de potentiel et un nœud de courant à l'extrémité libre.

Dans le cas où l'antenne émet l'onde de longueur fondamentale les distributions du courant et du potentiel sont

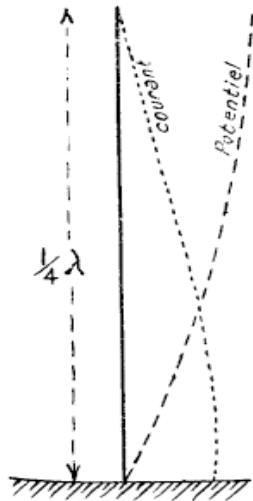


Fig. 6

qui représente la fig. 6, dans laquelle on a porté perpendiculairement à l'antenne des longueurs proportionnelles à l'intensité et au potentiel. On voit que le potentiel augmente régulièrement depuis la base de l'antenne jusqu'au sommet, tandis que le courant décroît régulièrement. C'est toujours ainsi que vibre une antenne lorsqu'elle exécute des oscillations libres.

Dans ces conditions, on conçoit que les capacités de deux éléments identiques placés en des points différents de l'antenne produisent des effets différents puisque pendant les vibrations ces points sont portés à des potentiels alternatifs dont les maxima sont différents; d'autre part ces éléments n'étant pas traversés par des courants égaux leur self-induction ne joue pas non plus le même rôle. C'est pour ces raisons que la capacité et la self-induction à introduire dans la formule de Thomson, pour trouver la période propre de l'antenne, ne sont pas la capacité et la self totales de l'antenne, mais la capacité et la self apparentes pour l'antenne qui oscille.

On sait qu'en acoustique, on peut faire émettre à une corde ou à un tuyau sonore des notes ayant des fréquences qui soient des multiples de la fréquence fondamentale.

On peut également produire des phénomènes analogues dans le cas de la vibration des circuits électriques, et leur faire émettre des ondes dont les longueurs soit des sous-multiples de la longueur fondamentale.

Il se produit dans tous les cas un ventre de potentiel et un nœud d'intensité à l'extrémité; et un ventre de courant et un nœud de potentiel à la base.

La figure 7 représente une antenne donnant

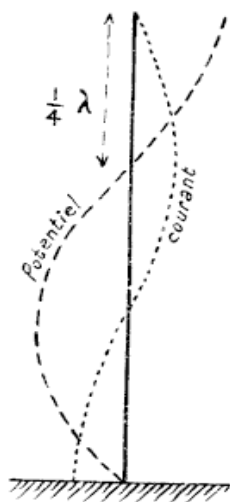


Fig.7

l'harmonique 3: La longueur d'onde fondamentale d'une antenne simple est théoriquement égale à 4 fois la longueur du fil. Pratiquement, la proximité du sol fait que cette longueur est environ 5 fois la longueur de l'antenne. Si on désigne par λ la longueur fondamentale on a donc théoriquement;

$$\lambda = 4 l$$

Dans ce cas, on dit que l'antenne vibre un quart d'onde.

Si on fait vibrer l'antenne comme l'indique la figure 7, la longueur des ondes qu'elle émet est :

$$\lambda = \frac{4}{3} l.$$

Différents modes d'excitation d'une antenne.

On peut exciter une antenne de différente façon.

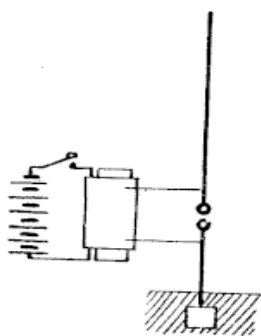


Fig.8

Excitation directe

La méthode la plus simple consiste à intercaler un éclateur à la base de l'antenne dont une des électrodes est mise à la terre (fig.8). On charge l'antenne au moyen d'une bobine d'induction dont les bornes du secondaire sont reliées aux deux électrodes de l'éclateur. Cette antenne se décharge en donnant des oscillations amorties. C'est le procédé qu'employa Marconi au début, il est connu sous le nom d'excitation directe. Dans ce cas l'antenne vibre avec sa période propre.

L'énergie mise en jeu par chaque décharge est faible parce qu'elle dépend de la capacité qui elle-même est toujours faible. D'autre part, le rayonnement des antennes verticales simples est très bon par conséquent les oscillations, et par suite les ondes ainsi émises sont très amorties.

Pour augmenter l'énergie mise en jeu, on produit la décharge dans un circuit oscillant à faible rayonnement, que l'on accouple avec une antenne à fort rayonnement. On a ainsi l'excitation indirecte.

L'accouplement (voir la 2^e leçon) se fait au moyen d'un transformateur d'oscillations. Si c'est un auto-transformateur,

on a l'excitation par dérivation ou montage Oudin (fig. 9).

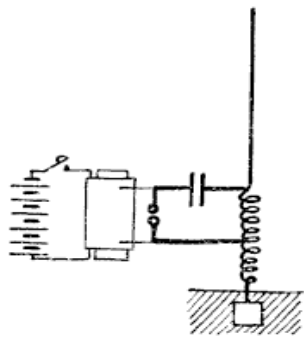


Fig. 9

Excitation par dérivation

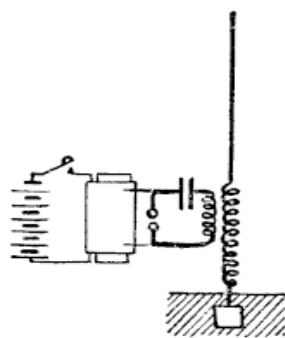


Fig. 10

Excitation par induction

Si on a un transformateur ordinaire, on a l'excitation par induction ou montage Tesla (fig. 1c).

Le circuit d'énergie ou circuit oscillant doit être accordé avec l'antenne, si non, l'énergie cédée à l'antenne resterait très faible.

D'autre part nous savons que lorsque deux circuits accordés sont ainsi accouplés ils sont parcourus par des oscillations complexes décomposables en la somme de deux oscillations, dont les fréquences sont l'une plus petite, l'autre plus grande que la période propre commune aux deux circuits.

Une antenne accouplée à un circuit d'énergie sera donc le siège d'oscillations complexes et rayonnera des ondes décomposables en la somme de deux ondes amorties de longueurs différentes; l'une de ces longueurs sera supérieure à la longueur d'onde propre de l'antenne, l'autre inférieure.

Les deux longueurs d'ondes diffèrent d'autant plus que l'accouplement est plus serré.

Si on prend un accouplement serré l'énergie mise dans l'antenne est grande, mais les longueurs des deux ondes rayonnées diffèrent beaucoup, comme en général le poste récepteur s'accorde sur l'une d'elles, de préférence, la moins amortie il ne profite pas de l'autre.

Avec un accouplement lâche, on met moins d'énergie dans l'antenne, mais les deux ondes ont des longueurs très voisines et sont utilisables à la réception. Cette façon de faire est naturellement préférable.

Dans le cas de l'excitation indirecte : par dérivation ou par induction, les ondes rayonnées sont moins amorties parce que l'énergie disponible au début est plus grande.

On pourrait comparer une antenne simple excitée directement à un tube dont la surface a un fort pouvoir

émissif que l'on remplit d'eau chaude; il rayonne de la chaleur mais pendant peu de temps car la faible masse d'eau qu'il contient est vite refroidie. Le même tube relié à un réservoir à faible pouvoir rayonnant, mais contenant une masse assez grande d'eau qui peut circuler dans le tube, rayonnera de la chaleur jusqu'à ce que toute la masse de liquide soit refroidie, c'est-à-dire pendant longtemps.

On a dans le premier cas l'image de l'excitation directe, dans le second l'image de l'excitation indirecte.

Propriétés directives des antennes. — On peut facilement concentrer des rayons lumineux ou calorifiques en un faisceau au moyen de miroirs ou de lentilles. Hertz a pu opérer de même avec des longueurs d'ondes de quelques mètres. Marconi a répété ces expériences et a pu réunir en un faisceau des radiations de faible longueur d'ondes et opérer ainsi pour des distances allant jusqu'à environ 4 kilomètres.

Il faut employer des miroirs ou des lentilles dont les dimensions soient grandes par rapport à la longueur des ondes; le procédé n'est donc plus pratique, avec les ondes de plusieurs centaines de mètres et même de plusieurs kilomètres que l'on utilise aujourd'hui.

On n'a pas pu non plus généraliser l'emploi des circuits rayonnants fermés puisque ces circuits sont de mauvais radiateurs d'ondes et ne peuvent par suite être utilisés dans les stations à grande portée.

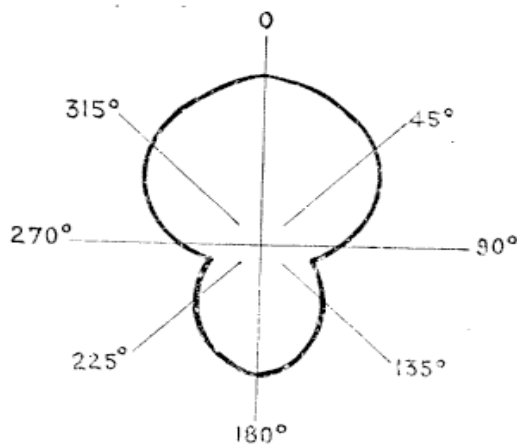


Fig. 11.

La première solution pratique de la transmission dirigée fut donnée par Marconi qui étudia les propriétés des antennes coudées. Ces antennes rayonnent au maximum dans la direction opposée à leur extrémité libre et au minimum dans une direction perpendiculaire à la direction de l'antenne.

La figure 11 représente l'intensité du rayonnement d'une antenne coudée dans les diverses directions. L'extrémité libre de l'antenne est dirigée dans

la direction 180° .

Plus tard Marconi remarqua que l'on améliore encore ces antennes au point de vue de leurs propriétés directives, en inclinant vers le sol leur extrémité libre au lieu de la laisser horizontale.

Puisqu'une antenne reçoit le plus facilement les ondes venant de la direction dans laquelle elle les émet, les antennes coudées devront être orientées de façon que leur extrémité libre soit dirigée dans le sens opposé de la direction du poste à recevoir, ou comme on dit, quelquefois, qu'elle "tourne le dos" à ce poste.

Les cadres ne reçoivent que les ondes émises par des postes situés dans leur plan. Ceux qui sont situés dans une direction perpendiculaire ne sont pas entendus. On pourrait donc, avec le cadre orientable trouver la direction d'où viennent les ondes. Mais l'orientation d'un cadre de grande dimension se heurte à des difficultés de réalisation matérielle.

Cosi et Bellini ont tourné cette difficulté en employant des circuits de réception fixe. Les dispositifs de ce genre qui servent à déterminer la direction des postes transmetteurs s'appellent des radiogoniomètres.

Dans le radiogoniomètre de Marconi - Cosi - Bellini, deux antennes fermées en triangle ou en losange sont montées dans deux plans perpendiculaires (figure 12).

Les oscillations produites par les ondes dans ces deux antennes traversent deux cadres

rectangulaires (figure 13) à l'intérieur desquels peut se mouvoir un autre cadre relié aux appareils de réception. Les deux antennes peuvent être accordées à l'aide de deux condensateurs réglables. L'intensité de la réception de chacune d'elles dépend de l'inclinaison de la direction du poste à recevoir sur les

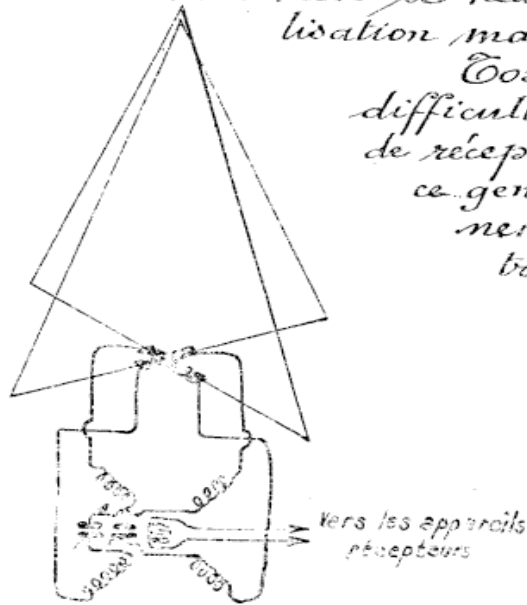


Fig. 12

Radiogoniomètre Marconi-Cosi-Bellini

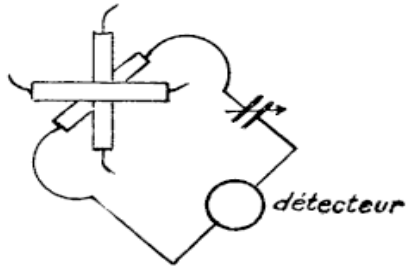


Fig.13.

plans des antennes.

Les champs magnétiques produits par les deux bobines se composent comme des forces pour donner un champ résultant. Lorsque la bobine mobile est placée perpendiculairement aux lignes de force de ce champ, la réception a son intensité maxima ; lorsqu'elle est dirigée selon ces lignes ; elle n'est

plus influencée.

La position du minimum est généralement plus facile à observer que le maximum.

Ecole Supérieure des Postes et Télégraphes.

Cours de T. S. F.
à l'usage du Personnel.

9^{ème} Leçon.

Les Détecteurs d'Oscillations.

Sommaire.

Définition

Classification $\left\{ \begin{array}{l} \text{Détecteurs quantitatifs} \\ \text{Détecteurs qualitatifs} \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} \text{Détecteurs d'amplitude} \\ \text{Détecteurs d'énergie.} \end{array} \right.$

Theraps - détecteurs.

Détecteurs électrodynamiques.

Cohérents

Description.

Mode de fonctionnement.

Montage!

Détecteurs magnétiques.

Exercices Magnétiques.
Description du détecteur magnétique de Marconi.
Mode de fonctionnement.

Mode de fonctionnement.

Détecteurs électrolytiques.

Principe.

Mode d'action.

Montage. — Emploi du potentiomètre.

Détecteurs redresseurs.

Considération de la caractéristique.

Cas d'une force électromotrice auxiliaire.

Mode de fonctionnement.

Énumération de différents contacts employés par la réception.

Nous ne disposons d'aucun sens ni d'aucun instrument capable de mettre en évidence les ondes électromagnétiques.

Nous sommes réduits à faire produire par les ondes, des oscillations dans des circuits oscillants qui absorbent l'énergie de ces ondes.

Les oscillations ainsi produites, sont détectées à l'aide d'appareils spéciaux appelés "détecteurs". Ces appareils doivent fonctionner sous l'action d'oscillations de faible énergie.

Le nombre des détecteurs actuellement connus est considérable, aussi nous ne citerons que ceux qui sont les plus employés.

Une première classification serait la suivante:

I - Détecteurs permettant une évaluation quantitative de l'intensité ou de la tension des oscillations.

II - Détecteurs permettant de décoder, mais qualitativement seulement les oscillations. Ils sont plus sensibles que les précédents et ce sont ceux que l'on emploie effectivement pour la réception des transmissions à grandes distances.

Une autre classification fait intervenir le mode d'action des oscillations sur le détecteur. Et ce point de vue on peut distinguer deux sortes de détecteurs: les détecteurs d'amplitude et les détecteurs d'énergie.

1° Détecteurs d'amplitude. — Les oscillations ont pour effet de provoquer la mise en action de l'énergie d'une source locale. C'est l'énergie de cette source qui est utilisée dans les appareils indicateurs. Il faut que les oscillations atteignent une certaine amplitude pour produire ce déclenchement; mais dès que cette amplitude est atteinte, le système fonctionne et toutes les oscillations qui suivent ne servent plus à rien. Dans un train d'oscillations amorties, si l'amplitude de la première alternance est suffisante, le détecteur met en action la source locale, et l'énergie de tout le reste du train d'oscillations est inutilisée.

Ces détecteurs agissent comme des relais très sensibles en état d'équilibre instable; de tels relais sont déplacés pour une certaine valeur de l'intensité indépendamment de la durée de l'action à condition toutefois que cette durée soit suffisante.

Parmi les détecteurs d'amplitude, les uns sont sensibles à la différence de potentiel; les autres à l'intensité.

Ces détecteurs n'utilisant pas les trains d'oscillations entiers, mais simplement l'amplitude des premières alternances, ne permettent pas de différencier les réceptions les unes des autres, non plus que les réceptions des "parasités" dus aux décharges atmosphériques. Ils sont favorables aux émissions très amorties puisqu'ils n'utilisent que le premier maximum.

2° Détecteurs d'énergie. — L'énergie qui est utilisée dans les appareils indicateurs est celle des oscillations elles-mêmes. C'est la valeur intégrale de l'énergie reçue dans l'antenne qui est dépensée dans les appareils indicateurs. Ce sont les plus employés parce qu'ils permettent de différencier les diverses émissions.

Thermo Détecteurs. — Les détecteurs permettant une évaluation quantitative de l'intensité ou de la tension des oscillations sont presque tous des thermo-détecteurs. Ce sont, suivant le cas, des ampèremètres ou des voltmètres très sensibles pour courants alternatifs de très haute fréquence. Les premiers ont une faible résistance et les seconds, une forte résistance.

La réalisation de tels appareils présente de grandes difficultés en raison de la petitesse des courants ou tensions à mesurer et de la grandeur de la fréquence.

L'étude de ces appareils sera faite à propos des mesures.

Détecteurs électrodynamiques. — Ils utilisent l'action mécanique qui s'exerce entre deux circuits voisins parcourus par des courants électriques. Certains comportent effectivement deux enroulements; dans d'autres on se sert de l'action produite par un enroulement fixe sur les courants de Foucault induits par cet enroulement dans une masse métallique mobile appropriée. Ils peuvent dans certains cas être employés comme appareils de mesures.

Tous les détecteurs de cette catégorie sont très peu sensibles.

Cohéreurs.

Lorsqu'on intercale dans un circuit contenant une pile deux corps conducteurs mis en contact, on constate que ce contact présente une résistance variable avec la position et la pression des conducteurs. Cela revient à dire que le contact est en général imparfait et présente une résistance qui n'est pas nulle.

La résistance de certains contacts imparfaits varie brusquement sous l'action d'oscillations électriques. Dans la plupart des cas cette variation de résistance persiste après que les oscillations ont cessé dans d'autres moins fréquents, elle disparaît en même temps que les oscillations.

La variation de résistance est en réalité une déviation.

Les contacts jouissant des propriétés précédentes sont appelés cohéreurs. Ce sont le plus souvent des contacts multiples entre des lamelles métalliques.

Les propriétés des tubes à lamelles ont été étudiées par

M. Branly dans des conditions variées. Les diverses expériences faites ont montré que la sensibilité du cohéreur est fonction de la nature des conducteurs ; de l'état des surfaces conductrices entre lesquelles les limailles sont placées et de la pression.

Il existe en général une différence de potentiel qui appliquée entre les conducteurs en contact imparfait améliore le fonctionnement de l'appareil. Cette différence de potentiel est généralement comprise entre 0,2 et 1 volt ou même davantage.

Marconi a construit un cohéreur pour lequel la tension à appliquer est exactement égale à la force électromotrice d'un élément de pile (fig. 1). Il est constitué par un tube de verre de 4 à 5 cm. de longueur et de 5 mm. de diamètre intérieur. Les électrodes sont en argent et l'espace compris entre elles a la forme d'un V, dont la largeur varie de 1 mm. à 4 mm. Le tube

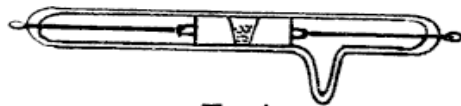


Fig. 1
Cohéreur

a été vidé d'air. Il est monté horizontalement et peut tourner autour de son axe, ce qui permet de régler l'épaisseur de la limaille. Cette limaille comprend 95% de limaille de nickel et 5% de limaille d'argent. Ce cohéreur est très sensible.

Le courant maximum qui traverse l'appareil est de l'ordre de 1 milliampère ; il traverse un relais qui commande un récepteur Morse.

Dans ces cohéreurs, la diminution de résistance produite par les oscillations persiste après la cessation des oscillations. On emploie généralement un choc pour ramener le cohéreur à sa résistance initiale. Ce choc est donné par un marteau mu par un mouvement d'horlogerie ou par un trembleur électrique fonctionnant en permanence. On peut aussi faire commander ce trembleur électrique par le relais monté dans le circuit de la pile locale. Dans ces conditions le passage du courant de la pile locale à travers le cohéreur cesse en même temps que l'action des oscillations.

Le cohéreur est un détecteur qui est sensible à la différence de potentiel ; aussi ne doit-il pas être placé en série à la base de l'antenne où se manifeste comme nous l'avons dit dans la leçon précédente, un vent de courant et un nuage de potentiel. On monte dans l'antenne le primaire d'un transformateur d'oscillations élévateur de tension appelé *jigger* par M. Marconi. Le cohéreur est monté entre les bornes du secondaire de ce transformateur.

La figure 2 représente schématiquement une réception

munie d'un cohéreur. Le circuit qui contient le secondaire

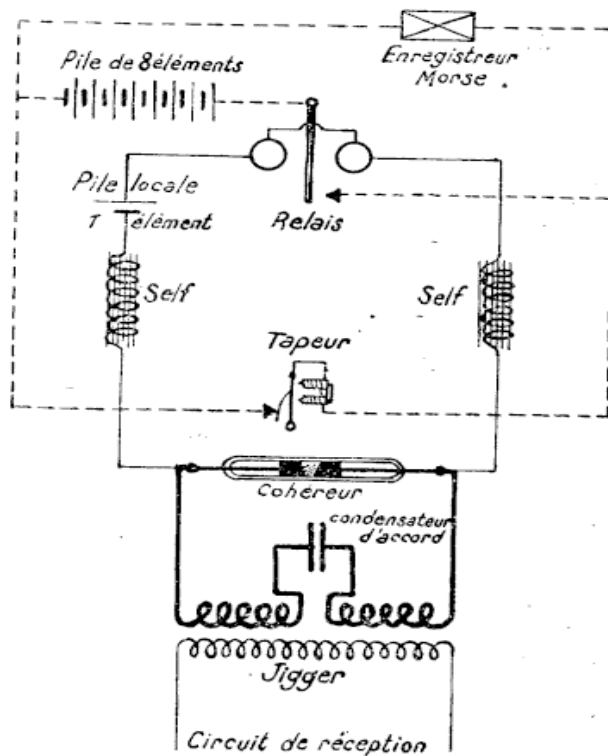


Fig. 2

Schéma de la Réception par Cohéreur

du jigger comprend un condensateur d'accord. Les bobines de self induction étaient destinées à empêcher aux oscillations de se dériver dans le relais. Le tapeur est commandé par le relais du circuit local. L'ensemble des appareils de réception était enfermé dans une boîte métallique destinée à les protéger contre l'action des ondes produites par la transmission du poste. Ces réceptions ont permis d'obtenir de bons résultats lorsque la T.S.F. était à ses débuts. Elles avaient l'avantage de permettre une réception écrite.

Le cohéreur a été abandonné parce qu'on

connaît aujourd'hui des détecteurs beaucoup plus sensibles et aussi parce qu'il est un détecteur à maximum qui ne permet pas de différencier deux émissions produisant dans l'antenne de réception des oscillations de même amplitudes initiales. Etant donné le grand nombre de communications actuellement existantes ce point constitue le plus grand inconvénient du système.

Les "parasites" produisent sur ces appareils le même effet qu'une transmission et sont tous enregistrés sans qu'aucune sélection soit possible si leur intensité est suffisante.

L'énergie qui actionne le relais est fournie par la pile locale et non par les oscillations qui ne font que déclancher l'action de cette pile.

On a cherché à construire des détecteurs à contacts pour lesquels la modification de résistance produite par les oscillations ne subsiste pas après que les oscillations ont cessé d'agir, ce qui dispense de l'adjonction d'un tapeur dont le réglage est délicat.

Ces appareils ont reçu le nom de cohérents auto-décohérents. De même que le tube à limaille ordinaire, ils ne sont plus employés.

Détecteurs magnétiques.

Le principe des détecteurs magnétiques repose sur la variation brusque de l'aimantation d'un noyau de fer dur ou d'acier produite par un champ oscillant qui a été signalée par plusieurs savants. Si l'on répète l'expérience une seconde fois avec le même noyau l'action est très faible. En continuant ainsi elle finirait d'ailleurs par disparaître. Pour qu'une autre action puisse se produire, il est nécessaire de faire varier l'aimantation du fer entre la première et la seconde expériences.

Il faut donc que le fer ou l'acier employé soit placé dans un champ magnétique constamment variable ou que ce soit toujours une nouvelle région du fer qui se présente dans le champ oscillant.

Les dispositifs qui ont été proposés sont nombreux ; nous ne décrirons que celui auquel M. Marconi s'est arrêté, en dernier lieu et qui est employé dans nombre de stations de la C^{te} Marconi.

Un noyau magnétique constitué par une corde sans fin faite de fils de fer fins isolés à la soie et câblés ensemble est entraînée par deux poulies mues par un mouvement d'horlogerie. La vitesse d'avancement de la corde est de 7 ou 8 centimètres à la seconde. Une bobine formée d'une seule couche de fil est enroulée sur un tube de verre d'une dizaine de centimètres dans lequel passe la corde sans fin. Cette bobine est parcourue par les oscillations à détecter ; celles-ci produisent un champ oscillant dirigé dans le sens des fils de fer. Une autre bobine plate, reliée à un téléphone

est placée au milieu de l'enroulement précédent. En regard des deux bobines sont placés deux aimants en fer à cheval dont les pôles nord sont voisins (fig. 3).

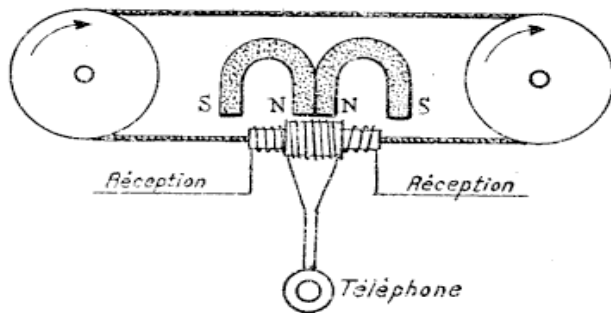


Fig. 3

Détecteur magnétique de Marconi

Lorsque la corde se déplace sans que des oscillations agissent, ses parties sont successivement aimantées dans un certain sens lorsqu'elles passent sous le premier aimant et leur aimantation change brusquement de sens en arrivant sous le second. La bobine reliée au

téléphone embrasse un certain flux magnétique de grandeur fixe. Si des oscillations parcourent l'enroulement de la première bobine, elles créent un champ oscillant qui fait varier l'état magnétique de la portion de la corde soumise à l'action de ce champ. Le flux embrassée par la bobine, reliée au téléphone, varie brusquement; un courant est donc induit dans son circuit et le téléphone rend un son. Les trains d'oscillations successifs trouvent sous la bobine de nouvelles régions de la corde en fils de fer et produisent chacun un son dans le téléphone.

On a donné une explication très simple du phénomène précédent, en admettant que le champ oscillant jouit de la propriété de faire disparaître brusquement l'hystérésis magnétique⁽¹⁾ du fer ou de l'acier. La véritable explication est peut-être moins simple. Malgré tout l'effet résultant est toujours une variation de l'aimantation du fer qui produit un courant induit dans le téléphone.

Le détecteur magnétique de Marconi a une sensibilité comparable à celle du cohéreur et du détecteur électrolytique; c'est à dire inférieure à celle des meilleurs détecteurs employés aujourd'hui. Il est simple, robuste, et d'un usage commode. La position des aimants doit être réglée une fois pour toute, de façon à obtenir la meilleure sensibilité de l'instrument dans ses conditions d'emploi. On trouve facilement cette position par tâtonnements; elle correspond en général à des positions dissymétriques des deux aimants.

L'effet des oscillations sur l'aimantation du fer dépend de l'intensité maxima des oscillations. C'est donc un détecteur à maximum d'intensité qui doit par suite être monté, de façon à être traversé par des oscillations aussi intenses que possible.

L'énergie reçue par le téléphone est fournie par le champ extérieur qui aimante le fer, et le moteur qui entraîne, dans le champ, la corde de fer ainsi aimantée. Les oscillations ne font que libérer une partie de l'énergie du système.

(1) Lorsqu'on soumet du fer ou de l'acier à l'action d'un champ magnétique variable, l'aimantation produite est toujours en retard sur le champ qui lui donne naissance. C'est à dire que si le champ augmente l'aimantation augmente mais suit avec un certain retard et est toujours plus petite qu'elle serait sans l'existence de l'hystérésis; si le champ diminue l'aimantation diminue mais suit avec un retard et est par suite toujours plus grande qu'elle serait sans l'hystérésis.

Détecteurs électrolytiques.

Le principe du détecteur électrolytique a été indiqué par le Colonel Ferrié en 1900 au Congrès International d'Électricité. Dans

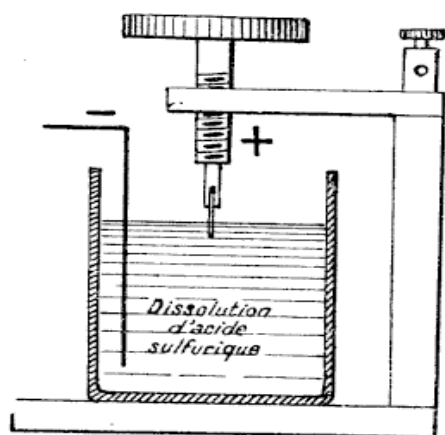


Fig. 4

sa forme primitive (fig. 4) il se composait d'un fil de platine fin dont l'extrémité plongeait à peine dans une dissolution d'acide sulfurique. Ce fil était porté par une vis qui permettait de régler la longueur du fil plongeant dans l'électrolyte. Un autre fil de platine plus gros constituait la seconde électrode du système. Si l'on intercale cet appareil en série avec un téléphone et une pile de force électromotrice convenable, en ayant soin de relier le pôle positif de la source à la pointe,

on constate que l'écouteur silencieux à l'état normal rend un son lorsque des oscillations viennent à traverser l'élément sensible ainsi constitué. Sous cette forme le réglage était délicat; aussi l'inventeur fut-il amené à donner à son appareil une autre disposition (fig. 5). L'électrolyte est contenu dans une ampoule de verre complètement fermée ce qui rend l'appareil transportable. Le fil fin est soudé à l'extrémité d'une tige métallique contenue dans un tube de terre; il est scellé dans l'extrémité de ce tube qui est fermé à la lampe. Ce fil est coupé au ras de la pointe de verre ainsi formée.

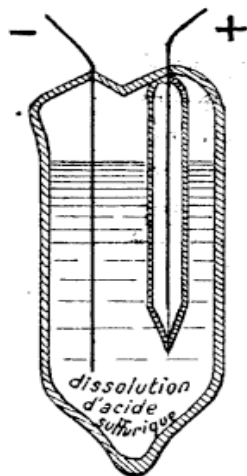


Fig. 5

Détecteur électrolytique

Cette disposition évite les dérèglages et permet d'obtenir une sensibilité constante puisque la surface de l'électrode en contact avec le liquide reste toujours la même.

Le fil fin a un diamètre de $\frac{1}{100}$ à $\frac{2}{100}$ de millimètre. On utilise ordinairement une dissolution d'acide sulfurique titrant 22 ou 25° Baumé; mais on peut aussi employer l'acide azotique. Dans certains modèles plus récents de détecteurs

électrolytiques, on dispose de plusieurs pointes sensibles plongeant dans une petite cuvette étanche en ébonite et on peut utiliser à volonté l'une ou l'autre de ces pointes.

La durée d'une pointe est, en effet, assez limitée : des oscillations trop énergiques ou un fort « parasite » de la mettent hors d'usage.

Si on applique aux bornes du détecteur précédent, une force électromotrice suffisante, un courant s'établit et traverse l'électrolyte : un téléphone monté dans le circuit fait entendre un crissement continu. Si l'on diminue progressivement la force électromotrice appliquée, on trouve qu'au-dessous d'une certaine valeur ce crissement cesse. Il y a donc une tension critique facile à déterminer par l'expérience, au-dessous de laquelle aucun courant ne traverse plus l'électrolyte. Ce phénomène n'est autre que le phénomène de la polarisation, la tension critique est égale à la force contre-électromotrice de polarisation.

Supposons que la force électromotrice appliquée soit un peu inférieure à la force contre-électromotrice de polarisation, le téléphone n'étant traversé que par un faible courant résultant de la dépolarisation spontanée reste muet. Si des oscillations arrivent alors entre les électrodes du détecteur, elles ont pour effet de diminuer la force contre-électromotrice et il se produit un courant dans le téléphone. En raison de la faible valeur de l'énergie oscillante, recueillie dans une antenne, on comprend que la surface de l'électrode sensible doive être très petite pour que l'action dépolarisante soit suffisante. La sensibilité augmente lorsque la surface de cette électrode diminue.

Ce détecteur produit, en réalité, un effet de soupape puisque les demi-oscillations négatives tendent à diminuer la polarisation et ne produisent par suite aucune variation sensible de l'intensité à travers le détecteur ; tandis que les demi-oscillations positives portent la pointe sensible à un voltage suffisant pour que le courant puisse passer. Le supplément de courant est fourni par le circuit oscillant, dont le condensateur d'accord tire à chaque alternance positive une quantité d'électricité positive ; cela revient à dire qu'il tend à prendre une charge négative. Mais la source auxiliaire fournit alors l'énergie nécessaire au rétablissement de la différence de potentiel normale entre les armatures du condensateur et c'est ce courant de recharge qui actionne le téléphone. La fig. 6 indique le montage du téléphone et de la source auxiliaire, mais non du circuit résonant de réception.

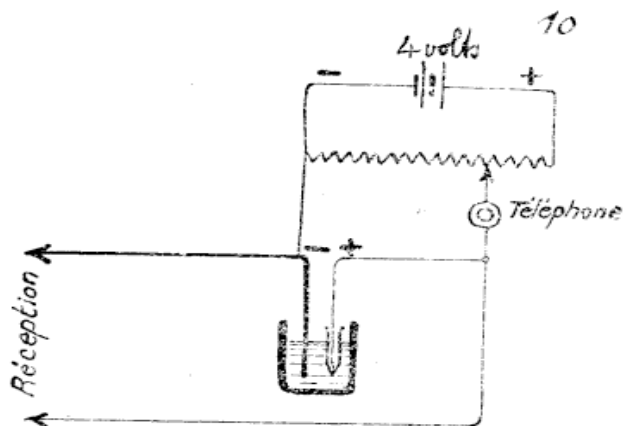


Fig. 6

L'intensité du son perçu dans le téléphone dépend de l'énergie reçue. Si les oscillations incidentes sont entretenues le courant qui traverse le téléphone sera constant et on n'entendra qu'un tic lorsque commence l'action de ces oscillations, et un tac lorsqu'elles cessent. Mais le courant constant qui traverse le téléphone est proportionnel à l'amplitude des oscillations

reçues. Cette propriété importante peut être utilisée en téléphonie sans fil et dans une certaine mesure, pour l'évaluation de l'intensité des oscillations.

Pour appliquer exactement la force électromotrice voulue entre les électrodes du détecteur, on se sert d'un montage potentiométrique. On monte une pile de 4 volts aux bornes d'une forte résistance de façon que le débit de cette pile à travers cette résistance reste faible. Il se produit une chute de tension régulière le long de cette résistance de sorte qu'avec un contact glissant, on peut appliquer une différence de potentiel comprise entre 0 et 4 volts entre les électrodes du détecteur. Pratiquement, il n'est pas nécessaire qu'on puisse faire varier la résistance d'une façon absolument continue, il est suffisant de relier différents contacts à des points répartis le long de la résistance potentiométrique et de disposer d'une manette qui permette de se brancher sur l'un quelconque de ces contacts.

La force électromotrice auxiliaire qu'il faut appliquer à un détecteur électrolytique à acide sulfurique est comprise entre 1,5 et 3 volts. Le pôle positif doit être relié à la pointe sensible. La résistance du téléphone employé doit être grande par rapport à la résistance offerte par le système au passage des courants de charge de façon à absorber une quantité d'énergie très grande en comparaison de celle qui est dissipée dans la résistance.

Le détecteur au repos présente une résistance de quelques milliers d'ohms.

Le détecteur électrolytique est d'un maniement et d'un réglage faciles. On augmente la différence de potentiel appliquée en agissant sur le potentiomètre jusqu'à

ce qu'on entend un criement continu dans le téléphone; on revient alors un peu en arrière: le téléphone restant muet. L'appareil est prêt à fonctionner.

Le détecteur électrolytique est un détecteur d'énergie et non un détecteur à déclenchement, il utilise véritablement l'énergie des oscillations reçues et non celle de la source auxiliaire.

Ce détecteur est doué d'une bonne sensibilité, mais on le délaisse actuellement parce qu'on a découvert d'autres détecteurs plus sensibles. Il ne faut cependant pas oublier que c'est lui qui a permis le premier de réaliser commodément une communication radiotélégraphique.

Détecteurs redresseurs.

Ces détecteurs sont ordinairement formés d'un contact imparfait entre une pointe métallique et une surface cristalline conductrice.

Tous ces détecteurs dont la cause du fonctionnement est d'ailleurs encore inexpliquée, ont la propriété commune de constituer des conducteurs qui ne suivent pas la loi d'ohm.

Leur mode d'action est facile à expliquer par la considération de la caractéristique. La caractéristique d'un conducteur est la courbe qui représente l'intensité qui le traverse en fonction de la différence de potentiel existant entre ses extrémités. Lorsqu'il suit la loi d'ohm, cette caractéristique est une droite, puisque l'intensité est proportionnelle au voltage appliqué (fig. 7).

Dans le cas des détecteurs redresseurs, la caractéristique est une courbe sinusoïdale passant par l'origine des coordonnées. Deux cas sont à considérer suivant que cette courbe est symétrique ou non par rapport à l'origine dans le premier et le troisième quadrants.

1° La caractéristique est symétrique par rapport à l'origine (fig. 8). Dans ce cas le courant est exactement le même pour des tensions égales et de signe contraire.

2° La caractéristique n'est pas symétrique par rapport à l'origine (fig. 9). Le courant est différent pour deux tensions égales et de signe contraire. Si on fait agir une force électromotrice alternative le courant maximum n'est pas le même dans une direction que dans l'autre. En particulier si on considère les tensions maxima ea et eb , l'une

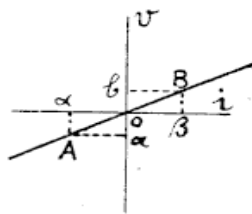


Fig. 7

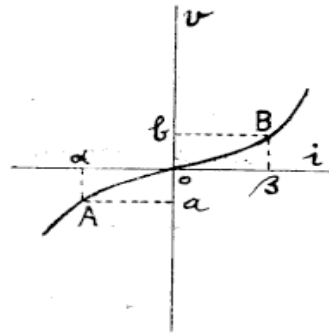


Fig. 8

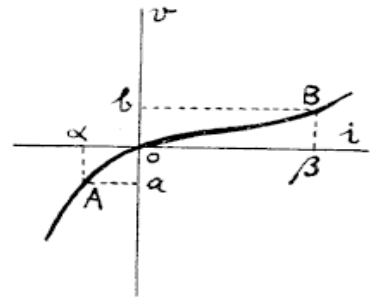


Fig. 9

négative, l'autre positive, elles correspondent aux intensités maxima et α dans un sens et β dans l'autre. On voit que dans le cas de la figure, l'intensité correspondant à la tension positive est environ 4 fois plus grande que celle qui correspond à la tension négative.

Si donc on considère un train d'oscillations amorties qui produit entre les bornes du détecteur une tension représentée par une sinusoïde amortie (fig. 10), le courant traversant

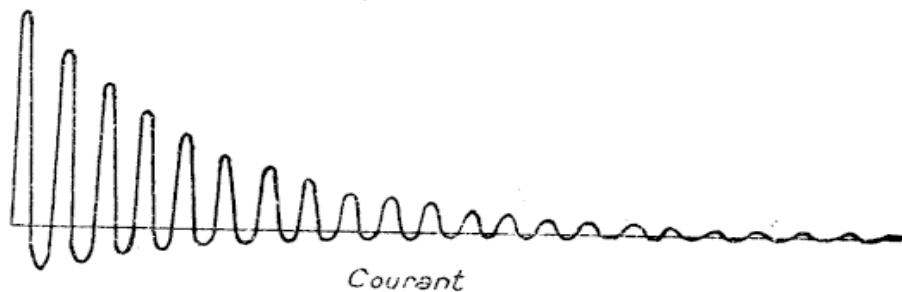
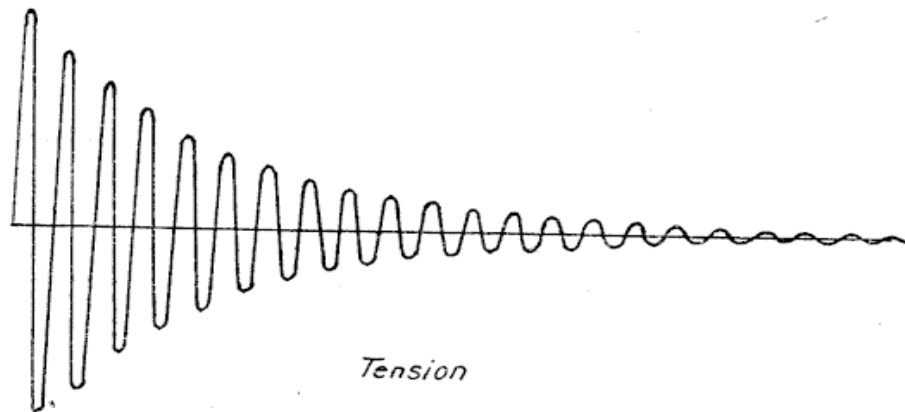


Fig. 10

Le détecteur aura la forme représentée au-dessous ; les intensités maxima négatives étant environ 4 fois plus petites que les intensités maxima positives. Le détecteur agit donc comme un redresseur.

S'il ne passe aucun courant dans une des directions, on dit que le détecteur constitue une soupape électrique.

Une oscillation redressée agit sur un téléphone ou un galvanomètre alors qu'un train d'oscillations ordinaire n'agit pas.

Des oscillations aussi bien entretenues qu'amorties ne peuvent en effet produire aucune action soit sur le cadre d'un galvanomètre, soit sur la plaque d'un téléphone, car la fréquence propre du cadre d'un galvanomètre est souvent de l'ordre de 1 et celle d'une plaque de téléphone de l'ordre de 1000, tandis que celle des oscillations est beaucoup plus grande (1.000.000 dans le cas des ondes de 300 mètres de longueur) (Voir : phénomènes de résonance). D'ailleurs dans le cas du téléphone, même si la plaque vibrait elle engendrerait dans l'air des vibrations d'une fréquence bien supérieure à celles des sons audibles. Les sons musicaux les plus hauts correspondent à des vibrations dont la fréquence ne dépasse pas 5000 ; vers 12000 l'audition devient difficile pour beaucoup d'observateurs et elle devient impossible vers 30000.

Un train d'oscillations redressées produit une action aussi bien sur le cadre d'un galvanomètre que sur la plaque d'un téléphone.

Dans le cas des oscillations non redressées on peut considérer que pour chaque période l'action de l'alternance d'un sens est détruite pratiquement par l'alternance suivante, l'effet résultant est pratiquement nul.

Au contraire, dans le cas d'un train d'oscillations redressées, les alternances d'un sens ont une action prépondérante et pour chaque période l'action est égale à la différence des actions produites par les deux alternances. Les actions correspondantes aux périodes successives sont de même sens. Toutes ces actions se totalisent pour un même train d'ondes et produisent une impulsion sur le système mobile : cadre de galvanomètre ou membrane de téléphone. Il s'agit bien là d'une sorte de choc car la durée du train d'oscillations est infime par rapport à celle du déplacement du système.

L'effet précédent est analogue à celui que produit la décharge d'un condensateur dans un galvanomètre balistique. Cette décharge est presque instantanée et est terminée bien avant que le cadre du galvanomètre ait pu se déplacer d'une façon appréciable.

mais à la fin de la décharge, le cadre est animé d'une vitesse comme s'il avait reçu un choc et commence à osciller avec sa période propre ; il atteint son élongation maxima après une fraction importante ou même plus d'une seconde, alors que la décharge a peut-être duré moins d'un millièment de seconde.

Dans le cas des détecteurs, chaque train d'oscillations amorties correspond donc à un déplacement de la plaque du téléphone. Celui-ci rend un son dont la hauteur correspond au nombre de trains d'oscillations reçus par seconde, c'est-à-dire au nombre d'étincelles produites par seconde au poste transmetteur.

Tous les détecteurs qui permettent de totaliser l'action des oscillations, s'appellent détecteurs d'énergie ou détecteurs intégrants. Celo sont, en plus des détecteurs auxquels s'appliquent ce que nous venons de dire, les détecteurs thermiques et dans une certaine mesure les détecteurs électrolytiques.

Si au lieu de trains d'oscillations amorties on considère des oscillations entretenues ; les effets des oscillations de chaque train ne se totalisent plus pour communiquer une impulsion à la plaque du téléphone. On a dans ce cas une succession très rapide d'impulsions régulières de même sens. Ces impulsions produisent un déplacement de la plaque du téléphone qui prend une nouvelle position d'équilibre.

Dans ces conditions, au début de l'action des oscillations, on entend un toc dans le téléphone, et à la fin un autre toc qui correspond au retour de la plaque à sa position de repos. La transmission est entendue de la même façon que l'on reçoit une transmission Morse par courant continu dans un téléphone ; la lecture au son est difficile surtout si les courants sont faibles.

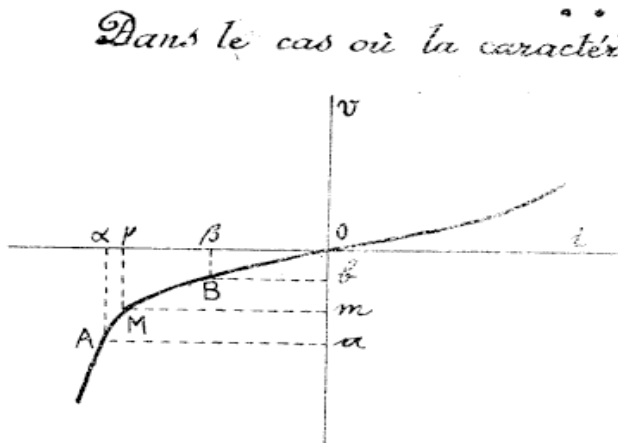


Fig. 11

Dans le cas où la caractéristique est symétrique à l'origine, on peut néanmoins utiliser un contact du genre précédent comme détecteur, mais avec l'adjonction d'une force électromotrice auxiliaire auxiliaire.

Considérons le cas de la figure 11, et supposons qu'on applique au contact une force électromotrice auxiliaire O_m , elle produit un

-courants d'intensité constante $\alpha \mu$. Si, maintenant, on ajoute à cette force électromotrice auxiliaire une force électromotrice alternative produite par des oscillations, le courant dû à ces oscillations se superpose au courant constant, mais tandis que l'alternance positive produit un accroissement d'intensité égale à $\mu \beta$, l'alternance négative ne produit qu'une diminution égale à $\mu \alpha$.

Le phénomène est donc analogue à celui que l'on obtient sans force électromotrice auxiliaire; mais dans ce cas le téléphone est parcouru en permanence par un courant continu qui impose à sa plaque une position d'équilibre différente de sa position de repos.

Chaque train d'oscillations communiquera à cette plaque une impulsion comme dans le cas précédent.

En examinant les figures précédentes, on voit sans peine que l'action de redressement est d'autant plus marquée que la caractéristique change plus rapidement de direction, c'est-à-dire présente une courbure plus accentuée au point où l'on fait travailler le détecteur;

D'autre part, le redressement dépend de l'amplitude de la tension alternative appliquée. On peut, en effet, généralement remplacer une courbe au voisinage immédiat d'un de ses points par sa tangente. Par conséquent le redressement serait nul pour une amplitude très petite des oscillations. Un détecteur redresseur travaille donc mieux, dans certaines limites, pour des intensités fortes que pour des intensités très faibles.

Lorsqu'on utilise une force électromotrice auxiliaire on doit régler sa tension de façon à travailler en un point favorable de la caractéristique. Ce réglage peut être obtenu très facilement à l'aide d'un dispositif potentiométrique analogue à celui qui est employé avec le détecteur électrolytique.

La considération de la caractéristique dont le tracé est d'ailleurs très simple, permet de trouver les conditions de fonctionnement de tous les détecteurs de la catégorie précédente et même des détecteurs électrolytiques et des tubes à vide.

Les détecteurs redresseurs généralement constitués, comme nous l'avons déjà dit, par une pointe métallique en contact avec un cristal qui est le plus souvent un oxyde ou un sulfure. Les contacts les plus employés sont les suivants :

1° Carborundum (carbone artificiel de silicium). - Acier. - Pierce a trouvé pour un échantillon, une conductibilité 527 fois plus grande

dans un sens que dans l'autre.

2° Galène (sulfure de plomb) - Charbon. - Le contact est assez employé en Allemagne. On peut remplacer la pointe de charbon par une pointe métallique.

3° Pyrite de fer-oz. - L'administration française utilise des pyrites naturelles sélectionnées par M. Meunier en contact avec une pointe métallique.

4° Zincite (oxyde de zinc) - Chalcopirite (sulfure de cuivre et de fer). Ce détecteur connu sous le nom de périkon est dû à Pickard.

5° Silicium - Acier. - Le contact a lieu entre une plaque de silicium poli et une pointe d'acier.

6° Tellure - Aluminium. - Ce contact a été étudié par Austin. Tous ces détecteurs peuvent être employés sans force électromotrice auxiliaire sauf le premier qui fonctionne mieux lorsqu'une pile est montée dans le circuit du téléphone.

La sensibilité d'un cristal est différente pour ses différents points, elle varie aussi avec la pression exercée sur le contact.

Les redresseurs jouissent d'une grande faveur en raison de leur sensibilité et leur emploi est très répandu malgré l'inconvénient qu'ils présentent, d'être facilement déréglables.

L'opérateur peut s'assurer qu'il est sur un point sensible à l'aide d'un petit vibreur appelé radiateur d'essai. Lorsqu'on n'entend pas de transmission il est prudent de vérifier fréquemment le point employé à l'aide du radiateur d'essai.

Ecole Supérieure des Postes et Télégraphes.

Cours de T. S. F. à l'usage du Personnel.

10^{ème} Leçon.

Détecteurs et Réceptions.

Sommaire.

Tubes à vide — Valve de Fleming.

Tubes à vide à trois électrodes

Utilisation comme détecteur

Utilisation comme amplificateur.

Utilisation comme générateur.

Construction des Tubes à vide.

Détecteurs pour Oscillations entretenues.

Gilkner. Gilkner de Poulsen.

Réception par la méthode des Battements.

Détecteurs de fortune.

Montages de Réception.

1. - Montage direct

2. - Montages indirects { a) accouplement par induction.
b) accouplement par dérivation.

Utilisation d'un circuit intermédiaire.

Montage du Détecteur.

Secondaires aperiodiques

Secondaires périodiques { Détecteur-accouplé par induction.
Détecteur-accouplé par dérivation.
Détecteur-accouplé électriquement.

Tubes à vide. — Valve Fleming Audion.

Le professeur Fleming a construit un détecteur très simple et très efficace en appliquant certains résultats obtenus par Edison en étudiant les

lampes à incandescence.

Preions une lampe ordinaire à filament de carbone ou à filaments métallique dans l'ampoule de laquelle on a monté une plaque conductrice reliée à un fil qui sort de l'ampoule (fig. 1).

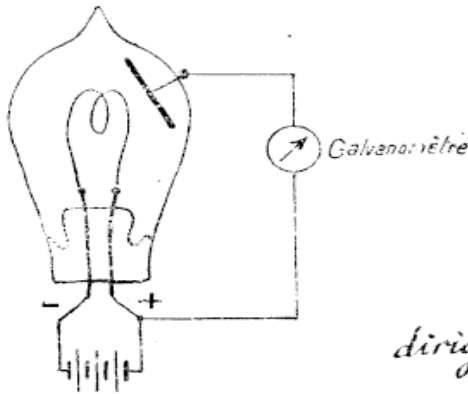


Fig. 1
Effet Edison

Lorsque l'on porte le filament de cette lampe à l'incandescence, l'espace vide compris entre la plaque et le filament devient conducteur et si on réunit la plaque au pôle positif de la pile qui chauffe le filament, on observe dans le circuit extérieur un courant dirigé du filament vers la plaque.

Ce courant est dû à la propriété qu'ont les corps incandescents et en particulier les métaux d'émettre des petites charges négatives ou électrons. Les électrons libérés se déplacent le long des lignes de force du champ électrique qui aboutissent au filament, mais en sens inverse de la direction de ces lignes (puisque les lignes de force sont en tout point de l'espace tangentes à la force qui agirait sur une charge positive égale à l'unité placée en ce point).

L'espace compris entre le filament et la plaque possède donc une conductibilité unilatérale, puisque cette conductibilité est due à un courant de convection d'électrons ou charges négatives.

Si la plaque est à un potentiel inférieur à celui du filament, ou comme l'on dit est « négative » par rapport au filament toutes les lignes de force du champ électrique aboutissant à la plaque sont dirigées vers cette plaque, celle-ci ne peut, par suite, recevoir aucun électron.

Si la plaque est à un potentiel supérieur à celui du filament, c'est à dire, si elle est positive par rapport au filament, les lignes de force du champ électrique partent de la plaque et vont aboutir au filament; les électrons libérés par le filament vont donc, en « remontant » les lignes de force, venir rencontrer la plaque. Il faut noter que le filament n'est pas un potentiel uniforme, puisqu'il est parcouru par un courant; il se produit le long de ce filament une chute régulière de tension. Les potentiels des différents points sont compris entre celui du pôle positif et celui du pôle négatif de la pile.

La plaque peut donc être positive par rapport à certaines régions du filament et négative par rapport à d'autres. Dès qu'elle devient positive par rapport à un élément du filament, les électrons

libérés par cet élément gagnent la plaque et on constate un courant dans la partie métallique du circuit filament-plaque.

Dans une lampe servant à l'éclairage, les premiers électrons émis viennent se coller aux parois de l'ampoule qu'ils chargent négativement. Au bout d'un certain temps le champ dans l'espace compris entre le verre et le filament est dirigé vers l'ampoule et tout transport d'électrons vers l'ampoule cesse.

D'après ce qui précède, on voit que si une tension alternative produite par des oscillations est appliquée entre le pôle négatif de la batterie de chauffage du filament et la plaque, il passera un courant dans le circuit filament-plaque pendant les alternances pour lesquelles la plaque est positive par rapport au filament ou tout au moins par rapport à certaines régions, tandis qu'il ne passera aucun courant pendant les alternances pour lesquelles la plaque est complètement négative par rapport au filament.

Le système précédent agit donc comme un détecteur-redresseur dont la conductibilité est rigoureusement nulle pour les courants d'un sens.

La valve de Fleming qui utilise la propriété précédente est constituée par une lampe à filament de carbone dont le filament est complètement entouré par un cylindre métallique qui joue le rôle de plaque.

L'auteur a reconnu qu'il est avantageux de porter la plaque à une faible tension auxiliaire. Cette tension peut être prise sur un potentiomètre monté sur la batterie de chauffage. Le montage qu'il a indiqué est reproduit par la figure 2.

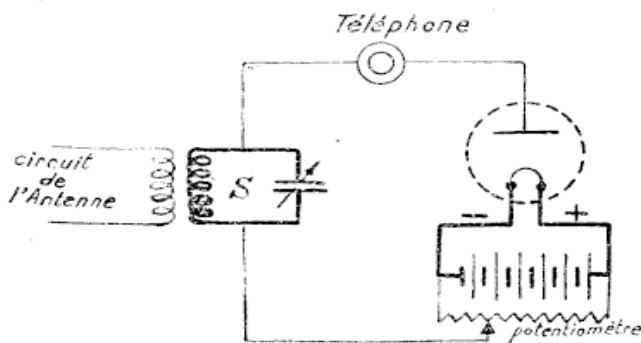


Fig 2
Valve de Fleming.

M. Lee de Forest a décrit sous le nom d''audion' un détecteur analogue au précédent.

Le fonctionnement de ces détecteurs peut être étudié, de la même façon, que celui des autres détecteurs redresseurs en traçant leur caractéristique.

Le 'Kenotron' est un détecteur du type précédent dans lequel le vide de l'ampoule est extrêmement poussé.

Holweck, en prenant des filaments de platine imprégnés d'oxydes des terres rares a augmenté, dans de larges proportions,

L'émission du filament

Tube à vide à trois électrodes.

Les tubes à vide à trois électrodes sont constitués comme la valve de Fleming par une électrode incandescente et une plaque ; mais une seconde électrode froide ou grille est intercalée entre le filament et la plaque. La grille est constituée, selon le modèle d'appareils, soit par une plaque perforée de trous, soit par un fil fin enroulé en hélice qui entoure le filament.

La plaque et la grille sont isolées du filament et isolées l'une par rapport à l'autre ; elles sont réunies à des fils qui sortent de l'ampoule.

Dans ces tubes à vide, la plaque est généralement portée à un potentiel positif élevé par rapport au filament. Dans ces conditions, si la grille n'existait pas, les électrons émis par le filament incandescent se dirigeraient vers la plaque, en suivant les lignes de force du champ électrique, et il se produirait un courant dans le circuit filament-plaque.

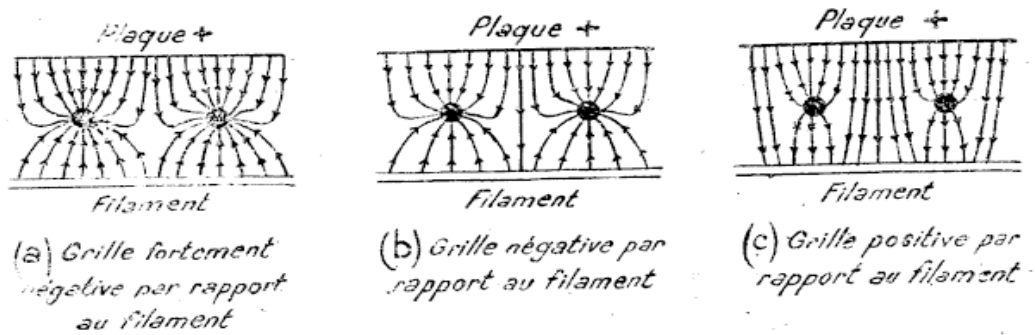
Pour un chauffage donné, un filament ne peut émettre par unité de temps qu'un nombre déterminé d'électrons. Si le potentiel de la plaque est suffisamment élevé, tous ces électrons atteignent la plaque ; on obtient alors, pour le chauffage considéré, le courant maximum dans le circuit filament-plaque. Ce courant est appelé courant de saturation. L'emploi d'un potentiel plus élevé sur la plaque n'aurait plus d'effet utile pour l'augmentation de l'intensité du courant filament-plaque.

Le potentiel qui produit la saturation est d'autant plus élevé que le chauffage du filament est plus intense ; aussi longtemps que cette différence de potentiel n'est pas atteinte, toute augmentation du potentiel de la plaque produit une augmentation du courant filament-plaque.

Le rôle de la grille est de produire un champ électrique qui se superpose à celui de la plaque et de modifier ainsi le nombre des électrons qui atteignent la plaque, c'est à dire l'intensité du courant dans le circuit filament-plaque.

Supposons que la plaque soit portée à un haut potentiel par rapport au filament et que l'on applique un voltage auxiliaire sur la grille. Plusieurs cas peuvent se présenter (fig. 3) :

a) Le voltage appliqué à la grille est fortement négatif par rapport aux régions voisines du filament. Ce voltage est donc a fortiori, fortement négatif par rapport à la plaque. Toutes les lignes de force du champ électrique partant du filament et de la plaque



N.B. La plaque est dans tous les cas fortement positive par rapport au filament et à la grille.

Fig.3

Champ électrique dans un tube à vide à 3 électrodes.

vont aboutir sur la grille.

Aucun des électrons émis par le filament n'atteint ni la plaque, ni la grille. Il ne passe aucun courant dans le circuit filament-grille, ni dans le circuit filament-plaque.

b) La grille est négative par rapport aux régions voisines du filament.

Les lignes de force du champ partant de la plaque et du filament aboutissent sur la grille, mais certaines lignes de force traversant la grille vont directement de la plaque au filament.

Dans ce cas il n'y a aucun transport d'électrons de filament vers la grille; mais des électrons commencent déjà à passer du filament sur la plaque.

On ne constate donc aucun courant dans le circuit filament-grille et un faible courant dans le circuit filament-plaque.

c) La grille est positive par rapport aux régions voisines du filament, mais reste fortement négative par rapport à la plaque.

Les lignes de force du champ électrique partant de la plaque aboutissent en partie à la grille et en partie à la plaque.

On constate un faible courant dans le circuit filament-grille et un courant plus fort dans le circuit filament-plaque.

d) La grille est très fortement positive et peut même être positive par rapport à la plaque. — Ce cas ne présente pas d'intérêt pour ce qui nous occupe.

Dans le montage représenté par la fig. 4, le potentiel du pôle positif de la batterie de chauffage est pris pour zéro. Dans tous les cas il faut choisir le potentiel d'un point comme zéro et relier à ce point commun un des pôles de toutes les piles employées.

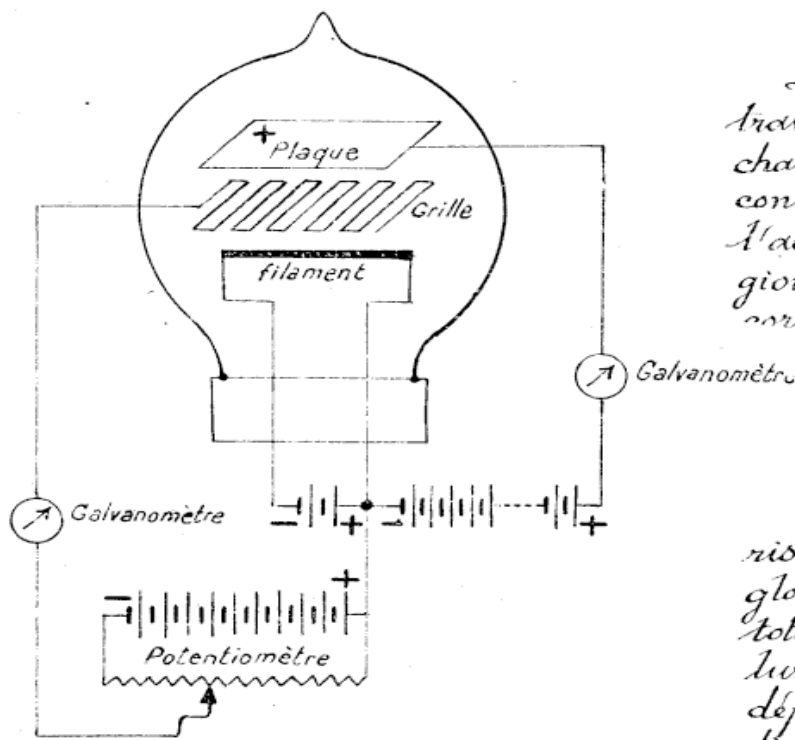


Fig. 4.

Tube à vide à 3 Electrodes

Le potentiel d'un filament traversé par le courant de chauffage varie avec le point considéré ; par conséquent, l'action des différentes régions de ce filament peut correspondre à des cas différents a, b ou c.

L'effet que l'on mesure lorsqu'on trace les caractéristiques est un effet global correspondant à la totalité du filament. L'allure de la caractéristique dépend de la nature et des distances entre les électrodes, du degré de vide, du chauffage et du potentiel positif fixe de la plaque.

L'étude complète d'un type de tubes exige le tracé des caractéristiques pour différents chauffages. Pour un chauffage déterminé, il faut également connaître les caractéristiques qui se rapportent à différents potentiels fixes de la plaque. On obtient ainsi une série de familles de caractéristiques. L'examen de ces courbes permet de déterminer les conditions de fonctionnement à adopter.

La fig. 5 ci-après représente la caractéristique d'un tube à vide dont le filament était chauffé par une batterie de 4 volts. Elle a été tracée en portant la grille à différents potentiels négatifs à l'aide d'un potentiomètre.

Pour des tensions négatives inférieures à -11 volts appliquées à la grille, le courant est nul dans les circuits filament-plaque et filament-grille : tous les points du filament sont dans le cas (a).

Entre -11 volts et -4 volts, une région reste dans le cas (a) et une autre région de plus en plus étendue est dans le cas (b).

On n'observe un courant que dans le circuit filament-plaque.

Au dessus de -4 volts, certains points du filament deviennent négatifs par rapport à la grille et sont dans le cas (c). On observe un courant filament-plaque assez fort et un courant

Variations de l'intensité du courant filament-plaque et filament-grille en fonction de la tension appliquée à la grille, pour un chauffage et une tension plaque donnés.

N.B. le pôle + de la batterie de chauffage est pris pour zéro des potentiels

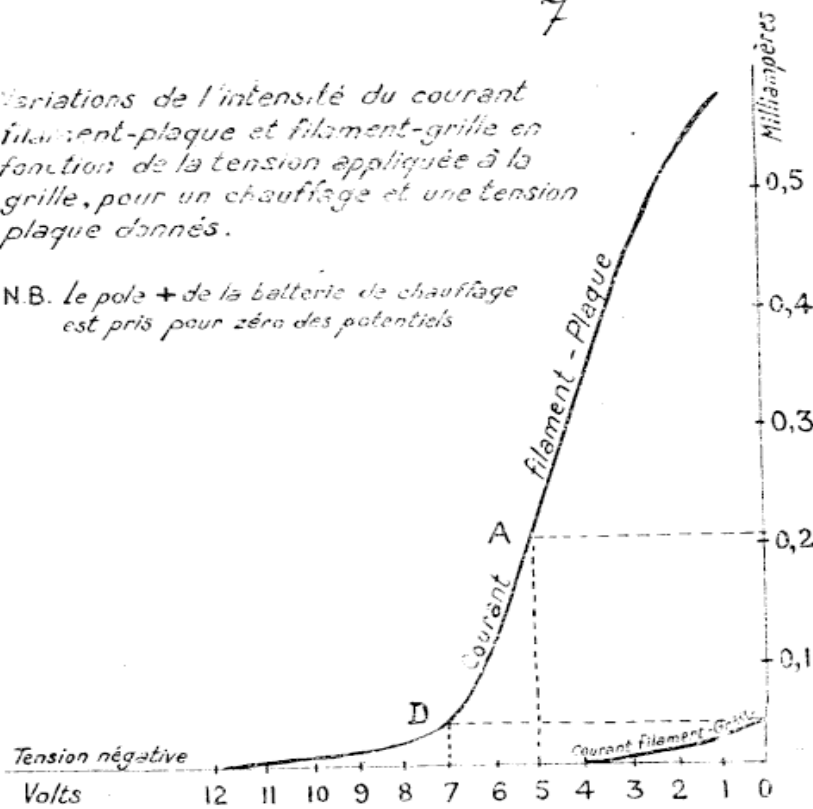


Fig. 5

Caractéristiques d'un tube à vide à 3 électrodes.

filament-grille
beaucoup plus
faible

Les caractéristiques permettent de déterminer les différents modes possibles de fonctionnement du tube. Nous allons raisonner sur les courbes représentées par la figure 5. Pour un autre type de tube, le mode de raisonnement reste le même mais les conclusions seraient légèrement différentes ; il est bien entendu également qu'avant de arriver à un chauffage et à une tension plaque, on doit étudier

le phénomène pour d'autres chauffages et d'autres voltages et se placer dans le cas le plus avantageux.

La grille interposée sur le trajet des électrons entre le filament et la plaque agit en somme comme un clapet très souple qui est fermé lorsque la grille est négative et empêche le passage des électrons et qui est ouvert lorsqu'elle est suffisamment positive et laisse passer librement tous les électrons. Ce clapet peut occuper toutes les positions intermédiaires ; chaque position ne dépend que du potentiel de la grille.

Utilisation d'un tube à vide à trois électrodes comme détecteur.

La courbe qui représente l'intensité du courant filament-plaque présente au voisinage du point D une forte courbure par conséquent ce point est un point détecteur.

Si on applique sur la grille une différence de potentiel auxiliaire déterminée par la position du point D, c'est à dire ici de -7 volts environ, le circuit filament-plaque est parcouru par un courant fixe dont l'intensité lue sur la courbe est d'environ 0,05 milliampère.

Si on ajoute au potentiel de la grille une tension alternative,

produite par des oscillations, les alternances positives produisent une forte augmentation du courant filament-plaque, alors que les alternances négatives ne produisent qu'une faible diminution.

On obtient donc, mais dans le circuit filament-grille un courant redressé analogue à celui que fournissent les détecteurs redresseurs précédemment étudiés. Il est essentiel de remarquer qu'il ne passe aucun courant dans le circuit filament-grille, si ce n'est le faible courant qui charge la capacité que possède la grille; ce détecteur ne consomme donc pas d'énergie. De plus, c'est un détecteur de potentiel puisque ce sont les voltages appliqués sur la grille qui règlent la marche des phénomènes.

La fig. 6 représente le schéma de montage d'un tube à

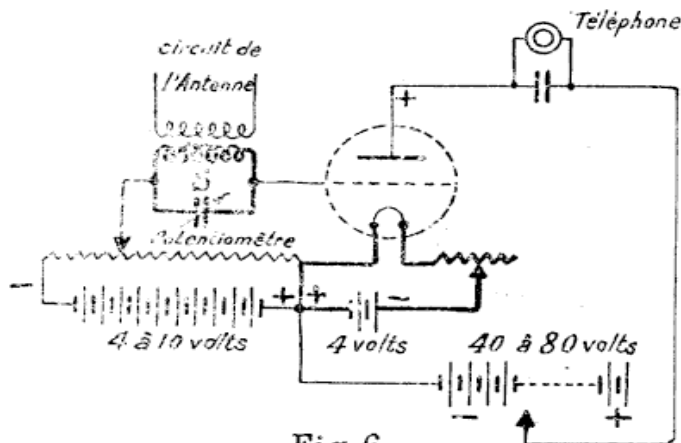


Fig. 6

Montage d'un Tube à vide détecteur

vide détecteur. Les oscillations produites dans l'antenne par les ondes agissent sur le circuit oscillant secondaire S qui comporte une très forte self et une faible capacité. Les tensions alternatives produites entre les armatures du condensateur de ce circuit s'ajoutent au potentiel appliqué en permanence à la grille. La réception se fait dans un

téléphone monté dans le circuit filament plaque. La plaque est portée à un potentiel positif fixe au moyen d'une batterie de piles.

Utilisation d'un tube à vide à trois électrodes comme amplificateur.

Revenons à la figure 5 et supposons que nous ayons appliqué à l'aide d'un potentiomètre un voltage négatif constant d'environ -5 volts sur la grille. Le point de fonctionnement, se trouve en A sur la caractéristique et le circuit filament plaque est traversé par un courant constant d'environ 0,2 milliampères.

Si on ajoute à la tension négative auxiliaire une différence de potentiel variable quelconque, mais assez petite pour que les potentiels extrêmes auxquels la grille est soumise soient compris entre -6 volts et -4 volts, le courant restera nul dans la grille, mais l'intensité variera dans le circuit filament-plaque.

La caractéristique étant, dans la région utilisée, très inclinée et pratiquement rectiligne, les variations de courant seront grandes et proportionnelles aux variations de la tension.

Au voisinage du point A, sans dépenser dans le circuit filament-grille, un courant autre que le courant de charge de la grille, on pourra obtenir un courant important dans le circuit filament-plaque. Il y a donc effet-relais.

Non seulement ce relais ne consomme pas d'énergie, mais il présente encore une souplesse extrême puisqu'il ne contient aucune pièce mécanique douée d'inertie et n'entraîne aucun frottement. Il peut fonctionner même en haute fréquence.

L'effet-relais des tubes à vide est utilisé dans les amplificateurs de haute fréquence et dans les amplificateurs téléphoniques. Le mode de fonctionnement de ces deux types d'amplificateurs est le même, il n'y a que la réalisation qui diffère.

Dans le cas de la haute fréquence, le montage (fig. 7)

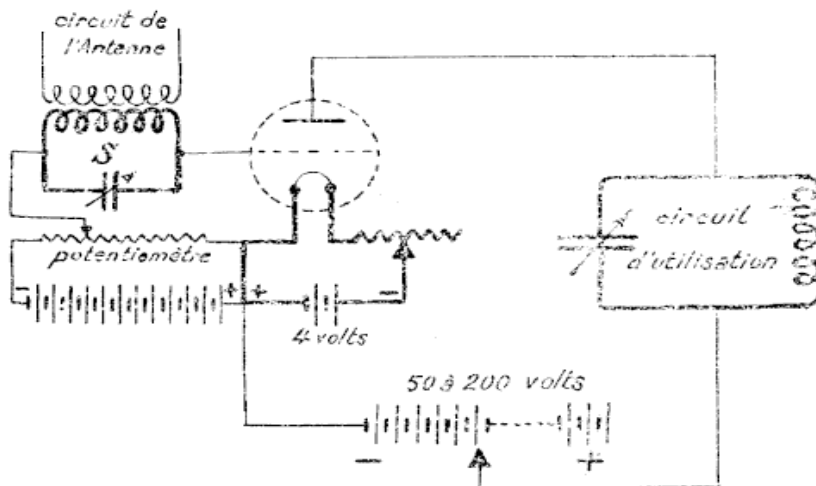


Fig. 7.

Tube à vide fonctionnant comme amplificateur.
(Montage pour la haute fréquence)

On peut amplifier successivement les oscillations dans plusieurs tubes. Le montage est facile à réaliser, il suffit de faire agir le circuit d'utilisation de la fig. 6 sur le circuit filament-grille d'un second tube amplificateur et ainsi de suite.

On fait agir le circuit oscillant d'utilisation du dernier tube sur un détecteur qui peut d'ailleurs être un tube à 3 électrodes fonctionnant comme détecteur. Les divers montages comportant plusieurs amplifications successives suivies de redressement sont faciles à combiner.

ressemble à celui du détecteur, les oscillations reçues dans l'antenne agissent sur le secondaire monté comme précédemment; mais la tension auxiliaire appliquée à la plaque diffère. D'autre part un circuit oscillant accordé pour la fréquence des oscillations remplace le téléphone dans le circuit filament-plaque.

On doit de préférence amplifier d'abord et redresser ensuite, car les détecteurs redresseurs sont, dans certaines limites d'autant plus sensibles que les oscillations ont des amplitudes plus grandes. Pour des oscillations d'amplitudes très petites l'effet de redressement disparaît. De plus dans l'amplification à haute fréquence on bénéficie des avantages sélectifs des circuits résonants. En basse fréquence aucun accord de ce genre n'est possible.

Dans certains cas cependant, on amplifie les courants de basse fréquence qui normalement traverseraient le téléphone. Avant la découverte des tubes à vide on ne connaissait aucun relais capable d'amplifier des courants de haute fréquence. On n'avait donc d'autre ressource que celle d'amplifier la basse fréquence. Un certain nombre de relais à basse fréquence avaient été employés. Le principe consistait généralement à faire agir la membrane du téléphone sur un contact microphonique. De bons résultats furent ainsi obtenus mais les appareils de ce genre demandent un réglage mécanique extrêmement délicat, c'est pourquoi on leur préfère aujourd'hui les tubes à vide. En basse fréquence, les circuits oscillants accordés disparaissent et sont remplacés par des transformateurs téléphoniques ordinaires avec fer. Leur rapport de transformation doit être adapté au type de tube.

La figure 8 représente le schéma de l'amplificateur

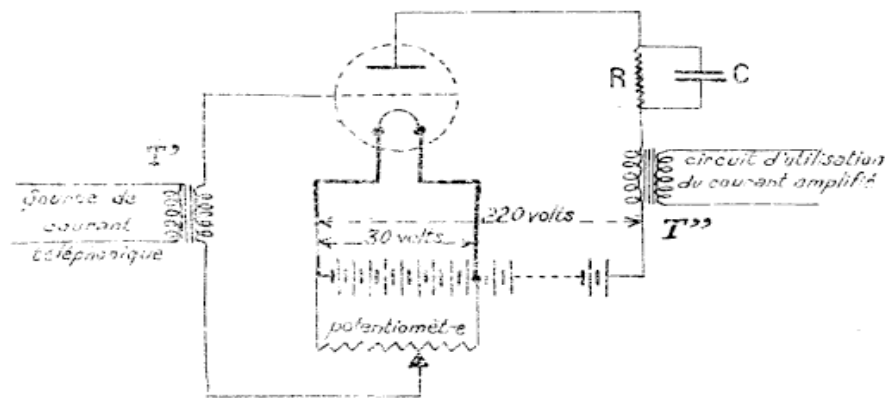


Fig 8

Amplificateur téléphonique de Lieben-Reisz

Lieben-Reisz. La résistance R montée dans le circuit filament-plaque a pour but de diminuer l'intensité du courant permanent qui traverse ce circuit; le courant variable superposé au courant fixe traverse le condensateur C qui shunte la résistance R . T' et T'' sont deux transformateurs téléphoniques.

Le montage de la fig. 9 est une simplification de l'installation

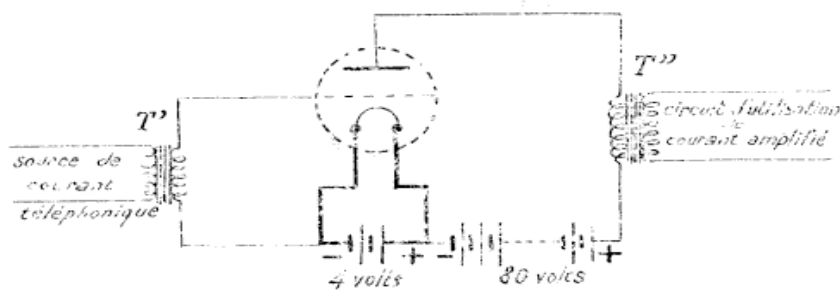


Fig. 9

Amplificateur téléphonique

précédente, en a supprimé le potentiomètre, et le potentiel auxiliaire mis sur la grille est celui du pôle négatif de la batterie de chauffage.

On peut constituer des amplificateurs télépho-

niques à plusieurs étages en montant en série plusieurs tubes à vide. La figure 10 représente 3 tubes du type précédent, montés en série.

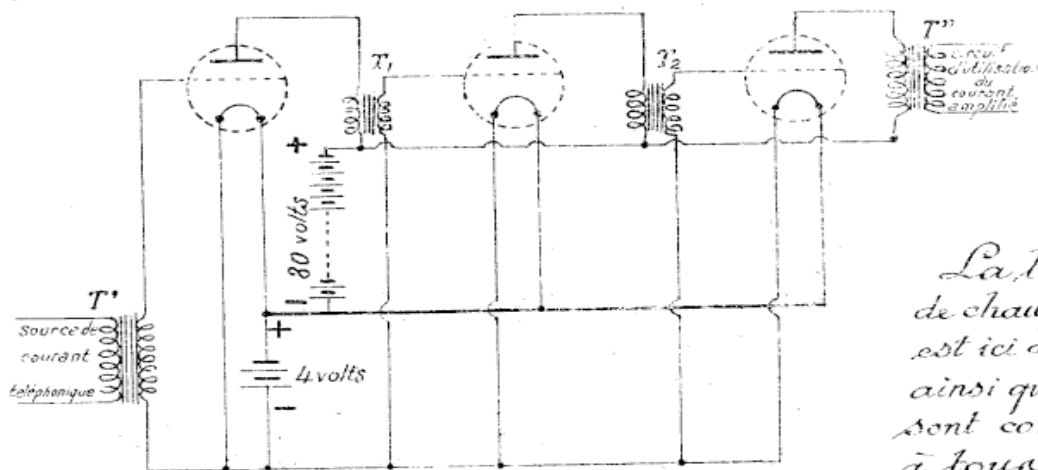


Fig. 10

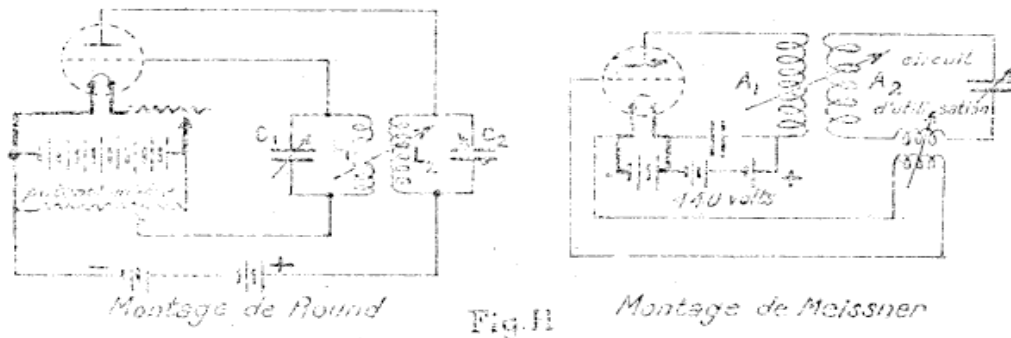
Amplificateur téléphonique à 3 étages

La batterie de chauffage qui est ici de 4 volts ainsi que la pile sont communes à tous les tubes.

Utilisation d'un tube à vide à trois électrodes comme générateur d'oscillations entretenues. — Les tubes à vide à trois électrodes permettent de réaliser très simplement des générateurs d'oscillations entretenues de faible puissance.

Supposons tout d'abord qu'on utilise un montage dans lequel deux circuits oscillants accordés et accouplés sont montés l'un dans le circuit filament-plaque, l'autre dans le circuit filament-grille (fig. 11, - montage de Round).

Il est facile de montrer que lorsque des oscillations sont amorcées dans le circuit C.I. elles seront entretenues par le tube à vide.



Montage des Tubes à vides fonctionnant comme générateurs

Les oscillations du circuit $C_1 L_1$ en induisent d'autres dans le circuit $C_2 L_2$ qui est accouplé avec lui; une différence de potentiel alternative existe donc entre les bornes du condensateur C_2 , cette différence de potentiel s'ajoute à celle qui existe entre le filament et la grille. On s'arrange de façon que pour les alternances positives la grille soit positive par rapport au filament et que pour les alternances négatives elle soit négative par rapport au filament. Lorsque la grille est positive elle ouvre le passage aux électrons lorsqu'elle est négative elle le ferme. Pendant les alternances pour lesquelles la grille est positive, le transport des électrons provoque dans le circuit filament-plaque extérieur le passage d'un courant dirigé du filament vers la plaque. Ce courant vient renforcer le courant qui traverse à ce moment L_2 et produit l'entretien des oscillations dans le circuit $L_2 C_2$. Les courants dans les spires des deux bobines d'un transformateur circulent toujours en sens opposés, par conséquent, d'après ce qui précède, si les connexions sont faites comme l'indique la figure, il faut que les enroulements de L_1 et L_2 tournent en sens inverse.

La fig. 11 représente un autre montage indiqué par Meissner; dans ce montage c'est le circuit d'utilisation qui réagit sur le circuit filament-grille. Le mode de fonctionnement est le même.

On obtient ainsi un générateur auto-excitateur dans lequel une petite fraction de l'énergie produite sert à exciter le système de la même façon que dans une dynamo-shunt, une petite partie de l'énergie délivrée produit l'excitation de la machine. Le fonctionnement en amplificateur est comparable à celui d'une machine à excitation séparée, tandis que le fonctionnement en générateur est comparable à celui d'une machine auto-excitatrice.

L'amorçage des oscillations se produit d'ordinaire à la fermeture du circuit filament-plaque, la rupture d'équilibre ainsi produite engendre des oscillations amorties dans le circuit oscillant. Ces oscillations sont entretenues par le tube.

Dans les amplificateurs à basse fréquence les réactions entre circuits produisent quelquefois un amorçage et le système devient générateur de courants de fréquence musicale.

Il y a accouplement optimum des circuits qui donne un amorçage plus facile et un maximum d'énergie. La fréquence des oscillations produites est égale à la fréquence propre des circuits oscillants. On peut donc la faire varier facilement. Pour augmenter la puissance produite on monte un certain nombre de tubes en parallèle. On peut aussi se servir d'un tube qui fonctionne en générateur auto-excitateur et qui agit sur les circuits filament-grille d'un certain nombre de tubes montés en parallèle fonctionnant en amplificateurs; c'est à dire avec excitation séparée. Le premier tube joue le même rôle que l'excitatrice d'une machine.

On peut comparer dans ce qui précède le rôle de la grille à celui du balancier d'une horloge et le rôle de la pile montée dans le circuit filament-plaque à celui du poids. Le balancier d'une horloge déclanche à chaque oscillation l'action du poids pendant une demi-oscillation et l'arrête ensuite. Ces actions successives du poids entretiennent le mouvement. Ici c'est la grille qui ouvre et ferme le passage des électrons, déclanchant ainsi l'action de la pile. C'est l'énergie fournie par cette pile qui entretient les oscillations.

Il est également intéressant de rapprocher ce fonctionnement de générateur auto-excitateur du phénomène de Larsen. Ce phénomène consiste en la production d'un son musical dans l'écouteur d'un poste téléphonique ordinaire lorsque celui-ci est placé de façon à pouvoir réagir sur le microphone. Si on suppose le phénomène amorcé, le son produit par l'écouteur agit sur le microphone qui produit un courant de même fréquence, ce courant traversant l'écouteur pour aller sur la ligne, tend à y entretenir les vibrations. L'énergie est fournie par la pile microphonique du poste. Pour produire cette génération de courant musical il suffit de mettre l'écouteur d'un bon appareil en regard du microphone et de donner un choc mécanique initial au microphone pour amorcer les oscillations; le son produit dans l'écouteur par la manœuvre du crochet commutateur peut suffire.

Construction des tubes à vide. — Théoriquement, un tube à vide peut être employé, soit comme détecteur, soit comme amplificateur, soit comme générateur.

Naturellement, le rendement est amélioré, si on construit spécialement le tube en vue de son utilisation particulière.

Dans les tubes générateurs, on choisira des filaments à forte consommation, émettant beaucoup d'électrons; les filaments pourront même être imprégnés d'oxydes afin d'activer l'émission. La plaque sera portée à un haut potentiel.

Dans les tubes utilisés comme amplificateurs, la grille doit consommer peu; elle sera donc constituée par des barreaux très espacés. La caractéristique doit être, entre de larges limites, rectiligne et fortement inclinée.

Les tubes détecteurs doivent avoir des caractéristiques présentant des points détecteurs bien accusés. On les emploie d'ordinaire avec de faibles chauffages. On fait varier le chauffage du filament à l'aide d'un rhéostat.

Les filaments sont généralement métalliques, ils sont rectilignes, en V ou en boucle. Ils peuvent être, comme il vient d'être dit, imprégnés de corps augmentant le nombre des électrons émis par unité de temps. Lorsque le filament est rectiligne, la grille est ordinairement une hélice qui entoure ce filament rectiligne; la plaque est alors constituée par un cylindre enveloppant la grille.

Si le filament est une boucle située dans un plan, la grille est constituée par un enroulement en fil fin porté par un cadre isolant, et la plaque est constituée par deux plans réunis électriquement, placés parallèlement de part et d'autre de la grille. D'une façon générale, le vide des tubes est très poussé. Un vide extrêmement parfait permet d'obtenir des lampes bien semblables, robustes et d'un fonctionnement régulier.

Dans certains types, qui donnent d'ailleurs de bons résultats, les tubes contiennent des gaz spéciaux raréfiés. La vapeur de mercure a été souvent employée. Il arrive souvent que ces tubes produisent une lueur bleutée très apparente.

Détecteurs pour oscillations entretenues.

Nous avons déjà signalé qu'avec des oscillations entretenues produisant avec la plupart des détecteurs le même effet dans le téléphone qu'une transmission par courant continu. La lecture signale donc à peu près impossible.

Tikher. — Un moyen très simple qui permettrait d'obtenir une réception musicale consisterait à découper les oscillations entretenues reçues en trains successifs qui agiraient comme les trains d'oscillations séparés d'une transmission par étincelles. Il suffirait pour cela d'intercaler un petit interrupteur vibreur dans le circuit de réception. On pourrait plus simplement encore produire cette séparation en tronçons dans le circuit du téléphone. Cette façon de faire est vicieuse, puisqu'elle empêche de profiter d'une partie notable de l'énergie des oscillations reçues.

Poulsen a construit un appareil appelé Tikher, qui permet de se passer de détecteur et qui utilise mieux l'énergie reçue, que les dispositifs précédents.

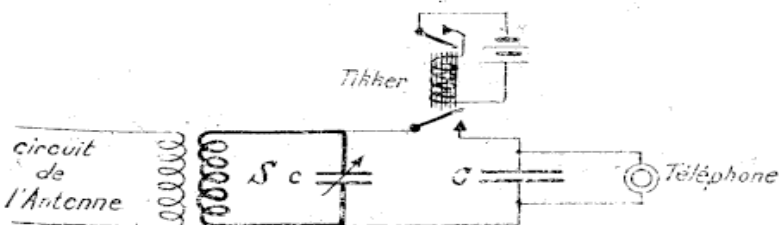


Fig.12. Réception avec Tikher

Le schéma du montage est représenté par la fig. 12.

Entre les bornes du condensateur du circuit secondaire de réception, est monté un condensateur C de capacité beaucoup plus grande que la

capacité du condensateur c du circuit secondaire. Ce condensateur est shunté par le téléphone. La communication entre c et C est coupée par un contact actionné par un petit vibreur fonctionnant à la façon d'une sonnerie trembleuse ordinaire, mais ayant une fréquence musicale assez élevée.

Supposons tout d'abord le contact ouvert, les oscillations produites par les ondes dans le circuit de l'antenne induisent des oscillations dans le secondaire qui est réglé à la résonance, ce circuit emmagasine donc l'énergie qu'il reçoit et les amplitudes de la tension oscillante produite entre les armatures de la capacité vont en augmentant. Au moment de la fermeture du contact la charge du condensateur c passe en grande partie sur C puisque sa capacité est beaucoup plus grande; le circuit secondaire ainsi constitué a une période beaucoup plus grande que celle des oscillations incidentes, il n'y a plus absorption d'énergie, et les condensateurs se déchargeraient dans le circuit et aussi dans le téléphone, si le contact n'était pas rompu avant que C ait perdu sa charge. Ce contact rompu C ne peut plus se décharger qu'à travers le téléphone qui rend un son à chaque interruption du Tikher.

Il importe de remarquer que le vibreur se ferme à des moments

où la charge de C peut avoir un sens et une valeur quelconque ; les décharges successives ne correspondent pas à des quantités égales et les sons varient. De sorte que bien que les décharges successives sont régulièrement espacées, le son musical produit n'est pas très pur.

Il ressort de l'explication précédente que le tikker peut servir à la réception des oscillations amorties. Il constitue dans ce cas un des détecteurs les plus sensibles connus actuellement, mais le son produit est très peu agréable.

Roue phonique. — M. R. Goldschmidt a imaginé, par la réception des ondes entretenues produites avec son alternateur, un dispositif spécial qu'il a appelé "roue phonique".

Pour comprendre le principe de cet appareil, considérons deux demi-bagues isolées l'une de l'autre et portées par un arbre qui tourne. Une

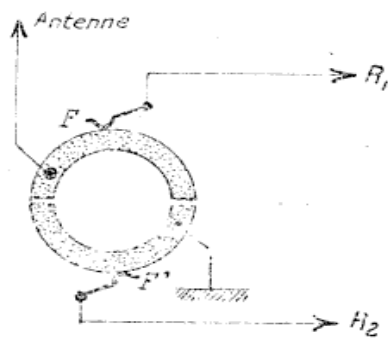


Fig. 13

de ces demi-bagues est reliée en permanence à l'antenne et l'autre en permanence à la terre. Deux frotteurs, appuyés en deux points diamétralement opposés et sont reliés à un circuit $R_1 R_2$ (fig. 13).

Si on imagine que le système fait exactement un tour par période des oscillations qui parcourent dans l'antenne et que le passage des frotteurs d'une demi-bague à l'autre se fait au moment où l'intensité des oscillations

est nulle ; on obtient le retournement des alternances comme le représente la figure 14. La courbe supérieure montre le courant dans l'antenne et la courbe inférieure le courant dans le circuit $R_1 R_2$.

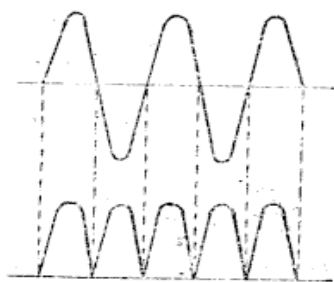


Fig. 14

Le fonctionnement de ce commutateur est entièrement analogue à celui du dispositif classique utilisé par Clarke dans la machine qui porte son nom.

Pour éviter des vitesses de rotation trop grande, le commutateur est constitué par des secteurs analogues aux lames du collecteur d'une dynamo et disposés sur la périphérie d'une roue d'assez grand diamètre, tournant très vite.

Si la roue était synchrone, comme nous venons de le supposer, la réception au téléphone serait impossible pour les raisons déjà indiquées.

Le synchronisme serait d'ailleurs difficilement obtenu.

M. Goldschmidt utilise un fonctionnement asynchrone dans lequel le retournement de l'intensité se fait avec une fréquence légèrement différente de la fréquence des oscillations. En opérant ce retournement à des intervalles légèrement plus grands que la période des oscillations, on obtient dans

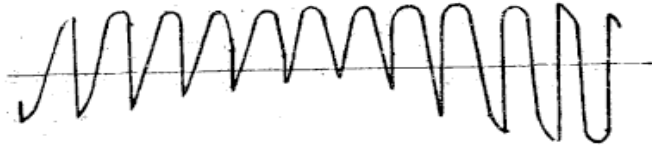


Fig. 15

le circuit RR' un courant dont la forme est représentée par la fig. 15. La courbe de la figure 15 est facile à obtenir graphiquement : ici on a supposé que le premier retournement a lieu au moment du

maximum d'amplitude ; ensuite, ce retournement s'opère en des points qui sont décalés régulièrement (dans le temps) le long de la sinusoïde qui représente l'intensité. La courbe obtenue est périodique et on peut donc s'arranger de façon que la période de cette courbe corresponde à une fréquence musicale, dans ces conditions l'examen de la courbe permet de se rendre compte que pour chaque alternance de cette basse fréquence, la somme des effets des oscillations retournées n'est pas nulle mais prend alternativement des valeurs positives et négatives.

Réception par la méthode des battements. — Une autre méthode, pour la réception des oscillations entretenues consiste à superposer aux oscillations reçues dans l'antenne des oscillations produites par une source locale. Ces oscillations s'ajoutent pour donner un courant périodique susceptible d'être utilisé pour la réception.

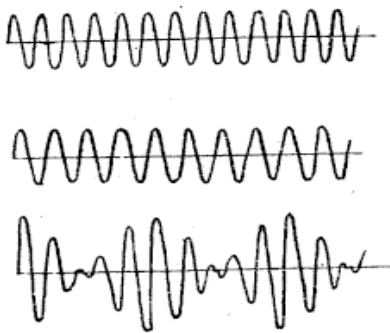


Fig. 16.

Si f_1 est la fréquence des oscillations recueillies par l'antenne, f_2 celle des oscillations locales agissant sur la réception, le courant résultant peut pratiquement être considéré comme constitué par des oscillations de fréquences $f_1 + f_2$ dont l'amplitude varie périodiquement suivant la fréquence $f_1 - f_2$.

La figure 16 représente des oscillations entretenues de deux fréquences et d'amplitude égale, et la courbe obtenue en

faisant la somme de ces deux oscillations. En certains points les amplitudes sont de même signe et s'ajoutent, en d'autres elles sont de signe contraire et se retranchent, c'est ce qui fait que la somme des deux oscillations a des amplitudes tantôt voisines ou égales au double de l'amplitude de chacune des courbes, tantôt voisines de zéro ou nulles, selon les cas.

La figure 17 représente des oscillations entretenues de même fréquence que les précédentes, mais dont les amplitudes diffèrent. L'oscillation résultante a bien encore la même fréquence que précédemment et ses amplitudes varient encore périodiquement, suivant la fréquence $f_1 - f_2$; mais la valeur de ces amplitudes oscille en valeur absolue entre la somme des valeurs des amplitudes des deux courbes et leur différence. Cela est évident puisque, à certains moments, les oscillations sont de même sens et ont exactement à peu près leurs valeurs maxima, tandis que pour d'autres les valeurs sont

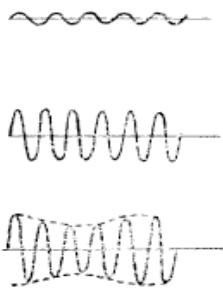


Fig. 17.

Signe contraire

Le courant redressé par le détecteur est périodique et a une fréquence $f_1 - f_2$.

Comme le récepteur n'est sensible qu'à la fréquence $f_1 - f_2$ et aux variations d'amplitudes des oscillations, on peut dire que l'amplitude efficace est égale au double de la plus petite amplitude. Il est donc inutile que les oscillations locales aient une amplitude plus grande que les oscillations reçues. Il serait préjudiciable que les oscillations locales soient trop faibles, tandis qu'il est indifférent qu'elles soient trop fortes; toutefois, ceci n'est vrai que dans certaines limites, car il y a des détecteurs qui demandent à ne pas être traversés par des oscillations trop intenses.

Ce phénomène d'interférence entre deux oscillations de fréquences différentes rappelle le phénomène des battements bien connu en acoustiques lorsqu'on produit simultanément deux ondes sonores de fréquences voisines, l'oreille perçoit des renforcements périodiques de l'amplitude du son. La fréquence de ces renforcements est égale à la différence des hauteurs de deux sons. Cette fréquence devient de plus en plus petite lorsqu'on s'approche de l'unisson: les accords justes utilisent cette propriété.

Puisqu'on est maître de la fréquence f_2 , on peut donner à $f_1 - f_2$ une fréquence correspondant à la hauteur du son que l'on désire entendre dans le téléphone.

Un des principaux avantages de ce mode de réception réside dans les effets sélectifs que l'on peut obtenir en réglant convenablement la fréquence de la source auxiliaire d'oscillations.

Si on reçoit simultanément des postes de deux fréquences voisines, on peut s'arranger pour que la fréquence $f_1 - f_2$ corresponde pour l'un à des sons inaudibles.

Exemple:

I. — Supposons deux transmissions, l'une d'une longueur d'onde de 600 mètres que l'on veut conserver et l'autre de 594 mètres différente de 1% seulement mais que l'on peut éliminer. Les fréquences correspondantes sont 500.000 et environ 505.000.

Si la source auxiliaire a une fréquence de 499.500, les batteries correspondants à la réception désirée ont une fréquence égale à $500.000 - 499.500 = 500$, et ceux correspondant au poste $505.000 - 499.500 = 5.500$.

Le son de hauteur 500 est agréable et facile à lire, l'autre correspond à la hauteur limite des sons musicaux et se distingue très facilement du précédent.

II. — Considérons maintenant le cas plus difficile de deux transmissions l'une qui a une longueur d'ondes de 3000 mètres et qui est à recevoir et l'autre de 3006 mètres et qu'il faut éliminer. Ces deux longueurs d'ondes diffèrent de 0,2% seulement. Les fréquences correspondantes sont 100.000 et 99.800. Si la fréquence des oscillations locales est 99.850, les signaux à recevoir corres-

pondent à un son de hauteur 250 et les signaux à éliminer à un son de hauteur 50. Les sons de cette dernière fréquence ne seront pas très gênants à moins que leur amplitude soit

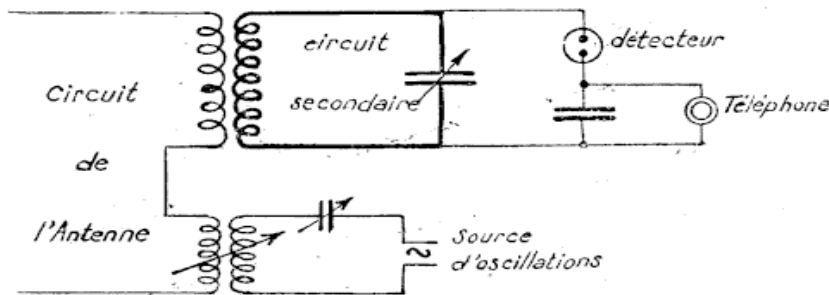


Fig. 18.

Réception par la Méthode des Battements.

très grande par rapport à celle du son de hauteur 250.

On fait agir la source locale, soit sur l'antenne, soit sur le secondaire de la réception. On peut utiliser ensuite une réception d'un type pelargonique (fig 18)

Les courants locaux peuvent être produits très facilement avec un tube à vide fonctionnant en générateur. Pour faire varier la fréquence des oscillations, on fait varier la capacité du circuit oscillant d'utilisation ; ce circuit agit sur l'antenne ou

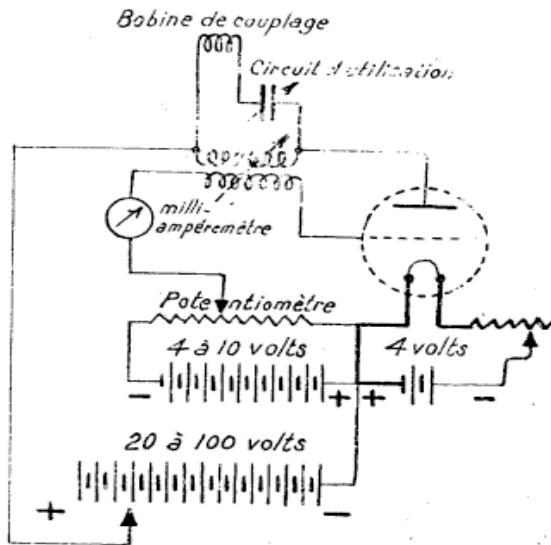


Fig. 19.

Tube à vide générateur pour Réception par la Methode des Battements .

sur le secondaire de la réception par l'intermédiaire d'une bobine de couplage. On fait varier l'amplitude des oscillations induites par cette bobine de couplage en faisant varier sa position par rapport au circuit sur lequel elle agit (fig. 19). Il est préférable de procéder ainsi plutôt que de changer les réglages du tube à vide.

Lorsqu'on règle la période du circuit oscillant, il faut faire varier la capacité très lentement, de façon à ce que les fréquences varient aussi très

lentement, autrement, on pourrait parcourir toute l'échelle des sons audibles dans l'intervalle de deux signaux et "manquer" une transmission.

On peut aussi recevoir les émissions musicales par la méthode des battements. Dans ce cas les émissions sont transformées en soufflements qui restent lisibles, la sensibilité est très grande.

On a proposé certains montages dans lesquels le même tube sert à la fois de détecteur et de générateur.

Les réceptions basées sur les principes précédents sont quelquefois appelées "hétérodynes".

Détecteurs de fortune. — En dehors des tubes à vide qui peuvent servir de détecteurs de tension et des petites lampes à incandescence à filaments extrêmement fins qui peuvent servir de détecteurs d'intensité, dans les cas où l'on dispose de beaucoup d'énergie ; il convient de citer quelques détecteurs faciles à improviser. L'un d'eux consiste à mettre en contact un morceau de papier buvard imprégné d'une solution saline quelconque avec une pointe

métallique fer ou cuivre par exemple. Ce détecteur peut fonctionner sans pile auxiliaire. Un autre plus simple consiste à appuyer le doigt sur une arête métallique. La pression doit être convenablement réglée.

Montages de réception.

1^o Montage direct. — Le montage le plus simple consisterait à employer un montage direct, c'est-à-dire à mettre le détecteur dans le circuit de l'antenne. Comme les détecteurs sont en général assez résistants leur introduction dans le circuit de l'antenne suffirait à rendre ce circuit apériodique. L'antenne serait alors excitée par les ondes de toute longueur et l'accord sur une transmission déterminée serait impossible.

2^o Montage indirect. — On a donc toujours à côté de l'antenne un circuit de réception accouplé avec cette antenne. Le circuit de l'antenne a une longueur d'onde propre qui peut être augmentée au moyen d'une self d'antenne réglable, ou diminuée à l'aide d'une capacité réglable; l'effet, sur une antenne de réception, d'une self ou d'une capacité, est le même que pour la transmission.

On ne doit jamais utiliser simultanément la self et le condensateur d'antenne puisque ces deux appareils ont des effets inverses lorsqu'on utilise un condensateur d'antenne, il est bon de le shunter par une forte self de façon à ce que ce condensateur ne puisse pas prendre sous l'influence de l'atmosphère, des charges statiques dangereuses; si la self qui shunte la capacité est assez forte, sa présence ne modifiera rien au point de vue des oscillations de haute fréquence.

Le circuit de l'antenne lorsqu'il est accordé sur la fréquence des ondes à recevoir est parcouru par des oscillations que l'on fait agir sur un secondaire. Si ce secondaire contient directement le détecteur il est très résistant et par suite apériodique; il ne demande aucun réglage. Ce mode de montage est très commode pour la recherche des transmissions parce qu'alors on n'a qu'à faire varier la période du circuit de l'antenne.

Le secondaire apériodique est accouplé soit par induction, soit par dérivation avec le circuit de l'antenne (fig. 20).

Lorsqu'on veut éliminer facilement des transmissions parasites le circuit secondaire doit être périodique; on règle

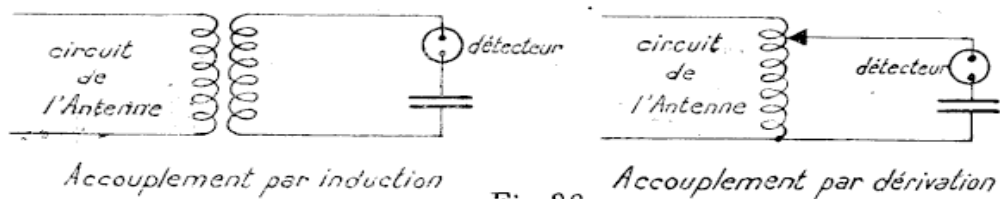


Fig. 20.

Montage avec circuit secondaire apériodique.

sa fréquence sur celle des oscillations produites dans l'antenne par les ondes. Il y a donc un double accord à obtenir ; celui du circuit de l'antenne sur les ondes et celui du secondaire sur les oscillations engendrées dans l'antenne.

L'accord de l'antenne se fait comme précédemment avec self ou capacité dans le cas du montage par dérivation ; la bobine de couplage peut en même temps servir de self. L'accouplement de ces deux

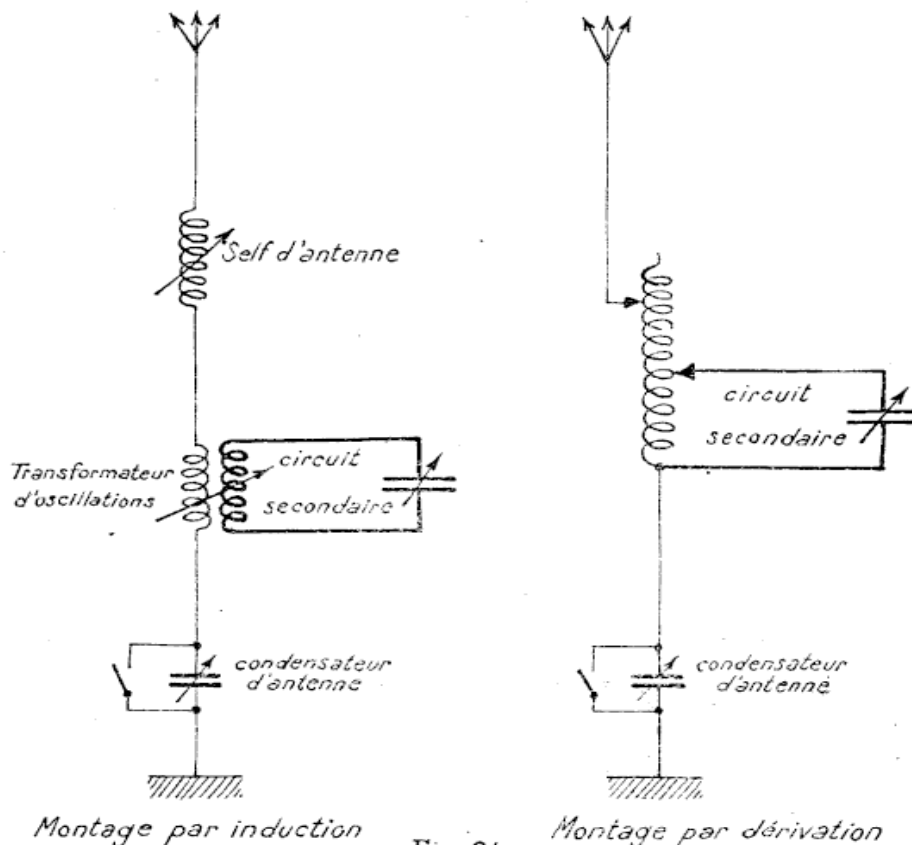


Fig. 21.

Accouplement du circuit de l'Antenne et du circuit secondaire

circuits peut se faire soit par induction, soit par dérivation (fig. 21). C'est le réglage de cet accouplement qui permet d'éliminer les réceptions parasites lorsqu'on rend l'accouplement de plus en plus lâche les transmissions qui ne sont pas exactement accordées disparaissent plus vite que celles qui le sont. On obtient ainsi des effets sélectifs au détriment naturellement de

L'intensité de la réception du poste désiré.

Lorsqu'on n'a pas de sélection à faire, en faisant varier l'accouplement on trouve en général un accouplement optimal qui procure une réception plus forte.

Lorsqu'il est nécessaire d'obtenir des effets sélectifs très mar-

qués on emploie un circuit oscillant accordé intermédiaire; les accouplements de ce circuit avec l'antenne et le circuit secondaire sont naturellement variables (fig. 22).

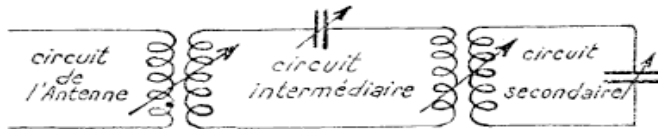


Fig. 22

Accouplement du circuit de l'Antenne et du circuit secondaire au moyen du circuit intermédiaire

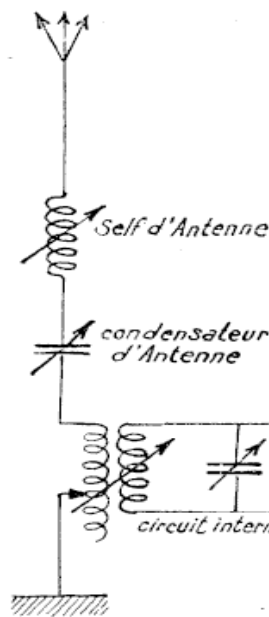


Fig. 23

Réception avec Syntonisateur Marconi

Le syntonisateur Marconi (fig. 23) est un récepteur avec circuit intermédiaire; ce circuit comprend en réalité deux circuits oscillants accouplés électriquement par l'intermédiaire du condensateur d'accord qui est commun à ces deux circuits. Cette réception dans laquelle tous les accouplements sont réglables permet des sélections très parfaites.

Lorsqu'en emploie un secondaire périodique, le circuit du détecteur peut être accouplé avec lui soit par induction (fig. 24), soit par dérivation (fig. 25) soit électriquement (fig. 26).

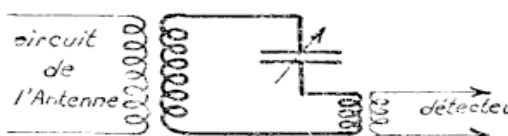


Fig. 24

Accouplement par induction

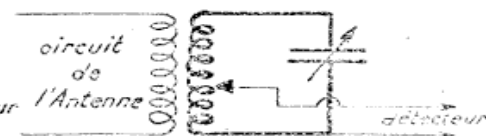


Fig. 25

Accouplement par dérivation

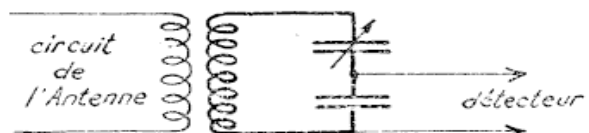


Fig. 26

Accouplement électrique

Le circuit secondaire doit être construit différemment suivant que le détecteur employé est à basse résistance (fig. 27) ou à forte résistance (fig. 28). Dans le premier cas, le détecteur peut être monté en dérivation sur une capacité relativement grande associée à une self relativement petite, dans le second cas, il faut une capacité très petite et une self très grande de sorte qu'une self supplémentaire autre que celle de la bobine de couplage doit être employée, les tensions développées dans le circuit oscillant sont grandes et l'isolement doit être soigné.

Le téléphone est généralement monté en dérivation sur une

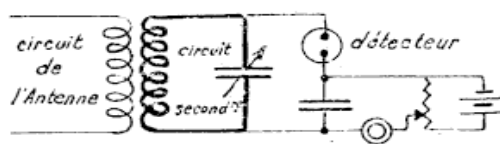


Fig. 27

Circuit de Réception avec détecteur de
Basse résistance

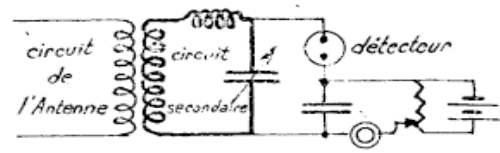


Fig. 28

Circuit de Réception avec détecteur de
Haute résistance

capacité assez grande mise en série avec le détecteur (fig. 27 et 28). Ce condensateur est souvent désigné sous le nom de condensateur d'arrêt parce que c'est lui qui arrête le courant de la pile auxiliaire et l'oblige à traverser le détecteur. Ce condensateur ménage aussi un passage aux oscillations redressées qui éprouveraient une forte résistance de la part du téléphone dont la self est grande; mais alors les oscillations redressées de chaque train d'ondes tendent à faire varier la charge du condensateur. L'équilibre se rétablit à travers le téléphone et c'est ce courant qui sert à rétablir les conditions initiales qu'on entend dans le téléphone. Le condensateur d'arrêt a moins d'utilité dans le cas des détecteurs à très forte résistance et on le supprime dans certains cas.

Ecole Supérieure des Postes et Télégraphes.

Cours de T.S.F.
à l'usage du Personnel.

11^{ème} Leçon.

Les Mesures Radiotélégraphiques.

Sommaire.

Utilité des mesures. — Généralités sur les Mesures Radiotélégraphiques.

Mesure des Intensités et des Différences de Potentiels.

Basse fréquence (Haute et basse tension)

Haute fréquence (Transmission et Réception).

Réception: { Thermomètre de Riess
Thermiques ordinaires.
Bolomètres
Instruments thermo-électriques
Voltmètre électrostatique.

Mesure des fréquences et des Longueurs d'ondes. — Ondemètres.

Circuit de mesure { A. Le circuit de mesure est induit (circuit inducteur).
B. Le circuit de mesure est inducteur.

Différentes mesures possibles avec l'ondemètre:

- 1°) Longueur d'onde de l'émission.
- 2°) Longueur d'onde propre d'un circuit de transmission.
- 3°) Longueur propre d'une antenne.
- 4°) Longueur d'onde propre d'un circuit de réception.
- 5°) Longueur d'onde de signaux reçus par une station.
- 6°) Réglage de la réception d'une station en attente sur des signaux de longueur d'onde déterminées.
- 7°) Mesure des selfs et des capacités. (Transmission et réception).

Courbes des résonances. — Amortissement. —

Tracé — Examen

Oscillographes à effluves.

En radiotélégraphie, de même que dans toutes les autres branches de la technique, il est du plus haut intérêt de pouvoir mesurer exactement toutes les quantités définies, afin de pouvoir en chiffrer la grandeur.

Certaines mesures présentent une réelle difficulté et ne peuvent être effectuées qu'à l'aide d'appareils spéciaux d'un maniement difficile, d'autres, au contraire, sont plus faciles et peuvent être faites à l'aide d'appareils courants que l'on trouve d'ordinaire dans chaque station. Le praticien doit se familiariser avec ces dernières.

Généralités. — En règle générale, toute méthode de mesure qui ne place pas l'appareil mesuré dans ses conditions pratiques de fonctionnement doit être rejetée.

Par exemple :

Une self d'accord de circuit primaire de transmission qui normalement est parcourue par un courant alternatif de 50 ampères et de fréquence 1000 ne saurait être mesurée en courant continu ou même avec un courant alternatif de fréquence 50 par exemple et d'une intensité de 20 ampères.

Une self destinée à un circuit de réception au contraire doit être mesurée en haute fréquence et même si c'est possible à la fréquence à laquelle elle doit être utilisée ; l'intensité du courant de mesure sera très faible.

Un condensateur de transmission peut être considéré comme appartenant soit au circuit de charge, c'est-à-dire au circuit de basse fréquence et haute tension, soit comme appartenant au circuit oscillant ou circuit de haute fréquence. Il doit donc être mesuré à la fois en basse et en haute fréquence.

D'une façon générale, on peut distinguer entre les mesures en basse fréquence et en haute fréquence.

Les mesures en basse fréquence (y compris le cas du courant continu) peuvent se rapporter soit à des circuits à basse tension, soit à des circuits de haute tension.

Les mesures en haute fréquence se rapportent à la transmission ou à la réception. Dans le premier cas, les énergies et les tensions sont grandes ; dans le second, elles sont infiniment petites.

En ce qui concerne les appareils de mesures, il est nécessaire d'être renseigné sur les grandeurs de leurs constantes électriques : résistance et self-induction. On peut en déduire la puissance qu'il faut leur fournir pour les faire fonctionner.

Mesure des intensités et des différences de potentiels.

La mesure des intensités et des différences de potentiels en courant continu n'offre pas de difficulté, elle se fait à l'aide des appareils connus : ampèremètres, milliampèremètres, micro-ampèremètres, galvanomètres, voltmètres, millivoltmètres, électromètres.

En basse fréquence, on ne rencontre pas de difficultés particulières; les ampèremètres et les voltmètres thermiques ou électrodynamiques du type industriel, peuvent généralement être employés pour des fréquences atteignant 1000 et même davantage.

Pour la haute tension, les ampèremètres ou voltmètres doivent être très bien isolés, ou mieux, être montés avec transformateurs de mesures. Les électromètres du type à quadrants ou à plateaux permettent de mesurer directement les très hautes différences de potentiel.

Il est quelquefois très intéressant de connaître, en outre la valeur maxima de différence potentiel. On dispose pour cela d'un moyen très simple:

On intercale entre les points considérés un éclateur dont les électrodes sont sphériques et ont un centimètre de rayon; on les rapproche progressivement jusqu'à ce qu'une étincelle jaillisse; on les écarte ensuite lentement jusqu'à ce que l'étincelle ne passe plus; on mesure la distance entre les électrodes et on connaît par un tableau analogue que celui qui a été donné dans la 3.^e leçon, page 9, mais plus complet, la différence de potentiels maxima entre les points considérés.

Dans le cas de la haute fréquence, des difficultés spéciales se présentent en raison de l'exagération des phénomènes d'induction produits par les courants de haute fréquence. C'est ainsi que les appareils ne doivent plus contenir de fer, ni de masses métalliques dans lesquelles les courants à mesurer pourraient induire des courants de Foucault.

L'appareil doit être compris de telle façon, que le circuit d'énergie ne puisse induire aucun courant dans le circuit de mesure; en particulier dans le circuit constitué par le shunt et le fil de mesure. Les transformateurs de mesure devront être sans fer.

Une autre source de difficulté vient de la localisation des courants de haute fréquence au voisinage de la périphérie des conducteurs. Dans ces conditions, dès que le diamètre d'un conducteur est un peu élevé, les oscillations ne peuvent plus profiter de toute sa section et éprouvent de ce fait une résistance plus grande qu'un courant continu ou un courant de basse

fréquence. La chaleur dégagée dans un fil de gros diamètre par un courant alternatif de très haute fréquence est donc plus grande que celle que dégagerait un courant continu ou un courant de basse fréquence de même intensité efficace. Les mesures seraient donc faussées, puisqu'en général on apprécie l'intensité d'un courant par la température à laquelle il porte un conducteur déterminé.

Si l'on a soin de se servir des fils de mesure suffisamment fins, dont le diamètre est inférieur à $0,2 \text{ mm}$, les oscillations pénètrent jusqu'au centre de la section et la chaleur dégagée par un courant d'une intensité donnée est pratiquement la même quelle que soit la fréquence. L'intensité du courant continu qui porte le fil à la même température que les oscillations à mesurer est l'intensité efficace des oscillations.

Le fil de mesure étant très fin, ne peut pas supporter une forte intensité; il faut recourir à plusieurs fils identiques montés en parallèle et symétriquement.

L'énergie des oscillations reçues par une antenne étant toujours très faible, la difficulté des mesures relatives à la réception est assez grande.

Toutes les méthodes de mesure des faibles courants de haute fréquence reposent sur la mesure de la quantité de chaleur dégagée par seconde dans un fil de mesure ou sur l'observation de la température de régime que prend ce fil. Le fil de mesure doit être relativement fin pour qu'il puisse atteindre rapidement cette température de régime. Pour la rendre la plus élevée possible, il faut diminuer les pertes de chaleur du fil, en l'enfermant dans une ampoule vidée d'air, on évite ainsi les pertes par échauffement de l'air.

Thermomètre électrique de Riess. — Dans le thermomètre électrique de Riess, un fil traversé par les courants de mesure est enfermé dans le réservoir d'un thermomètre à air; l'échauffement de l'air produit une dilatation et on mesure l'augmentation de la pression dans le réservoir du thermomètre par la différence de niveau qui s'établit entre les surfaces libres d'un liquide contenu dans un tube en U (fig. 1).

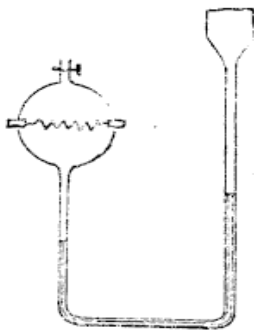


Fig. 1

Thermomètres ordinaires. — On peut utiliser la dilatation sous l'action de la chaleur pour mesurer

une élévation de température du fil de mesure. Cette dilatation étant toujours très petite au lieu d'essayer de la mesurer directement, il est préférable de tirer le fil en son milieu M par un ressort attaché à un fil et d'apprécier le déplacement MM' du milieu du fil (fig. 2). MM' est beaucoup plus grand que l'allongement du fil. On peut appliquer une seconde fois cette méthode d'amplification au fil MF tendu entre le milieu M du fil de mesure et un point fixe F , le déplacement de N est aussi très grand par rapport à celui de M . Le fil NP agit directement sur une aiguille indicatrice mobile autour d'un point O et rappelée par un ressort à sa position de repos.

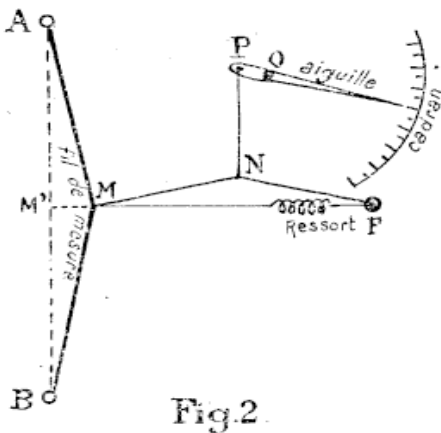


Fig. 2.

Les appareils basés sur ce principe ne permettent pas de mesurer des oscillations d'intensité faibles.

Bolomètres. — On peut apprécier la variation de température du fil par sa variation de résistance. La résistance d'un conducteur varie généralement avec la température; pour les métaux il est bien connu que la résistance augmente; pour d'autres corps comme le charbon elle diminue. Les appareils utilisant ce principe s'appellent des bolomètres.

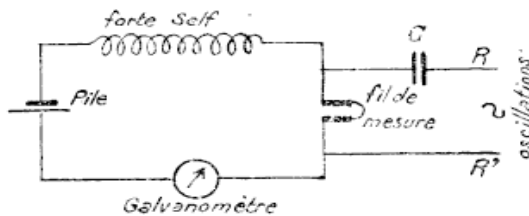


Fig. 3.

Un fil de mesure très fin est monté en série avec un galvanomètre et une forte self dans le circuit d'une pile (fig. 3). Les courants de haute fréquence venant d'un circuit RR' viennent se superposer au courant continu fixe qui traverse ce fil. Le passage des oscillations dégage de la chaleur et modifie la résistance du fil de mesure; la déviation du galvanomètre varie. L'intensité fixe doit être convenablement choisie si on veut une grande sensibilité.

La forte self empêche les oscillations de se dériver dans le circuit de la pile, tandis que le condensateur C empêche le courant de

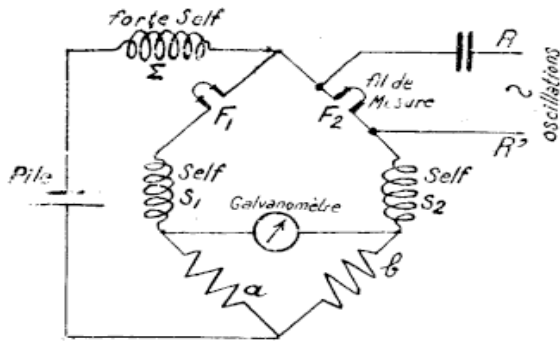


Fig. 4

un fil F_1 identique au fil actif de mesure F_2 dans la branche voisine du pont, on équilibre automatiquement les changements de résistance du fil de mesure dus aux variations de la température ambiante.

Instruments thermo-électriques. — Dans ces instruments on mesure le courant débité par un élément thermo-électrique chauffé par le fil de mesure.

Une chaîne métallique fermée, constituée par divers métaux à la même température n'est le siège d'aucun courant, il n'en est plus de même lorsque les diverses parties du circuit sont à des températures différentes et l'on donne le nom de courants thermo-électriques aux courants qui prennent naissance dans ce cas.

Les courants thermo-électriques sont mis en évidence par l'expérience classique de Seebeck; ils sont utilisés dans la pile thermo-électrique de Clamond.

L'ensemble de deux métaux soudés directement ou par l'intermédiaire d'un autre métal constitue donc une pile capable de transformer directement de la chaleur en courant électrique.

Pour mesurer la température d'un objet de petites dimensions, on emploie une pile thermo-électrique très petite appelée pince thermo-électrique.

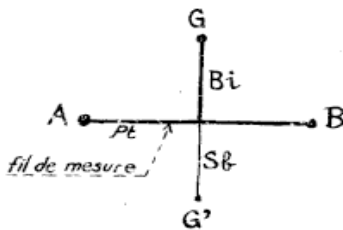


Fig. 5.

Dans les instruments thermo-électriques la pince est, soit en contact avec le fil de mesure échauffé par le courant à mesurer auquel elle est fixée, ou soit placée à une très petite distance.

Dans l'arrangement représenté schématiquement par la figure 5 le fil de mesure AB est en platine. Au milieu de ce fil est

soudée une pince constituée par le contact bismuth-antimoine. L'échauffement du fil AB produit une force électromotrice dans la pince qui débite dans un galvanomètre monté entre G et G'. C'est la déviation de ce galvanomètre qui permet d'apprécier la température du fil de mesure et par suite l'intensité des courants qui le traversent. Le système est d'ordinaire enfermé dans une ampoule vidée d'air.

Le thermo-galvanomètre Duddell (fig. 6) est constituée par un fil de mesure ou « heater » chauffé par le courant à mesurer; ce fil échauffe une pince thermo-électrique bismuth-antimoine (Bi-Sb) qui débite dans une boucle métallique C présentant une seule spire, mobile dans l'entrefer d'un fort aimant permanent. Cette boucle est fixée à un petit tube de verre très mince qui porte un miroir. Ce tube de verre est suspendu à l'extrémité d'un fil de quartz, dont la torsion fournit le couple antagoniste. Les heaters peuvent avoir des résistances variant d'une fraction d'ohms à plusieurs milliers d'ohms; ce qui fait que l'instrument peut servir à volonté de bon microampèremètre ou de voltmètre. Les heaters sont des fils droits d'environ un centimètre de longueur et ne présentant par suite aucune self-induction. La pince est placée environ à $1/10^e$ de millimètre au-dessus du « heater ».

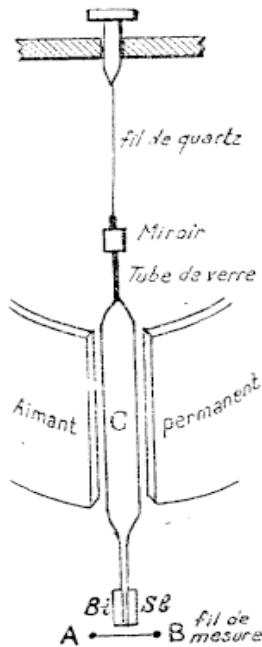


Fig. 6

Voltmètres électrostatiques. — Des électromètres dont le principe est le même que celui de l'électromètre à quadrants peuvent être employés pour la mesure des très petites différences de potentiel (à partir de quelques volts). L'aiguille est suspendue à un fil de torsion très fin et sa capacité électrostatique par rapport au système fixe est très faible.

Ces instruments peuvent permettre de mesurer de très faibles courants, on mesure pour cela les différences de potentiels qu'ils produisent entre les bornes d'une forte résistance qu'ils traversent.

Conclusion. — On ne peut utiliser, ni les électrodynamomètres ni le thermomètre de Riess, ni les thermiques ordinaires pour la mesure des oscillations de très faible intensité, il faut:

employer soit les bolomètres, soit les instruments thermo-électriques.

Le galvanomètre de Duddell est aussi sensible que les meilleurs bolomètres et son maniement quoique très délicat est plus simple. C'est donc l'appareil type pour les mesures à faire dans les circuits de réception.

Le voltmètre électrostatique peut trouver son emploi dans certains cas particuliers.

L'étalonnage de tous ces instruments se fait en courant continu. Ils peuvent servir de détecteurs quantitatifs, mais leur sensibilité est bien inférieure à celle des détecteurs qualitatifs.

Mesure des fréquences et des longueurs d'ondes.

La période T d'une oscillation est liée à la longueur de l'onde, à laquelle elle correspond par la formule :

$$\lambda = VT$$

indiquée dans la 7^e leçon (page 6).

La mesure d'une de ces deux grandeurs entraîne donc la connaissance de l'autre ; elle se fait à l'aide d'appareils appelés : ondemètres ou ondamètres, on encore contrôleurs d'ondes.

La partie active de l'ondemètre est constituée par un circuit oscillant dit circuit de mesure, dont la période propre est variable et connue. Ce circuit est constitué par une bobine de self peu résistante et un condensateur à air de capacité variable du type de ceux que l'on emploie dans les circuits de réception.

La période propre du circuit est donnée pour chaque valeur de la capacité C par la formule de Thomson : $T = 2\pi\sqrt{LC}$. Dans cette formule L représente la self fixe du circuit. La période T étant connue on peut en déduire la longueur d'onde des oscillations propres du circuit par la formule $\lambda = VT$. On gradue l'instrument de façon que l'index du condensateur indique directement la longueur d'onde des oscillations libres du circuit de mesure.

Pour augmenter l'étendue de longueurs d'ondes couvertes, on peut, dans certains instruments, utiliser à volonté, deux ou même trois selfs différentes. Dans ce cas, le condensateur porte une graduation correspondant à chacune des différentes selfs.

Dans certains modèles peu répandus d'ondemètres, c'est la self L qui est variable d'une façon continue et la capacité C qui varie par bonds.

Le circuit de mesure comprend en plus une bobine L_1 qui constitue une partie de la self L .

Le circuit de mesure est accouplé avec d'autres circuits et peut être selon le cas soit induit, soit inducteur.

A. — Le circuit de mesure est induit. — Dans ce cas le circuit avec lequel le circuit de mesure est accouplé induit des oscillations dans celui-ci. Le principe des mesures consiste à faire varier la fréquence propre du circuit de mesure et observer l'effet produit par le circuit inducteur dans ce circuit. Si l'accouplement est très lâche on observe l'effet maximum lorsque la fréquence propre du circuit de mesure est égale à celle des oscillations agissantes. (Résonance. 2^e leçon et 3^e leçon).

Si on est à même d'apprécier ce maximum, on lira directement la longueur d'onde qui correspond aux oscillations qui excitent le circuit de mesure.

Le maximum est d'autant plus net que l'accouplement entre les deux circuits est plus lâche et que la somme de l'amortissement du circuit de mesure et de l'amortissement des oscillations agissantes est plus petite.

Pour apprécier la valeur de l'énergie reçue dans le circuit de mesure, on peut monter un thermomètre de Riess ou un milliampermètre en série dans ce circuit, mais la résistance de ces appareils augmente l'amortissement du circuit de mesure ce qui est à éviter. On se contente donc en général d'un indicateur de maximum tel qu'un tube de Geissler monté en dérivation entre les bornes du condensateur. Il est mieux de monter l'indicateur dans un circuit spécial appelé circuit indicateur accouplé d'une manière très lâche avec le circuit de mesure. Dans ce cas, il est très simple de prendre comme

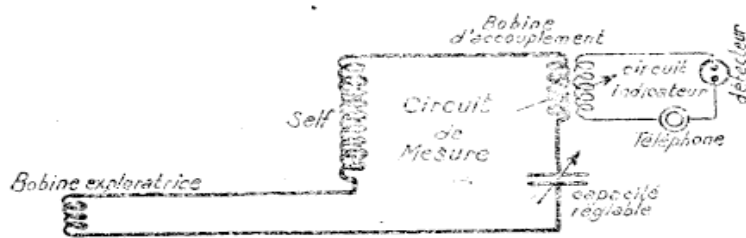


Fig. 7.

indicateur un détecteur monté en série dans le circuit indicateur qui devient ainsi apériodique. L'accouplement entre le circuit de mesure et le circuit indicateur doit être variable.

Le schéma est celui

de la figure 7.

Le mode opératoire est le suivant: on approche la bobine exploratrice du circuit inducteur parcouru par des oscillations, mais de façon que l'accouplement reste aussi lâche que possible et que

L'énergie prise par le circuit de mesure, soit juste suffisante pour permettre d'apprécier le maximum. On fait varier progressivement la capacité du condensateur réglable. On perçoit alors un son dans le téléphone pour toutes les capacités comprises entre deux limites. Si ces limites sont assez distantes, le son maximum est assez difficile à reconnaître. On diminue encore l'accouplement entre le circuit de mesure et le circuit inducteur; les limites entre lesquelles on perçoit un son se rapprochent et pour un éloignement convenable le son n'est plus perçu que pour une valeur bien déterminée de la capacité. La mesure est précisée.

Si on se sert d'un tube de Geissler, comme indicateur, on diminue l'accouplement jusqu'à ce que la lueur n'apparaisse plus que pour une valeur bien déterminée de la capacité. A ce moment, il y a résonance: la période propre du circuit de mesure est égale à celle des oscillations.

On lit directement la longueur d'onde des oscillations agissantes.

On peut mesurer par ce procédé:

1° La longueur d'onde de l'émission d'une station.

Il faut noter que si le circuit de l'antenne et le circuit oscillant sont accouplés d'une façon serrée, les deux circuits sont parcourus non plus par une onde unique mais par une onde complexe qui est la somme de deux ondes de longueurs différentes l'une plus grande et l'autre plus petite que la longueur d'onde propre commune aux deux circuits. On observe dans ce cas deux maxima, nous discuterons plus loin leur valeur.

2° La longueur d'onde propre d'un circuit de transmission.

On fait naître des oscillations libres dans ce circuit en y intercalant un éclateur et en chargeant la capacité. La longueur d'onde des oscillations produites pour la décharge de cette capacité est égale à la longueur d'onde propre du circuit considéré.

3° La longueur d'onde propre d'une antenne d'émission.

Si on peut exciter l'antenne en direct, elle vibre avec sa période propre et la longueur des ondes émises est égale à la longueur d'onde propre de l'antenne.

B. Le circuit de mesure est inducteur.

On produit dans le circuit de mesure des oscillations libres.

dont la longueur d'ondes est égale à la longueur d'onde propre de ce circuit et on fait agir ces oscillations sur un autre circuit oscillant à l'aide de la bobine exploratrice. On excite le circuit de mesure à l'aide d'un circuit comprenant une self, une forte capacité, une pile et un vibreur. On s'arrange pour que ce circuit soit très résistant et donne des oscillations très amorties capable d'exciter par choc le circuit de mesure.

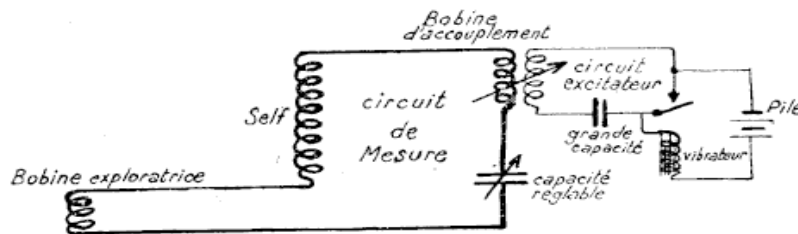


Fig. 8.

La figure 8 représente un des montages que l'on peut réaliser. C'est le même montage que celui de la figure 7, mais le détecteur et le téléphone sont remplacés par

une capacité, une pile et un vibreur.

Avec ce dispositif on peut effectuer les opérations suivantes:

1° Mesure de la longueur d'onde propre d'un circuit oscillant de réception.

On adjoint au circuit oscillant un détecteur et un téléphone montés dans un circuit aperiodique.

On fait agir la bobine exploratrice sur la self du circuit oscillant considéré, mais l'accouplement restant le plus lâche possible.

On fait varier la capacité du circuit de mesure jusqu'à ce que le son perçu dans le téléphone adjoint au circuit en essais, soit maximum. A ce moment l'énergie reçue dans ce circuit est maxima; il y a donc résonance entre le circuit de mesure et le circuit considéré. Les longueurs d'ondes propres de ces circuits sont égales: il n'y a plus qu'à lire l'indication de l'ondemètre.

2° Mesure de la longueur d'onde propre d'une antenne.

C'est un cas particulier de la mesure précédente, puisque l'antenne est un circuit oscillant. On monte dans cette antenne une ou plusieurs spires sur lesquelles on fera agir la bobine exploratrice. L'adjonction de ces quelques spires ne modifie pas pratiquement la longueur d'onde de l'antenne.

On accouple avec l'antenne un circuit de réception aperiodique. On modifie la longueur d'onde propre du circuit de mesure jusqu'à ce que le son perçu dans le téléphone de la

réception soit maximum. A ce moment, la longueur d'onde propre de l'antenne est égale à celle de circuit de mesure.

Il est bien entendu que l'on a pris soin d'éliminer au préalable la self et la capacité d'accord de l'antenne.

3° Mesure de la longueur d'onde de signaux reçus par une station.

On règle la réception le mieux possible sur les ondes à recevoir en agissant séparément sur l'antenne et le circuit secondaire.

L'accouplement de ces deux circuits doit être rendu aussi lâche que possible.

La réception terminée, on fait agir le circuit de mesure sur 2 ou 3 spires que l'on avait eu soin d'intercaler comme précédemment dans l'antenne et sans toucher aux réglages de réception, on modifie la longueur d'onde propre du circuit de mesure jusqu'à ce que le son perçu dans le téléphone de la réception soit maximum. A ce moment, la longueur d'onde propre du circuit de mesure est égale à celle des ondes précédemment reçues. C'est une sorte de méthode de double pesée dans laquelle le réglage de la réception joue le rôle de tare.

Dans le syntonisateur de Marconi, le condensateur du circuit intermédiaire est gradué de façon à permettre la lecture directe de la longueur des ondes que l'on reçoit.

4° Réglage d'une réception en attente de signaux de longueur d'onde déterminée.

Dans certains cas on peut avoir à régler sa réception en attente sur une longueur d'onde déterminée.

Pour cela on excite dans le circuit de mesure des oscillations de la longueur connue. On fait agir la bobine exploratrice sur quelques spires intercalées dans l'antenne. Il suffit alors de régler le circuit de l'antenne et les circuits de réception de façon à recevoir au mieux les oscillations induites dans l'antenne.

L'accouplement entre l'antenne et la réception doit être très faible pendant cette opération.

Autres usages possibles de l'ondemètre: Mesure des capacités des selfs.

1° Capacité et self de transmission.

2) Si on dispose d'une self connue, on monte la capacité inconnue en série avec cette self et un éclateur. On produit des oscillations libres dans le circuit ainsi constitué en l'excitant avec une

bobine d'induction. On mesure la longueur d'ondes des oscillations produites, on en déduit la période propre du circuit par la formule $\lambda = VT$ et de la formule de Thomson $T = 2\pi\sqrt{LC}$, on tire le produit LC dans lequel L est connu par hypothèse; on peut donc en déduire C .

b) Si on dispose d'une capacité connue, on peut inversement mesurer une self inconnue.

2° - Capacité et self de réception.

a) Capacité. - Supposons que l'on dispose d'un condensateur étalonné de capacité variable. On monte ce condensateur en série avec une self de façon à constituer un circuit oscillant auquel on adjoint un circuit de détecteur apériodique. On donne à la capacité connue une valeur assez grande et on règle le circuit de mesure de l'ondemètre, de façon qu'il agisse au maximum sur le circuit oscillant ainsi constitué.

On monte la capacité inconnue en parallèle sur le condensateur variable. Puis, laissant le réglage du circuit de mesure fixe, on diminue la capacité variable jusqu'à ce que l'accord du circuit oscillant sur les oscillations produites dans le circuit de mesure soit rétabli. La quantité dont il a fallu diminuer la capacité étalon représente la valeur de la capacité inconnue.

Si l'on ne dispose pas d'un condensateur variable, mais simplement d'une self fixe connue, on opère comme dans le cas des circuits de transmission. Généralement, quelques selfs destinées à des mesures de ce genre sont jointes aux ondemètres.

Si l'on ne dispose que d'une capacité connue, on opère comme dans le cas des circuits de transmission.

b) Self. - On opère comme pour les selfs de transmission, on fait toujours varier la longueur d'onde du circuit de mesure, mais ici, c'est lui qui est inducteur et on apprécie l'énergie maxima dans le circuit en essai à l'aide d'un détecteur et d'un téléphone ou par un des autres procédés cités plus haut.

Dans le cas où l'on est amené à monter deux selfs dans le même circuit oscillant, il faut avoir soin de les placer de façon à ce qu'elles ne réagissent pas l'une sur l'autre; c'est-à-dire ne présentent pas d'induction mutuelle, pour cela on doit les éloigner suffisamment, ou plus simplement les disposer en croix.

Différentes formes d'ondemètres. — Dans la plupart des ondemètres c'est la capacité qui est variable; dans quelques types seulement c'est la self qui est réglable.

L'appareil indicateur est le plus souvent un tube à vide au néon monté entre les bornes de la capacité; ou un détecteur monté dans un circuit indicateur apériodique.

Dans quelques modèles, on se sert d'un milliampèremètre ou d'un thermo-élément qui débite dans un galvanomètre à courant continu.

Dans le cymomètre de Fleming, on fait varier simultanément et dans le même sens la self et la capacité du circuit de mesure.

Courbes de résonance. — Amortissement.

Lorsque l'ondemètre au lieu d'être simplement pourvu d'un indicateur de maximum est muni d'un appareil de mesure il est très instructif de tracer dans le cas des oscillations servant à l'émission une courbe appelée courbe de résonance. Pour cela, on relève les indications de l'appareil de mesure pour les différentes valeurs de la capacité du circuit de mesure, et on trace une courbe, en portant en abscisse les capacités du circuit de mesure et en ordonnées les lectures correspondantes de l'appareil de mesure.

La courbe obtenue a l'allure de la courbe représentée par la figure 9; elle est symétrique par rapport à la droite CM. — OC représente la capacité qui correspond à l'accord entre le circuit de mesure et les oscillations étudiées. La courbe obtenue est d'autant plus pointue que l'accouplement entre les deux circuits est plus lâche et que la somme du décrement d'amortissement des oscillations et du décrement du circuit de mesure est plus petite. Le décrement de l'ondemètre est généralement très faible; on peut donc, en traçant la courbe de résonance, apprécier dans une certaine mesure, l'amortissement des oscillations agissantes.

De plus, l'examen de cette courbe peut conduire à d'autres conclusions.

1° Si elle est fortement dissymétrique,

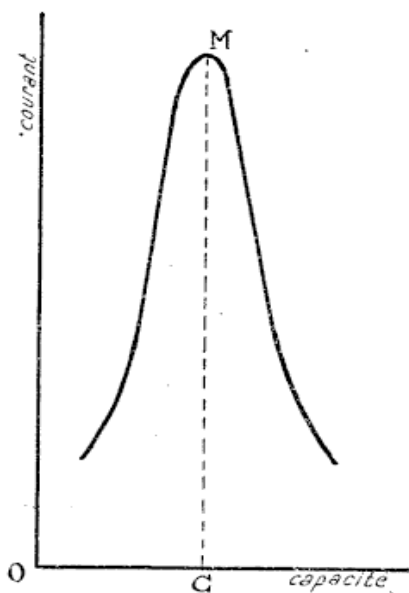


Fig. 9.

cela tient à ce que les condensateurs de transmission produisent de fortes effluves (fig. 10)

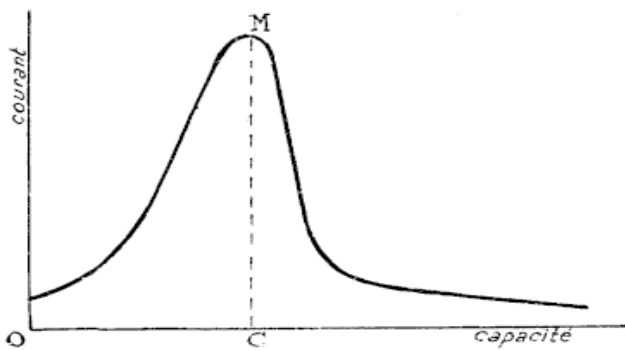


Fig. 10.

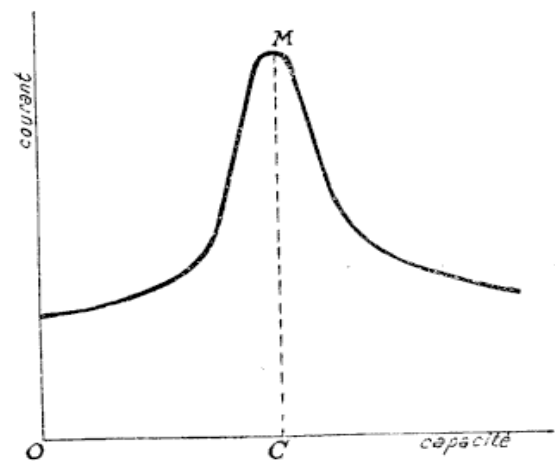


Fig. 11

2° Si le courant conserve une valeur assez grande pour un écart assez considérable par rapport à la capacité qui correspond à la résonance, c'est que les oscillations excitatrices agissent directement sur le circuit de mesure ou le circuit indicateur ou que l'accouplement entre le circuit de mesure et le circuit excitateur est trop fort. La courbe de résonance a l'allure de la courbe représentée par la figure 11.

3° Si la courbe présente deux pointes cela tient à ce qu'il se produit par suite de phénomènes d'accouplements entre le circuit excitateur et un autre circuit, celui de l'antenne par exemple, deux ondes dans le système.

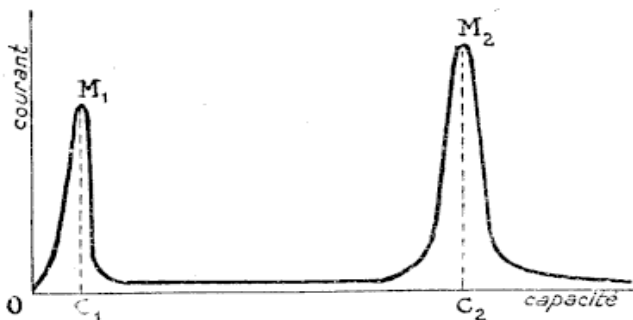


Fig. 12

Lorsque l'accouplement entre l'antenne et le circuit oscillant est très serré les deux ondes sont bien séparées, et la courbe a l'allure de la fig. 12.

On peut trouver dans ce cas exactement les deux longueurs d'onde.

Si l'accouplement est moins serré, les deux longueurs d'onde sont plus voisines, et la courbe trouvée peut être considérée comme correspondant à la somme des ordonnées de deux courbes de résonance séparées représentées en traits mixtes et correspondant à chacune

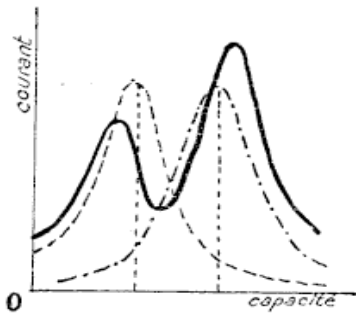


Fig. 13.

de ces ondes (fig. 13). Dans ce cas, les maxima sont déplacés et les longueurs d'ondes qui leur correspondent diffèrent un peu des deux longueurs d'ondes véritables des oscillations complexes.

La présence des deux pointes peut tenir aussi à la production d'étincelles ou d'aigrettes en un endroit quelconque du circuit de mesure. Ces étincelles ne se produisent que lorsqu'on approche de la résonance et à partir de ce moment, l'intensité est fortement diminuée par rapport à ce qu'elle serait sans l'apparition de ces étincelles (fig. 14). La courbe vraie de résonance est figurée en pointillé sur la fig. 14.

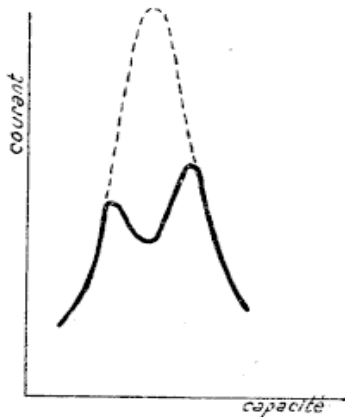


Fig. 14

Une excellente méthode pour mesurer directement l'amortissement des oscillations est offerte par l'emploi de l'oscillographe à effluves.

La partie active de l'appareil est constituée par un tube à vide dont la pression intérieure est d'environ 1 mm de mercure. Au milieu de ce tube, sont montées deux petites électrodes en aluminium très voisines et constituées par deux petits fils placés dans le prolongement l'un de l'autre. Si on réunit ces électrodes aux deux armatures du condensateur d'un courant oscillant, les longueurs des lueurs qui apparaissent à leurs extrémités sont proportionnelles à la différence de potentiel entre les armatures. On observe le tube à l'aide d'un miroir tournant très rapidement. On peut photographier les oscillations et obtenir ainsi des données très intéressantes sur l'amortissement.

Cours de T. S. F.
à l'usage du Personnel.

12^{ème} Leçon.

Les Stations Radiotélégraphiques.

Sommaire.

Généralités. — Emplacement. Longueur d'onde. Antenne et terre. — Nombre d'étincelles à la seconde. Sécurité du Personnel et du matériel. — Passage de transmission à réception : coupure. Recharges et secours. — Pylônes et haubans. Synthonie : Synthonie électrique et synthonie mécanique.

Radiotélégraphie Duplex...

Modos de Manipulations :

A. — Manipulations dans le circuit à basse tension :

1. Par coupure de la totalité du courant.
2. Manipulation avec résistance de compensation.
3. Manipulation avec résistance shunt.

B. — Manipulation dans le circuit à haute tension :

1. Par coupure du courant.
2. Ecartement des électrodes de l'éclateur.

C. — Manipulation dans l'antenne :

1. Coupure.
2. Désaccord.
3. Antenne compensatrice.

D. — Manipulation dans l'excitation des Machines
ou dans l'excitation de l'excitatrice.

Manipulateur.

Manipulateur ordinaire.

_____ avec coupure dans l'eau ou le pétrole
_____ avec coupure au moment où l'intensité est nulle.

Relais. — Interrupteur à jet de mercure du Colonel Ferrié. —
Transmetteur rapide.

Rendements des Communications radiotélégraphiques.

Perturbations naturelles. — Élimination des perturbations naturelles.

Caractéristiques des systèmes les plus répandus.

Transmission avec bobine d'induction.

_____ à étincelles rares.

_____ par courant alternatif avec éclateur synchrone.

_____ à étincelles musicales avec éclateurs fixes.

_____ avec excitation par choc

_____ à courant continu à haute tension.

Systèmes à ondes entretenues.

Généralités. — Une station est constituée par les installations nécessaires à la transmission et à la réception, y compris l'antenne.

Il n'y a pas de règle s'appliquant d'une façon absolue à l'établissement des stations radiotélégraphiques. Tout dépend du genre de service auquel la station est destinée; de la puissance et de beaucoup de conditions particulières. Il est nécessaire de donner quelques indications générales intéressant ce sujet.

Lorsqu'on a décidé d'établir une station, il faut choisir le terrain sur lequel elle sera édifiée. L'emplacement de la station doit être bien dégagé du côté du correspondant et ne doit être masqué par aucun obstacle; le sous-sol doit être humide et permettre d'établir une bonne terre à peu de frais. Il faut qu'on puisse trouver de l'eau propre à l'alimentation des machines et que l'on dispose des moyens de communications nécessaires au transport du charbon ou du combustible qui doit servir à alimenter les machines. Dans certains cas, on doit tenir compte de conditions locales, telles que le climat ou l'état sanitaire. Enfin, un poste doit être hors de portée du canon des navires et pouvoir communiquer facilement avec le réseau télégraphique général.

Ensuite, il faut déterminer la puissance du poste. Cette puissance dépend de la distance du poste correspondant, des perturbations naturelles ressenties sur le trajet considéré et enfin de la nature du service à assurer. Si le service doit être absolument régulier, il faut augmenter la puissance de façon à vaincre les parasites; dans ce cas en temps normal on travaille au-dessous de la puissance maxima.

Le choix des moteurs dépend de la puissance et des conditions spéciales dans lesquelles se trouve la région où le poste est établi. Si le charbon est abondant, les moteurs à vapeur sont les plus désignés; dans le cas contraire on prendra des moteurs à pétrole ou à huile lourde ou à essence. Dans les pays chauds, l'essence est inutilisable parce qu'elle s'évapore trop vite. Il faut encore tenir compte du genre de service de la station et de la rapidité de mise en marche exigée pour les machines.

En ce qui concerne la longueur d'onde, si elle n'est pas imposée par les règlements, on choisit une longueur d'onde d'autant plus grande que la distance à franchir est plus considérable et que les obstacles interposés sont plus élevés. Il faut remarquer que la puissance et la longueur d'onde augmentent toutes deux, en même temps que la capacité du circuit oscillant et que, par conséquent, l'emploi d'une longueur d'onde croissant avec la distance facilite le problème électrique d'établissement de la transmission. Les longueurs d'ondes employées sont 300 mètres et 600 mètres pour le service général. Pour les postes à très grande distance, les longueurs d'ondes sont comprises entre 5 et 15 kilomètres. Pour les postes moyens, on emploie toutes les longueurs intermédiaires. Dans le choix de la longueur d'onde, on doit tenir compte des longueurs d'ondes employées par les stations existantes qui seraient capables de troubler le service.

L'antenne doit avoir une longueur d'onde propre aussi voisine que possible de celle de l'émission. Cette condition ne saurait être remplie dans le cas des très grandes longueurs d'ondes qu'au prix de dépenses élevées doublées de grosses difficultés d'établissement; aussi y renonce-t-on. On adjoint à l'antenne une très forte self qui, dans certains cas, triple sa longueur d'onde propre.

La terre doit être d'autant plus étendue que l'antenne est plus développée. Fleming compare l'antenne et sa terre à un arbre pour lequel l'étendue du branchage est toujours proportionnée au développement des racines.

Lorsqu'il s'agit de postes à étincelles il faut déterminer le nombre des étincelles par seconde. Ce nombre doit autant que possible être compris entre 300 et 500. La réception est dans ce cas agréable et peu fatigante pour l'opérateur. Si les parasites sont nombreux et violents, il faut augmenter ce nombre jusqu'à 1000 et même le dépasser sans hésitation dans certains cas spéciaux. Il faut aussi tenir compte du nombre d'étincelles adopté dans les stations voisines existantes.

En ce qui concerne les bâtiments il faut s'inspirer des conditions locales et du climat; naturellement on doit isoler la salle d'opération du bruit produit par les machines et des

bruits extérieurs. En général, les appareils à haute tension sont réunis dans une salle spéciale.

Des précautions doivent être prises pour assurer la sécurité du personnel et du matériel. Elles varient avec les systèmes adoptés. D'une façon générale, on utilise des enclenchements électriques et mécaniques qui empêchent toute fausse manœuvre de devenir dangereuse.

Il faut qu'on puisse relier à volonté l'antenne soit aux circuits de transmission, soit aux circuits de réception.

On emploie dans ce but soit un commutateur à haute tension manœuvré à la main, ou pied ou commandé électriquement.

Un dispositif connu sous le nom de coupure est souvent employé dans les stations de faible et moyenne puissance (fig. 1).

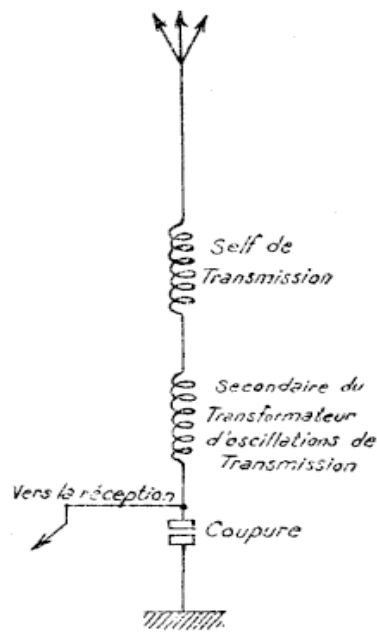


Fig. 1

L'antenne est reliée en permanence aux circuits d'émission et gagne la terre à travers une petite coupure de quelques dixièmes de millimètre. La coupure n'apporte aucune gêne pour la transmission, la tension développée produit facilement une petite étincelle qui la rend conductrice.

Les oscillations reçues du poste correspondant sont au contraire très faibles et ne peuvent pas franchir la coupure. Si donc on branche la réception avant la coupure, celle-ci sera toujours prête à recevoir, il suffit de la mettre hors circuit lorsqu'on transmet. L'usage de la coupure simplifie donc le passage de transmission à réception.

Une station doit comporter un poste de rechange complet lorsqu'elle assure un service très important, ou un simple poste de secours, moins puissant, ou d'un système plus rudimentaire, lorsqu'elle assure un service moins important.

Les supports d'antennes sont en nombre variable selon le type d'antenne choisi. Pour les antennes parapluie ou en double cône, un seul support suffit. Ces supports sont constitués par des pièces de bois assemblées lorsqu'ils sont peu élevés et par des pylônes en bois ou des pylônes métalliques lorsqu'ils sont plus élevés. Les pylônes métalliques sont soit des poutres de treillis, soit des pylônes tubulaires. Les pylônes sont soutenus par des haubans d'acier.

Pour éviter l'absorption des pylônes métalliques on les fait reposer sur des massifs isolants en marbre ou en verre ; ils se terminent généralement en pointe et reposent sur une rotule ; le mât peut ainsi s'incliner un peu sous l'effort du vent. Lorsque les pylônes sont très hauts ils sont coupés en plusieurs parties isolées électriquement les unes des autres ; chacune des parties reposant sur la précédente comme il vient d'être dit.

Les haubans doivent être coupés par des isolateurs.

La réception se fait actuellement au son. Dans le cas de transmissions à grande vitesse, on remplace la lecture au son par un enregistrement photographique ou un enregistrement phonographique sur cire.

Il faut établir les stations de façon à ce qu'elles se troublent le moins possible les unes les autres ; c'est à dire, qu'il faut disposer de systèmes tels qu'une station influence exclusivement la station correspondante : c'est le problème de la synthronie. On s'est attaché dès le début à la solution de ce problème. Cette solution est donnée par l'utilisation des effets sélectifs de la résonance. Pour que ces effets sélectifs soient bien marqués, nous savons qu'il faut transmettre avec des ondes aussi peu amorties que possible et recevoir dans des circuits aussi peu amortis que possible. L'excitation par choc a permis d'obtenir de très bons résultats avec les systèmes à étincelles ; l'emploi des ondes entretenues résout complètement le problème en ce qui touche à la transmission. M. Blondel a proposé dans le premier cas de compléter les résultats donnés par la résonance électrique en utilisant l'effet sélectif mécanique produit par un récepteur approprié du genre du monotéléphone de Mercadier employé en télégraphie multiplex. Les grandes stations travaillent en Duplex. Certaines possèdent des antennes dirigées Marconi. L'établissement des stations de petite et moyenne puissance ne présente pas de difficulté.

Radiotélégraphie Duplex. — Une communication radiotélégraphique Duplex est une communication qui permet l'échange simultané des télégrammes dans les deux sens.

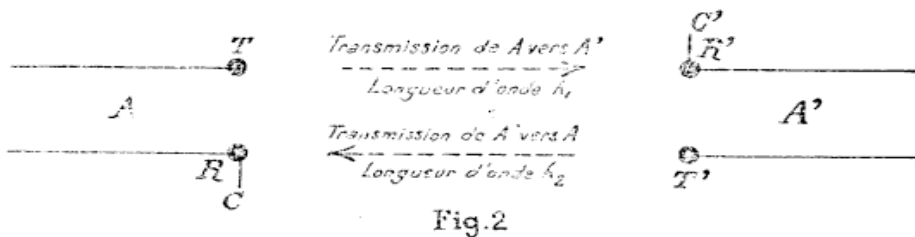
Deux systèmes différents ont été employés pour la réalisation des communications radiotélégraphiques.

Dans un premier système, on assure la réception dans l'intervalle de temps qui s'écoule entre les étincelles successives. Il suffit d'associer à un éclateur tournant un ou plusieurs commutateurs tournant synchroniquement avec lui. Ces commutateurs mettent la réception en service lorsqu'il ne se produit pas d'étincelles et la placent hors circuit au moment des décharges.

Dans un second système, une des stations est divisée en deux parties bien distinctes : le poste de transmission et le poste de réception. Ces deux postes sont installés à une vingtaine de kilomètres l'un de l'autre et reliés entre eux par des lignes télégraphiques directes.

Dans ces conditions, il faut prendre des dispositions pour que la réception d'une station ne soit pas troublée par sa propre transmission. On peut d'abord donner aux stations des longueurs d'ondes un peu différentes (de 10 à 25 pour cent, selon leur longueur et leur amortissement). On peut aussi diminuer les effets produits par la transmission, en installant au poste de réception une antenne compensatrice. L'antenne compensatrice est une très petite antenne, basse et orientée de façon à recevoir la transmission de la station elle-même. En raison de sa petite dimension et de son orientation, elle ne reçoit pas l'autre station. On la fait agir sur le circuit du détecteur mais en sens inverse de l'antenne principale, en réglant convenablement son action, on peut équilibrer complètement l'action produite par la transmission d'un poste sur sa propre réception.

La figure 2 représente schématiquement deux stations à



grande distance A et A' qui assurent un service duplex. En A, la transmission se fait en T et la réception

en R, et en A' la transmission se fait en T' et la réception en R' (T et R ainsi que T' et R' sont distants de 15 à 30 kilomètres, ou même davantage). Le trafic dans le sens A A' s'écoule entre T et R' avec une longueur d'onde λ_1 et le trafic dans le sens A' A s'écoule entre T' et R avec une longueur d'onde λ_2 . λ_1 et λ_2 diffèrent de 10 à 25 pour cent.

Les antennes principales sont des antennes dirigées horizontales. Les petites antennes compensatrices C et C' des postes de réception sont orientées, la première de façon à recevoir facilement T et difficilement T', la seconde de façon à recevoir facilement T' et au contraire difficilement T. Les dimensions réduites de ces antennes ne leur permettent d'ailleurs pas d'entendre T' pour la première et T pour la seconde.

La transmission de chaque station est commandée depuis le poste de réception par l'intermédiaire de lignes télégraphiques spéciales.

Les stations à grande distance sont d'ordinaire exploitées en duplex.

Les stations transatlantiques de la C^{ie} Marconi sont installées suivant le second système décrit

Modos de Manipulation. — La manipulation a pour but de produire à volonté des ondes ou des groupes de trains d'ondes se succédant d'après un code de signaux déterminé. Le procédé le plus simple, et aussi le plus employé, consiste à couper la totalité du courant dans circuit de charge (fig. 3). Dans le cas des transmissions par courant alternatif, on manipule ordinairement dans le circuit à basse tension.

Avec ce mode de manipulation, les machines passent brusquement du régime de pleine charge au régime à vide et inversement; si elles ne sont pas établies de façon à supporter ces brusques changements de régime, il faut les protéger contre ces variations.

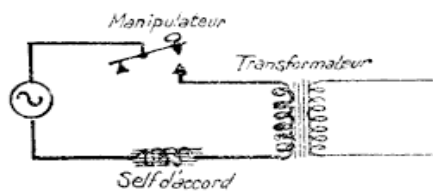


Fig. 3

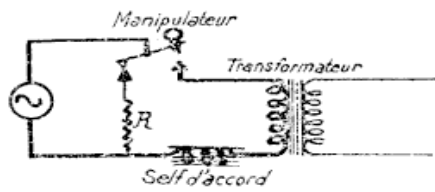


Fig. 4

Dans la manipulation avec résistance de compensation (fig. 4) lorsque le manipulateur est sur sa butée de repos, la génératrice débite dans une résistance de compensation R qui est réglée de façon à ce que le débit de la machine soit le même, lorsque le manipulateur est sur sa butée de repos, ou sur sa butée de travail. Cette disposition a été presque abandonnée parce qu'elle oblige à couper le courant sur les deux butées et parce que la génératrice est complètement isolée pendant la manipulation lorsqu'aucun des contacts ne touche sa butée.

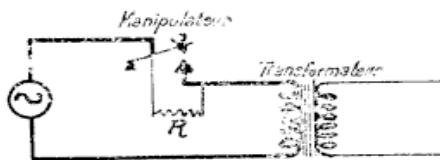


Fig. 5

Dans la manipulation avec résistance shunt (fig. 5), le manipulateur met en court-circuit une résistance R lorsqu'il est dans sa position de travail.

La résistance R est telle que, normalement, le courant débité par la génératrice est trop faible pour que des étincelles puissent se produire. Lorsqu'on met R en court-circuit, l'intensité augmente et devient suffisante pour que les étincelles jaillissent. La résistance R doit être suffisamment élevée pour que la différence de régime soit bien nette, et doit être en même temps assez petite pour que le débit de la machine varie peu d'un cas à l'autre. Une différence de un dixième, entre les deux intensités peut suffire.

On peut remplacer la résistance par une self dont l'addition détruit la résonance primaire.

Lorsque l'énergie est fournie par une batterie d'accumulateurs, ou un secteur important, il est inutile de rechercher aucune compensation.

Dans certains cas, on manipule directement dans le circuit de haute tension.

Très souvent, on manipule dans le circuit d'excitation de la génératrice; la manipulation se fait soit en coupant tout le courant d'excitation; soit en le diminuant avec une résistance shunt.

Quelques fois, on opère sur l'excitation de l'excitatrice.

Un autre procédé consiste à écarter l'une de l'autre les électrodes de l'éclateur de façon à provoquer ou à empêcher les étincelles.

Enfin, on peut manipuler dans l'antenne, soit en la coupant complètement en un point voisin de la terre, soit en la désaccordant en court-circuitant avec le manipulateur une partie de la self d'accord. Les spires court-circuitées constituent en même temps un véritable secondaire de transformateur en court circuit et absorbent une partie de l'énergie mise dans l'antenne. Dans ce cas, les signaux correspondent à des ondes de fortes amplitudes et les espacements ou "blancs" à des ondes de très faibles amplitudes, qui ne sont pas reçues à la station correspondante.

On peut également manipuler avec une antenne artificielle compensatrice; le montage étant analogue au montage d'une résistance compensatrice.

Manipulateurs. — Lorsque l'intensité à couper n'est pas trop forte, on se sert d'un manipulateur ordinaire mais avec contacts en argent assez large. Si l'on coupe du courant continu, on peut protéger le contact en le shuntant par un condensateur.

Dans le cas où l'intensité est plus forte, il faut produire la rupture dans une cuvette remplie d'eau ou de pétrole.

En cas de service chargé, il est bon de disposer de plusieurs manipulateurs et d'un commutateur qui permette de passer de l'un à l'autre lorsque les contacts sont usés.

On peut couper facilement avec des manipulations de ce genre une cinquantaine d'ampères.

On emploie parfois, lorsqu'il s'agit de couper un courant alternatif, le dispositif représenté par la fig. 6.

Lorsqu'on appuie sur le manipulateur, on ferme le circuit RR' entre les deux contacts C_1 et C_2 , le courant traverse l'électro E qui attire la lame de fer flexible OL . Lorsqu'on relève le manipulateur, le contact entre C_1 et C_2 n'est pas rompu instantanément, car la lame

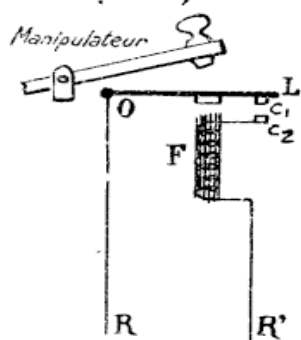


Fig. 6

reste attirée par l'électro- E jusqu'au moment où l'intensité du courant alternatif passe par la valeur zéro ; à ce moment ou plus exactement un peu avant, la lame OI_1 est abandonnée et le contact $C_1 C_2$ est rompu.

Lorsque les intensités à couper sont très fortes, on ne peut plus songer à utiliser une clé Morse manœuvrée à la main. Un petit manipulateur sert à commander électriquement un relais qui coupe le courant. On améliore la rupture en soufflant sur les contacts un jet d'air puissant ou par un soufflage magnétique. Ces relais peuvent présenter plusieurs coupures en série ; en particulier, lorsqu'il s'agit de couper directement la haute tension, il faut utiliser un très grand nombre de coupures en série. Le fonctionnement des relais doit être brusque ; leur réalisation peut présenter pour les fortes intensités une difficulté sérieuse.

Le Colonel Ferrié a établi un type de manipulateur dans lequel les interruptions de courant se font entre un jet de mercure et une surface de cuivre tournant dans du pétrole. Le jet est abaissé ou remonte en agissant sur le tube par lequel jaillit le mercure. L'appareil présente quelque analogie avec l'interrupteur à jet de mercure pour bobine d'induction.

Pour faire de la transmission rapide on commande le relais par un transmetteur à bande perforée, genre Wheelstone.

Dans certains systèmes, lorsque le manipulateur repose sur sa butée de repos, la réception est mise en service ; de sorte que l'opérateur peut, pendant qu'il transmet, être "coupé" par son correspondant comme dans l'exploitation avec fil.

Rendements des communications radiotélégraphiques.

Dans une communication radiotélégraphique, l'énergie fournie à la station de transmission sert finalement à produire des ondes sonores qui agissent sur le tympan de l'opérateur de la station de réception. Les nombreuses transformations subies par l'énergie entraînent des pertes importantes dont la grandeur dépend des systèmes employés.

Il est intéressant de résumer la succession de ces transformations et d'indiquer quelques valeurs approximatives de rendements.

L'énergie est empruntée à un réseau de distribution d'énergie lorsqu'il en existe, ou produite directement dans la station au moyen de machines à vapeur ou de moteurs.

Dans les systèmes à étincelles, cette énergie est transformée soit en courant continu à haute tension, soit en courant alternatif de fréquence appropriée. Ce courant charge le condensateur du circuit oscillant et la décharge de ce dernier produit des

oscillations amorties dans le circuit oscillant. L'énergie oscillante est ensuite transférée en partie à l'antenne par l'intermédiaire du transformateur d'oscillations.

Cette énergie est directement utilisable à la production des ondes. Le rendement de cette première suite de transformations est mesurée par le quotient de la puissance oscillante obtenue dans l'antenne par la puissance totale fournie au circuit de charge. La valeur de ce rendement ne dépasse pas 0,10 pour les transmissions les plus rudimentaires, elle atteint 0,20 ou 0,25 pour les transmissions ordinaires; et dans les meilleurs systèmes, elle peut atteindre 0,50 ou 0,75 dans le cas de l'excitation par choc.

Lorsqu'on produit des oscillations entretenues, on trouve dans les mêmes conditions, pour les systèmes à arc un rendement de 0,35 environ; pour l'alternateur d'Alexanderson à la fréquence 40.000 : 0,60; pour l'alternateur Goldschmidt à la fréquence 10.000 : 0,80.

Toute l'énergie fournie à l'antenne sous forme d'oscillations n'est pas transformée en énergie radiante et emportée par les ondes vers la station réceptrice; la moitié environ de cette énergie est transformée en chaleur dans les conducteurs de l'antenne où les masses conductrices voisines et dans la terre au voisinage de l'antenne.

Le rendement de l'antenne peut être défini comme le quotient de la puissance rayonnée par la puissance totale fournie à l'antenne il est d'environ 0,50.

L'énergie rayonnée se diffuse dans l'espace, symétriquement dans toutes les directions si l'antenne n'est pas dirigée et plus spécialement dans certaines directions privilégiées si cette antenne est dirigée. Pendant leur propagation les ondes cèdent une partie de leur énergie aux conducteurs rencontrés; une autre partie est absorbée par l'atmosphère de sorte que l'amplitude des ondes décroît rapidement avec la distance.

L'antenne de réception ne peut donc capter qu'une très faible partie de l'énergie rayonnée par l'antenne de transmission. De cette énergie une partie est dissipée dans la terre, dans les conducteurs de l'antenne et dans les masses métalliques voisines; une autre partie est rayonnée à nouveau par l'antenne qui agit comme source de rayonnement secondaire; enfin une partie est transférée au circuit de réception et agit sur le détecteur.

On appelle rendement de l'antenne de réception le rapport entre l'énergie cédée au détecteur et l'énergie totale reçue par l'antenne pendant le même temps. Ce rendement est toujours inférieur à 0,50.

Une partie de l'énergie fournie au détecteur est transformée en courants variables de basse fréquence utilisable par le téléphone; le rendement de cette opération est de l'ordre de 0,10 pour les bons détecteurs.

Les courants à basse fréquence, mettent en vibration la plaque du téléphone, celle-ci produit les ondes sonores qui agissent sur l'oreille de l'opérateur ; le rendement du téléphone est le rapport entre la puissance des ondes sonores produites et la puissance électrique fournie à l'appareil. Ce rendement est de l'ordre de 0,01.

Les ondes sonores produisent, sur l'oreille de l'opérateur des sensations dont la grandeur dépend non seulement de leur puissance mais encore de la hauteur du son et de l'acuité auditive de la personne.

Dans presque toutes les transformations précédentes on fait appel aux phénomènes de résonance. Or, on n'utilise ainsi dans le cas des oscillations complexes non sinusoïdales que l'énergie relative à la fréquence fondamentale. Les systèmes à ondes entretenues sinusoïdales sont donc supérieurs au point de vue du rendement aux systèmes à ondes amorties. Leur supériorité sur les meilleures émissions par choc n'est cependant pas très marquée.

Perturbations naturelles. — En radiotélégraphie, la réception des grandes stations est très gênée par des perturbations naturelles qui produisent de faux signaux dans les cas où la réception se fait par enregistrement photographique et des bruits dans le téléphone dans les cas où la réception a lieu au son.

Ces perturbations ont reçu différents noms : parasites, atmosphériques, statiques. Elles sont dues, soit à des causes locales, soit à des causes lointaines.

L'antenne agit comme une sorte d'immense paratonnerre et est par suite influencée par l'électricité atmosphérique du lieu, il en est particulièrement ainsi par un temps d'orage. Mais, même lorsqu'il n'y a aucun orage en Europe, ni dans les mers avoisinantes, on entend néanmoins presque constamment des parasites surtout si la réception est réglée sur une grande longueur d'ondes. Les parasites perçus dans ce cas sont donc distincts des phénomènes locaux et sont probablement dus à des décharges atmosphériques très lointaines, qui, produisent des ondes capables d'atteindre de très grandes distances.

Des observations très soignées faites en 1910 par M. M. H. Morris Airey et Eccles à Newcastle et Londres ont montré que 70 % des parasites entendus par ces deux stations pendant la durée de leurs observations étaient dus à des causes lointaines.

Les parasites peuvent être plus ou moins nombreux mais en fait, on constate très rarement leur absence complète.

Dans les zones tempérées, ils sont généralement plus violents en été qu'en hiver et plus nombreux pendant la nuit que le jour. On constate d'ordinaire deux maxima, l'un au moment

du lever, l'autre au moment du coucher du soleil.

Dans les pays tropicaux, les parasites apportent un gêne considérable au service.

Les parasites apportent une sérieuse limitation à l'emploi des amplificateurs à la réception. Si les signaux à recevoir sont normalement inaudibles et les parasites normaux après amplification les signaux deviennent lisibles, mais les parasites étant accrus dans la même proportion sont intolérables.

Élimination des parasites. — La réception au son permet à l'opérateur de distinguer les signaux des parasites surtout si la transmission est une transmission à étincelles musicales. Normalement, on utilise des fréquences d'étincelles comprises entre 300 et 500. Dans les contrées, où les parasites sont particulièrement nombreux on doit recourir à une fréquence d'étincelles beaucoup plus grande; il peut être nécessaire d'aller jusqu'à 1000 et même au-delà.

Le principe d'une des plus vieilles méthodes d'élimination des parasites consiste à accoupler deux réceptions semblables avec l'antenne: l'une est exactement accordée sur les ondes à recevoir et l'autre légèrement désaccordée. Dans ces conditions, les parasites produisent à peu près le même effet sur les deux détecteurs, tandis que les signaux produisent un effet beaucoup plus considérable sur le détecteur de la réception accordée que sur l'autre. On fait passer les courants redressés venant de deux détecteurs dans deux enroulements agissant en sens inverse sur la plaque d'un téléphone. Les parasites sont très amoindris et la réception peu diminuée.

Une autre méthode consiste à shunter la bobine d'accouplement de l'antenne par un détecteur peu sensible qui laisse passer les fortes décharges et n'arrête à peu près pas sur les signaux.

On s'est servi dans ce but d'un détecteur dû à Lodge et Muirhead. Il est constitué par un disque d'acier tournant de façon que le bord plonge légèrement dans du mercure recouvert d'une légère couche d'huile. Un très fort parasite détruit la résistance de la couche isolante et met momentanément l'antenne à la terre.

De bons résultats ont été également obtenus avec des détecteurs constitués par un contact Silicium-Arsenic, ou un contact entre du carborandum et d'autres cristaux.

Une des meilleures méthodes consiste à substituer au détecteur ordinaire de la réception, deux détecteurs D_1 et D_2 montés en parallèles mais orientés en sens inverse. On règle la sensibilité de ces détecteurs de façon que pour des oscillations très

sortes produites à l'aide du radiateur d'essai du poste on perçoit un son minimum. Dans ces conditions, les parasites violents n'agissent à peu près pas sur le téléphone mais en général l'un des détecteurs est plus sensible pour les signaux faibles et moyens que l'autre et c'est ce qui permet d'entendre les signaux.

W. K. s'est servi pour cela de deux détecteurs à cristaux et son montage est représenté schématiquement sur la figure 7.

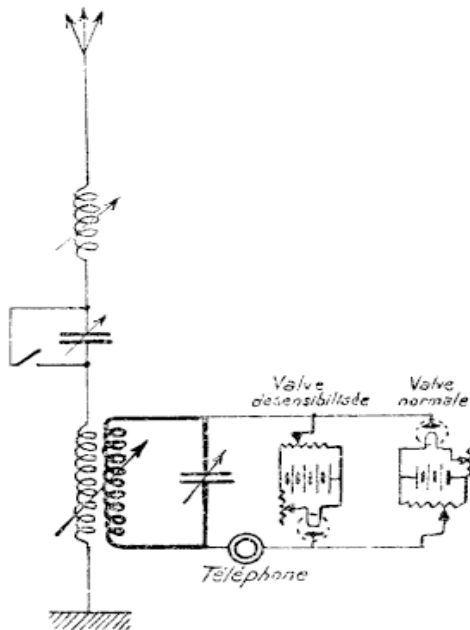


Fig. 8

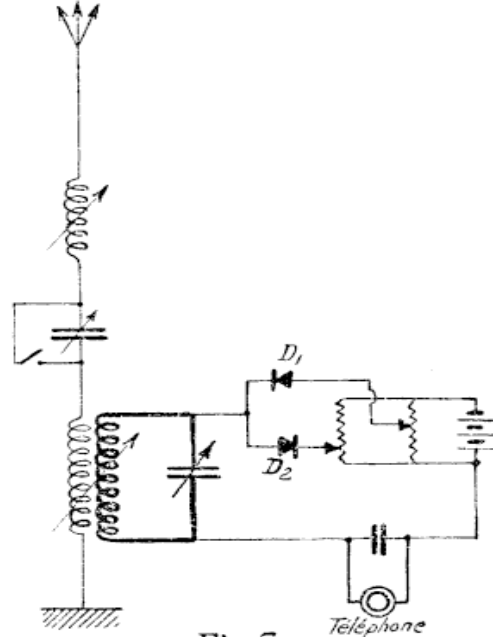


Fig. 7

Réception protégée contre les parasites.

H. S. Round utilise d'une façon assez semblable deux valves de Fleming montées en parallèles mais en sens inverse (fig. 8). L'une est réglée normalement, l'autre est très désensibilisée et est à peu près incapable de recevoir les signaux, mais est influencée par les parasites presque aussi bien que l'autre et annule leur action sur la valve bien réglée.

La méthode la plus radicale consiste à utiliser de fortes énergies de façon à ce que les signaux utiles correspondent à une énergie suffisante pour permettre un accouplement très lâche à la réception; dans ces conditions, l'action des parasites sur les détecteurs devient très faible. Les stations ainsi conduites ne travaillent à pleine puissance que lorsque les parasites sont très violents. Lorsqu'une station doit fournir un service à peu près continu on admet souvent qu'elle doit avoir une portée triple de la distance qui sépare les deux stations.

Dans tous les cas où on ne dispose d'aucun moyen d'élimination,

des perturbations naturelles, il faut désaccoupler, ce qui affaiblit généralement plus les parasites que les transmissions.

De nouvelles méthodes dues au docteur Papin dont la description n'est pas encore donnée apporteraient dit-on la solution de ce difficile problème.

Caractéristiques des systèmes les plus répandus.

Transmission avec bobine d'induction. — Les stations de petites puissances sont d'ordinaire munies d'une simple bobine d'induction avec interrupteur à marteau.

Le secondaire de cette bobine charge le condensateur du circuit oscillant. Quelquefois même, l'antenne est excitée directement.

Les petites côtières de la Cie Marconi et du Post-Office britannique sont équipées de cette façon.

Dans beaucoup de cas on installe une transmission de ce genre comme secours d'un poste de bord plus puissant.

La bobine est alimentée par une batterie d'accumulateurs ou de piles.

Transmissions à étincelles rares. — La transmission est alimentée soit par du courant continu interrompu, soit par du courant alternatif de basse fréquence.

Deux postes de ce genre sont installés à la station de la Tour Eiffel, l'un de 10 Kilowatts, l'autre de 60 Kilowatts. Le courant à 42 V est fourni par le Secteur de la Rive Gauche.

Le poste de 60 Kw a une portée limitée de 5000 km la nuit et 3000 km le jour, avec une longueur d'onde de 2.150 mètres. Il est reçu à Arlington — (6300 km) lorsqu'il n'y a pas de parasite.

Les stations côtières de l'Administration établies à Ouessant, Alger, Stes Maries sont également à étincelles rares leur rayon d'action est de 600 à 700 kilomètres.

Transmissions par courant alternatif avec éclateur synchrone. — Les stations Marconi de ce type sont munies d'un éclateur tournant et donnent une étincelle à l'alternance; la fréquence du courant d'alimentation est comprise entre 50 et 300.

La station de bord de 0,5 à 1 Kilowatt est alimentée par une commutatrice à axe vertical branchée sur la distribution du bord elle est réglée pour transmettre avec une longueur d'onde de 300 mètres ou 600 mètres.

La station de 5 à 10 Kilowatts peut travailler avec 300 et 600 mètres de longueur d'onde et des longueurs d'ondes comprises entre 600 et 1200 mètres. Dans ces stations on installe d'ordinaire une batterie d'accumulateurs dont la capacité est suffisante pour permettre un travail continu de 4 heures, c'est à dire d'assurer le service pendant 12^h environ environ.

Grandmission à étincelles musicales avec éclateurs fixes.

Nous citerons comme exemple de ce type de station deux postes établis à la Tour Eiffel.

Le premier de 22 Kilowatts, environ, est alimenté par un alternateur Bethenod à 600 At .

Le second de 130 Kilowatts, est alimenté par un alternateur Bethenod à 1000 At ; il donne environ 600 étincelles à la seconde.

Grandmission à étincelles musicales avec excitation par choc.

Ces postes sont généralement réglés de façon à donner une étincelle à l'alternance; le rendement est très bon et peut atteindre 50 ou 75 %.

Les systèmes Telefunken et C. G. R. répondent à ces caractéristiques.

Station Telefunken de 5 Kilowatts. — Alternateur de 5 kw; 500 At ; 1000 étincelles. La longueur d'onde peut varier de 300 à 2000 mètres.

Station de Sayville (Telefunken) 50 kw. environ. — Antenne parapluie à 12 brins supportée par un mât de 150 mètres. Cette station est pourvue de 2 alternateurs à 500 At l'un pour les communications à grande distance, l'autre pour les communications avec les bateaux.

Le grand poste à un éclateur comportant une cinquantaine de coupures montées en série, sur lesquelles on souffle un jet d'air pulsant; chaque coupure a de un à deux dixièmes de millimètre.

Stations C. G. R. — La Cie C. G. R. a créé des types de station de bord dont les puissances sont échelonnées de 500 watts à 8 Kilowatts. L'excitation par choc est réalisée par l'emploi d'un éclateur à coupures multiples constituées par des cylindres parallèles dont la distance est réglable. L'alternateur est généralement un alternateur à 500 At on règle le poste de façon à avoir une étincelle à l'alternance.

Les stations C. G. R. puissantes sont, soit du type précédent, soit des stations à courant continu à haute tension.

Grandmission à courant continu à haute tension. — La Cie

Marconi a équipé des stations à grande puissance à courant continu à haute tension. L'éclateur est un éclateur tournant du type Marconi tournant à grande vitesse et réalisant l'excitation par choc.

La communication transatlantique Clifden (Irlande) Glace-Bay (Nouvelle Ecosse) est assurée depuis 10 ans par des postes de ce genre. La puissance de ces stations est d'environ 150 Kilowatts. La longueur d'onde est de 6600 mètres.

Deux autres stations du même genre plus puissantes (300 Kilowatts) ont été établies à Coltano (Italie) et Massouah (Erythrée).

Systèmes à ondes entretenues.

A. - Transmission par arc. - Nous citerons les stations de Panama (100 kw), Darien (150 kw), Tukerton (80 à 100 kw).

B. - Doubleur de fréquence Joly. - Les deux stations correspondantes de Hauen (Allemagne) et Sayville (Amérique) dont les puissances sont d'environ 150 kw, sont équipées avec alternateurs de haute fréquence et transformateurs doubleur de fréquence Maurice Joly. - A Hauen, l'alternateur fournit environ 250 kw. à la fréquence 8000; cette fréquence est quadruplée par 2 transformateurs doubleurs montés en série. On obtient environ 100 kw dans l'antenne.

C. - Alternateur de Goldschmidt. - Les deux stations correspondantes de Hanovre (Allemagne) et Tukerton (Amérique) sont équipées avec alternateurs Goldschmidt à 4 réflexions.

A Tukerton, l'alternateur à 384 pôles tourne à 3.130 tours et donne une fréquence fondamentale de 10.000. Après 4 réflexions le courant mis dans l'antenne a une fréquence de 40.000. La puissance fournie à l'antenne est d'environ 160 kw.

A Hanovre, (Silvose), l'alternateur à 300 pôles et tourne à 4000 tours. On obtient environ 150 kw. dans l'antenne.

D. - Tubes à vides. - Lorsqu'on n'a besoin que de très petites puissances on peut employer des tubes à vides comme générateur. Lorsque le correspondant n'est pas pourvu d'une réception spéciale pour ondes entretenues, on découpe au départ les oscillations en trains non amortis.

Applications de la T. S. F. - Outre les applications à la Guerre et à la Marine la T. S. F. sert à l'échange des correspondances entre les bateaux et la terre et entre les bateaux. Elle contribue à lutter efficacement contre les sinistres maritimes.

Elle permet de transmettre l'heure aux navigateurs.

Les radiogonomètres et les radiophares facilitent le problème de la navigation.

La radiotélégraphie sert aussi à l'établissement de liaisons entre les trains en marche ou les ballons et des stations fixes.

Elle sert à établir des communications dans les colonies où les pays à travers lesquels il est difficile d'établir et d'entretenir des lignes télégraphiques.

Elle procure enfin le moyen d'établir rapidement et économiquement des communications transocéaniques à très grande distance. De semblables communications sont déjà en service et complètent heureusement le réseau sous-marin mondial. Les difficultés techniques d'établissement de stations à très grandes distances sont actuellement résolues et dans beaucoup de cas plusieurs solutions sont possibles.

Ecole Supérieure des Postes et Télégraphes.

Cours de T.S.F.
à l'usage du Personnel.

13^{ème} Leçon.

La Radiotéléphonie.

Sommaire.

Le problème de la Radiotéléphonie.

Générateurs d'oscillations entretenues.

Moyens employés pour modifier l'amplitude ou la longueur d'onde des oscillations.

Nature de la voix humaine. - Analyse.

Montage des dispositifs microphoniques:

- a) en série dans l'antenne.*
- b) en dérivation sur l'antenne.*
- c) dans un circuit accouplé avec l'antenne.*
- d) dans le circuit d'excitation d'un alternateur ou d'alimentation d'un arc.*
- e) Cas des tubes à vide.*

Construction des microphones.

Autres dispositifs microphoniques.

Condensateur microphonique.

Tube à vide microphonique de A. Langmuir.

Réception.

Considération d'Exploitation.

Applications de la Radiotéléphonie.

La radiotéléphonie est l'art de transmettre le langage articulé par l'intermédiaire des ondes hertziennes.

Avant la découverte des procédés actuels de production des

ondes hertziennes, on a essayé de téléphoner sans le secours de fils conducteurs. On a fait en particulier de la téléphonie par induction à de petites distances (Voir I^{ère} Leçon).

Dès les débuts de la radiotélégraphie, les inventeurs eurent l'idée de téléphoner par des procédés semblables à ceux utilisés en télégraphie et ils arrivèrent bientôt à conclure que l'établissement de communications radio-téléphoniques était subordonné à la réalisation de générateurs d'oscillations entretenues et de détecteurs d'énergie. Aujourd'hui, ces deux problèmes sont résolus et la téléphonie sans fil est, en effet, devenue possible.

En principe, le mécanisme d'une communication radiotéléphonique est le suivant: une station de transmission émet normalement des ondes entretenues d'amplitude et de longueur d'onde fixes. Les vibrations sonores produites par la parole peuvent agir soit sur l'amplitude des oscillations, soit sur leur longueur d'onde; leur action étant proportionnelle à leur amplitude. Un détecteur d'énergie installé à la station de réception fournit au téléphone un courant qui est proportionnel à l'amplitude des oscillations reçues dans l'antenne, et, par suite, à l'amplitude des ondes sonores du départ. On entend donc dans le téléphone les sons identiques aux sons produits à la station de transmission.

Nous allons étudier successivement la production des oscillations entretenues; les moyens de faire varier soit l'amplitude, soit la longueur d'onde de ces oscillations et les procédés de réception.

Générateurs d'oscillations entretenues. — Tous les générateurs d'oscillations entretenues employés en radiotélégraphie sont utilisables en radiotéléphonie, à condition qu'ils produisent des oscillations bien continues et d'amplitude bien constante; tels sont: les alternateurs de haute fréquence, les alternateurs avec transformateurs de fréquence, les tubes à vide et les arcs bien construits.

Moyens employés pour modifier l'amplitude ou la longueur d'onde des oscillations. — Avant de passer à l'étude des dispositifs microphoniques applicables à la téléphonie sans fil, il est utile d'étudier la nature des vibrations sonores produites par le langage articulé.

La parole humaine est due à des vibrations de l'air produites par les bandes vocales (cordes vocales). Les bandes vocales sont deux muscles situés dans le larynx et qui peuvent s'écarter à la manière des branches d'une paire de ciseaux,

dont la charnière serait en avant. L'échappement de l'air des poumons est commandé par l'ouverture et la fermeture des bandes vocales : c'est ainsi que l'air est mis en vibration. Les vibrations de l'air ainsi produites sont renforcées et transformées par les cavités supralaryngiennes : le pharynx, le nez, la bouche. Ces cavités agissent à la façon de résonateurs dont la forme est variable pour chaque son.

Les voyelles correspondent à des sons que l'on peut émettre d'une façon soutenue telles sont les voyelles fondamentales *OU, O, A, É, I*. Les consonnes ne servent qu'à introduire des modifications caractéristiques au commencement et à la fin des syllabes ; elles ne peuvent pas être soutenues.

On a étudié la voix humaine par bien des méthodes. L'étude du courant téléphonique est toute désignée dans le cas qui nous occupe. Sa forme peut être facilement relevée à l'aide de l'oscillographe.

En examinant les oscillogrammes on remarque que les voyelles correspondent à des courbes périodiques mais non sinusoïdales. La figure 1 représente la courbe obtenue pour la voyelle "A".

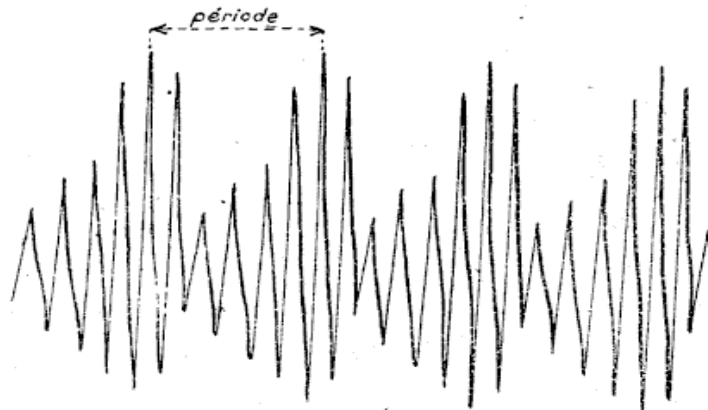


Fig.1 -

Les consonnes produisent entre les voyelles des portions de courbes de formes capricieuses et non périodiques.

Les parties périodiques correspondant aux voyelles peuvent être décomposées en la somme de courbes sinusoïdales. On trouve que les fréquences correspondant à ces sinusoïdes sont comprises entre 500 et 1100.

On peut donc dire que le courant téléphonique est un courant de forme complexe. Il est périodique dans les parties correspondantes aux voyelles ; on peut alors lui substituer la somme d'un certain nombre

de courants sinusoïdaux simples dont les fréquences sont des multiples les uns des autres et restent généralement comprises entre 500 et 1100.

Ence qui concerne l'audition, nous rappellerons que les sons se divisent en sons audibles et sons inaudibles. Les sons audibles correspondent à des nombres de vibrations compris entre 16 et 33400 (soient 12 octaves de ut_2 à ut_{10}). Les sons musicaux correspondent à des nombres de vibrations compris entre 27 et 3.400 (7 octaves de la_2 à la_6).

La sensibilité de l'oreille dépend de la hauteur du son et du sujet considéré. Au delà de la fréquence 5000 l'oreille est peu sensible. A la fréquence 10.000 presque tous les observateurs entendent encore; mais à partir de 20.000 beaucoup commencent à ne plus entendre.

Lorsqu'il s'agit de faire varier l'amplitude des oscillations proportionnellement à l'amplitude des ondes sonores, l'emploi du microphone ordinaire est tout indiqué.

La façon naturelle d'utiliser le microphone consiste à l'introduire dans un circuit dont il fait varier la résistance proportionnellement aux amplitudes des ondes sonores qui agissent sur sa membrane.

a. Le microphone est monté en série dans l'antenne. — Les variations de résistance du microphone produisent des variations de la résistance totale de l'antenne et par suite des modifications de l'amplitude des oscillations induites dans cette antenne par la source (fig. 2a).

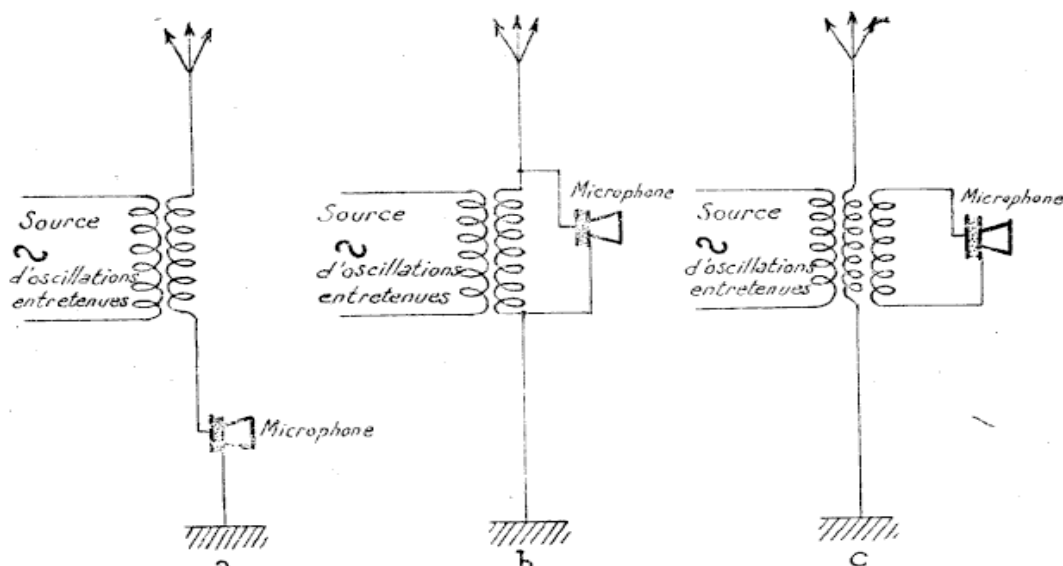


Fig. 2

b) Le microphone est monté en dérivation sur l'antenne. — Le microphone peut être monté en dérivation sur la bobine d'accouplement. L'antenne est ainsi shuntée par une résistance variable, l'amplitude des oscillations dans cette dernière dépend de la résistance du microphone (fig. 2 b).

c) Le microphone est monté dans un circuit accouplé par induction avec l'antenne (fig. 2 c). L'énergie absorbée par le circuit du microphone varie avec la résistance de celui-ci ; l'amplitude des oscillations dans l'antenne varie donc comme la résistance du microphone.

d) Le microphone est monté dans le circuit d'excitation d'un alternateur ou d'alimentation d'un arc. — Les variations de résistance du microphone peuvent être utilisées pour modifier l'intensité du courant d'alimentation d'une machine de haute fréquence ou le courant d'alimentation d'un arc de Poulsen. Dans les deux cas, l'amplitude des oscillations produites varie comme la résistance du microphone.

e) Cas des tubes à vide. — On peut faire varier l'amplitude des oscillations produites par un tube à vide fonctionnant en générateur en montant un microphone dans le circuit d'entretien (Filament-grille).

On peut aussi produire des oscillations de faible puissance dont l'amplitude peut être facilement modifiée par un microphone et amplifier ensuite ces oscillations dans d'autres tubes fonctionnant comme amplificateurs de haute fréquence.

Construction des microphones. — Les microphones les plus simples sont constitués par un disque circulaire élastique devant lequel on parle (métal, charbon, mica) et qui peut vibrer sous l'action des ondes sonores.

La plaque vibrante en se déplaçant fait varier la pression entre des surfaces de charbon en contact imparfait. Dans les microphones ordinaires, la plaque comprime plus ou moins des grenailles de graphite contenues dans une petite cuvette de charbon. La résistance de l'ensemble, plaque, grenailles, cuvette, est ainsi modifiée par les ondes sonores.

Un microphone ordinaire ne peut pas supporter une intensité de courant de plus de un ampère. Cette intensité est très faible, aussi dans le cas où l'on doit mettre en jeu de fortes puissances, il faut utiliser soit des microphones groupés en parallèle ou en série, soit des microphones spécialement établis pour supporter de

très fortes intensités. Il faut avoir soin de disposer tous les microphones à égale distance de la bouche de l'opérateur, de façon à ce qu'ils agissent bien synchroniquement.

Les microphones à forte intensité employés en téléphonie sans fil, utilisent un certain nombre de principes différents. Dans les plus simples, on refroidit simplement la cuvette par une circulation d'eau, de façon à empêcher la chaleur dégagée par le passage du courant de produire une élévation de température dangereuse pour le microphone. Dans un autre système, la poussière de charbon est constamment renouvelée, elle s'écoule en quelque sorte d'une façon continue entre une plaque fixe et une plaque élastique devant laquelle on parle; la résistance de la poussière de charbon comprise entre les deux plaques dépend de sa compression. Enfin, M. M. Majorana et Vanni ont réalisé des microphones dans lesquels la résistance variable est celle d'un fillet liquide conducteur; les ondes sonores peuvent faire varier la forme ou la longueur de ce fillet liquide. Le liquide étant constamment renouvelé ne s'échauffe pas.

Autres dispositifs microphoniques.

En dehors des microphones, on a utilisé quelques autres dispositifs destinés à faire varier l'amplitude ou la longueur d'onde des oscillations.

Le plus connu est le condensateur microphonique qui se compose de deux surfaces conductrices très voisines, l'une est fixe et l'autre devant laquelle on parle, peut se déplacer plus ou moins sous l'action des ondes sonores. La capacité du condensateur qui a ces deux surfaces pour armatures est modifiée selon l'amplitude et des ondes sonores incidentes. Si ce condensateur est intercalé dans le circuit d'un arc, la longueur d'onde des oscillations produites par l'arc, varie proportionnellement à l'amplitude des ondes sonores; s'il est placé dans une antenne accouplée avec un circuit générateur, la longueur d'onde de l'antenne varie, celle-ci est plus ou moins désaccordée avec le circuit d'énergie, selon la grandeur et l'amplitude des ondes sonores, et l'amplitude des oscillations dans l'antenne varie dans le même sens.

Un procédé plus récent proposé par M. A. Langmuir consiste à utiliser la variation apparente de résistance du circuit filament-plaque d'un tube à vide produite par la variation du potentiel de la grille (Voir II^e Leçon)

Lorsque la grille est très fortement négative aucun courant ne peut passer dans le circuit filament-plaque, à

mesure que le potentiel de la grille augmente le courant dans le circuit filament-plaque, augmente jusqu'au moment où la saturation est atteinte; la résistance apparente du circuit filament-plaque dépend donc du potentiel de la grille, et diminue lorsque ce potentiel augmente.

Dans ces conditions, en montant le circuit filament-plaque du tube à vide entre deux points de l'antenne entre lesquels il existe normalement une différence de potentiel relativement élevée et en appliquant sur la grille un potentiel variable produit par un microphone, on peut shunter plus ou moins l'antenne et faire varier l'énergie rayonnée.

La réalisation d'un dispositif microphonique satisfaisant pour les fortes puissances est encore à l'heure actuelle à l'étude, les solutions proposées n'ont pas encore été définitivement sanctionnées par la pratique.

Réception. — Les montages de réception sont identiques à ceux employés en radiotélégraphie. La synthonie est facilitée par l'emploi des ondes entretenues.

Le détecteur doit être comme nous l'avons dit, un détecteur d'énergie: détecteur électrolytique, redresseur, tube à vide, etc....

Tout ce qui a été dit au sujet des perturbations naturelles et de l'emploi des amplificateurs à propos de la télégraphie s'applique à la téléphonie.

La voix reçue en radiotéléphonie n'est pas déformée comme dans le cas des communications par fil. C'est en effet l'influence simultanée de la résistance, de la self-induction, de la capacité et de la perte par défaut d'isolement qui produit la déformation sur les lignes.

Considérations d'Exploitation. — Si on constitue une station radiotéléphonique comme une station radiotélégraphique ordinaire, il faudra se mettre à l'aide d'un commutateur sur transmission ou réception selon qu'on désire parler ou écouter. Dans ces conditions, il n'est pas possible d'interrompre son correspondant.

On a cherché à réaliser des stations dans lesquelles on puisse converser de la même façon qu'avec des postes téléphoniques reliés par une ligne.

On peut y arriver en établissant pour chaque station deux antennes: l'une de transmission, l'autre de réception. La première est reliée au générateur d'oscillations et au système microphonique; la seconde à la réception et au téléphone.

Les deux stations travaillent avec des longueurs d'ondes différentes et sont munies de systèmes compensateurs tels, que l'on peut parler et écouter en même temps.

On peut résoudre aussi ce problème, en utilisant un montage duplex analogue à celui employé en télégraphie duplex avec fil.

La téléphonie sans fil ne recevra des applications nombreuses et vraiment intéressantes au point de vue commercial, que lorsqu'on sera arrivé à constituer les stations de telle façon que des abonnés au téléphone quelconques puissent converser entre eux, en se servant de leurs postes ordinaires. La solution de ce problème suppose l'emploi combiné de dispositifs microphoniques actionnés par le courant téléphonique lui-même, et d'un système permettant l'échange simultané de la conversation dans les deux sens.

Applications de la Radiotéléphonie. — Les stations de téléphonie sans fil actuellement réalisées sont de faible puissance, et n'assurent pas encore des services commerciaux.

Mais on est en droit de penser que la radiotélégraphie fera des progrès aussi rapides que la radiotélégraphie et on peut prévoir pour un avenir prochain de nombreuses applications.

L'emploi de la téléphonie dans les stations côtières facilitera les échanges de communications avec les bâtiments de faible tonnage à bord desquels on ne peut pas embarquer un télégraphiste chargé uniquement de la manoeuvre des appareils; l'échange de messages téléphonés sera beaucoup plus simple que celui de télégrammes et pourra être assuré facilement par des opérateurs non spécialisés.

Enfin lorsqu'on pourra établir des stations puissantes, on réalisera à peu de frais, des communications téléphoniques qui sont encore, aujourd'hui, techniquement irréalisables par câbles sous-marins.

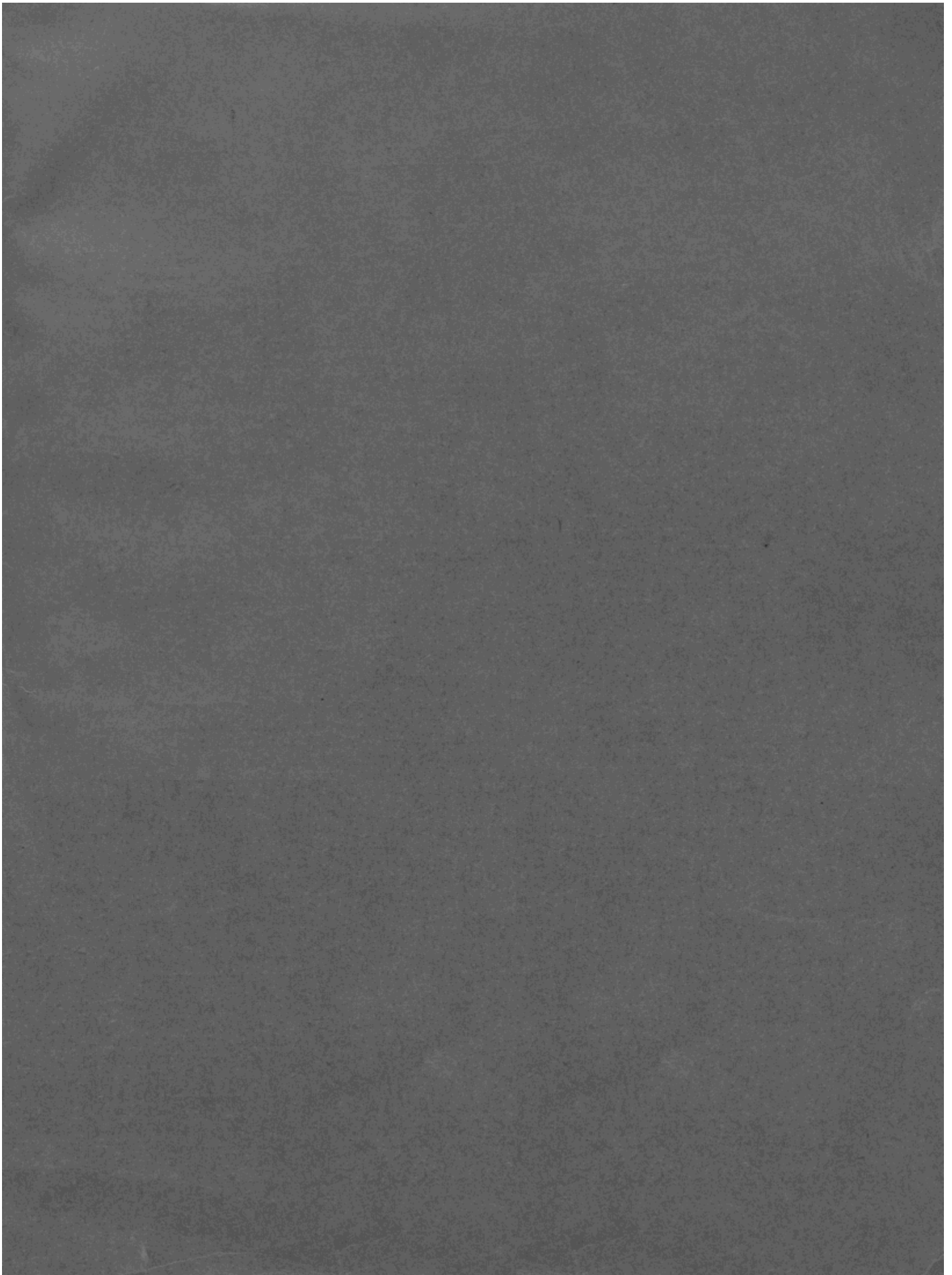
Table des Matières.

	Pages
<i>1^{re} Leçon. — Introduction à l'Etude de la T.S F.</i>	
Sommaire	1
Télégraphie sans fil et Radiotélégraphie	1
Système par conduction	2
— par induction	3
Historique du développement de la Radiotélégraphie	6
Généralités	9
Sommaire	9
Principe de l'inertie	9
Champ de force	9
Principe de l'égalité de l'action et de la réaction	10
Travail	10
Puissance	10
Idée de la conservation de l'énergie	11
Etude du mouvement vibratoire	16
<i>2^e Leçon. — Notions Générales d'Electricité</i>	
Sommaire	1
Applications et propriétés des phénomènes de résonance	2
Champ Electrique et champ magnétique	2
Principe de la conservation de l'Electricité et du magnétisme	4
Courants électriques	7
— magnétiques	8
Energie électrique et énergie magnétique	8
Oscillations électriques entretenues et amorties	13
Circuits oscillants. Oscillations libres et période propre d'un circuit	16
Résumé	20
<i>3^e Leçon. — Généralités sur la Production des oscillations amorties</i>	
Sommaire	1
Accouplement	2
Production d'oscillations amorties	9
Eléments constitutifs du circuit oscillant	11
Sources d'énergie	14
Bobine d'induction	15

Interrupteurs	16
Construction des bobines	19
4^e Leçon. — La charge des condensateurs au moyen d'une force électromotrice alternative	
Sommaire	1
Emploi d'une force électromotrice alternative	2
Étude de la charge du condensateur	7
Choix du moment auquel il faut produire la décharge	9
Production des décharges	11
Conclusions	16
5^e Leçon. — La charge des condensateurs au moyen d'une force électromotrice constante.	
Sommaire	1
Étude de la charge d'un condensateur par une force électromotrice constante	3
Choix de l'instant de la décharge	4
Qualités à exiger du matériel	6
Protection contre les retours de courants de haute fréquence	8
Choix du type d'éclateur	9
Caractéristiques des installations à force électromotrice constante	10
Comparaison entre la charge au moyen d'une force électromotrice alternative et la charge au moyen d'une force électromotrice constante	11
6^e Leçon. — Production des oscillations entretenues.	
Sommaire	1
Alternateur d'Alexanderson	2
— de Goldschmidt	4
Transformateurs statiques de fréquence	7
Production des oscillations entretenues au moyen de l'arc électrique	10
Mode de fonctionnement de l'arc	11
Arc de Poulsen	14
Arc. entre électro-mobiles (Marconi)	16

	Pages
7^e Leçon. - Les ondes électro-magnétiques	
Sommaire	1
Nature d'une onde	5
Les ondes chimiques, lumineuses, caloriques et électriques	7
Production d'une onde électromagnétique dans un diélectrique	9
Propriétés des ondes :	
Réflexion. - Réfraction. - Diffraction. -	
Interférence	10
Ondes sur les fils	12
8^e Leçon. - Circuits rayonnants et absorbants.	
Sommaire	1
Circuits ouverts et circuits fermés	1
Oscillateurs avec et sans terre	2
Antennes de transmission	3
Différentes formes d'antennes de transmissions	5
Circuits absorbants	7
Modes de vibration d'une antenne	9
Différents modes d'excitation d'une antenne	12
Propriétés directives des antennes	14
9^e Leçon. - Les détecteurs d'oscillations.	
Sommaire	1
Définition	2
Classification	2
Thermo-détecteurs	3
Détecteurs électrodynamiques	3
Cohéreurs	3
Détecteurs magnétiques	6
électrolytiques	8
redresseurs	11
10^e Leçon. - Détecteurs et réceptions.	
Sommaire	1
Tubes à vide	1
Tubes à vide à trois électrodes	4
Détecteurs pour oscillations entretenues	14
Montages de réception	21

	Pages
11^e Leçon. — Les Mesures Radiotélégraphiques	
Sommaire	1
Mesure des intensités et des différences de potentiels	3
Mesure des fréquences et des longueurs d'ondes	8
Courbes de résonance. — Amortissement	14
12^e Leçon. — Les stations Radiotélégraphiques	
Sommaire	1
Radiotélégraphie Duplex	5
Modes de manipulation	7
Manipulateurs	8
Rendements des communications radiotélégraphiques	9
Perturbations naturelles	11
Caractéristiques des systèmes les plus répandus	14
Systèmes à ondes entretenues	16
Applications à la T. S. F.	16
13^e Leçon. — La Radiotéléphonie.	
Sommaire	1
Générateurs d'oscillations entretenues	2
Moyens employés pour modifier l'amplitude ou la longueur d'onde des oscillations	2
Construction des microphones	5
Autres dispositifs microphoniques	6
Réception	7
Considération d'Exploitation	7
Applications de la Radiotéléphonie	8



Droits réservés au [Cnam](#) et à ses partenaires

BIBLIOTHÈQUE DES ANNALES DES POSTES, TÉLÉGRAPHES & TÉLÉPHONES

Construction des lignes télégraphiques et téléphoniques. Cours professé à l'École Supérieure par M. LORAIN, Ingénieur en chef des Postes et Télégraphes (3^e édition 1914). — 2 vol. Prix : 4 francs le volume.

Comptabilité et droit budgétaire. Cours professé à l'École Supérieure par M. FÉRET DU LONGBOIS, Directeur au Ministère des Finances (1912). — 1 vol. Prix : 4 francs.

Installations télégraphiques. Cours professé à l'École Supérieure par M. TONGAS, Ingénieur en chef des Postes et Télégraphes (1913). — 2 vol. Prix : 5 francs le volume.

Les derniers progrès réalisés en télégraphie. par M. TONGAS (1913). — 1 vol. Prix : 1 franc.

Installations téléphoniques. Cours professé à l'École Supérieure par M. MILON, Ingénieur des Postes et Télégraphes (2^e édition 1913). — 1 vol. Prix : 5 francs.

Exploitation postale. — Cours professé à l'École Supérieure (section des rédacteurs-élèves) par M. FERRIÈRE, chef de bureau à l'Administration centrale des Postes et des Télégraphes (1913). — 2 vol. Prix : 4 francs le volume.

Conférences sur les moteurs thermiques, faites à l'École Supérieure (section des rédacteurs-élèves), par M. SAUVAGE, Inspecteur général des Mines (1913). — 1 vol. Prix : 1 fr. 25.

Applications industrielles de l'Électricité. — Cours professé à l'École Supérieure (section des rédacteurs-élèves) par M. MAUREAU, Ingénieur en chef des Postes et Télégraphes (1914). — 1 vol. Prix : 5 francs.

Théorie de la pupinisation et applications pratiques. — Conférences faites à l'École Supérieure des Postes et Télégraphes, par M. CAHEN, Ingénieur des Postes et Télégraphes (1914). — 1 vol. Prix : 1 fr. 50.

Principes d'Électricité. — Cours professé à l'École Supérieure (section des rédacteurs-élèves), par M. DROUET, Ingénieur des Postes et Télégraphes (1914). — 1 vol. Prix : 2 francs.

En vente à la Librairie de l'École spéciale des Travaux publics, 3, rue Thénard, Paris, V^e.

De la propagation du courant télégraphique et téléphonique (*The propagation of the electric currents*, par J.-A. FLEMING); traduit de l'anglais par M. RAYUT, Ingénieur des Postes et Télégraphes (1913). — 1 vol. Prix : 12 francs.

La télégraphie et la téléphonie simultanées et la téléphonie multiple (*Das gleichzeitige Telegraphieren und Fernsprechen und das mehrfache Fernsprechen*, par K. Berger); traduit de l'allemand par M. LE NORMAND, Ingénieur des Postes et Télégraphes (1913). — 1 vol. Prix : 4 fr. 50.

Pratique radiotélégraphique (*Radiotelegraphisches Praktikum*, par REIN), traduit de l'allemand par M. VIARD, Ingénieur des Postes et Télégraphes (1913). — 1 vol. prix : 9 francs.

Cours d'électricité théorique, professé à l'École Supérieure, par M. POMEY, Ingénieur en chef des Postes et Télégraphes. — 2 vol. (*Sous presse.*)

La téléphonie automatique, par M. MILON, Ingénieur des Postes et Télégraphes. — 1 vol. (*Sous presse.*)

En vente chez M. Gauthier-Villars, éditeur, 55, quai des Grands-Augustins, Paris, VI^e.

Traité de Téléphonie (extraits de *Telephony*, par ABBOTT); traduit de l'anglais par M. GILLES, Ingénieur des Postes et Télégraphes (1913). — 1 vol. Prix : 4 francs.

Traité de Téléphonie pratique (extraits de *American telephone practice*, par KEMESTER B. MILLER); traduit de l'anglais (1913). — 1 vol. Prix : 6 francs.

En vente chez M. Geisler, éditeur, 1, rue de Médicis, Paris, VI^e.

Les câbles télégraphiques et téléphoniques (*Telegraphen und Fernsprechkabel-Anlagen*, par STILLE); traduit de l'allemand par MM. PICAULT, Ingénieur, et MONTAIGOI,

[] Sous-Chef de section des Postes et Télégraphes. — 1 vol. Prix : 25 francs.

En vente chez M. Béranger, éditeur, 15, rue des Saints-Pères, Paris, VI^e.