

L'ONDE ÉLECTRIQUE

PUBLICATION
DE LA
SOCIÉTÉ DES AMIS
DE LA

T.S.F.

DEVELOPMENT AND
RESEARCH LIBRARY
AMERICAN TEL. & TEL. CO.
125 B'WAY, NEW YORK, N. Y.



Personal Property
OF

SOMMAIRE JOHN F. RIDER

M. LARDRY

Nouvelle contribution à l'étude de la propagation
des ondes.

L. BRILLOUIN et E. FROMY

Les circuits poly-ondes.

C. GUTTON et E. PIERRET

Sur les harmoniques des oscillateurs à ondes très courtes.

J. BETHENOD

Étude d'un circuit oscillant soumis à l'action de deux
forces électromotrices harmoniques.

Ch. LANGE

Sur la génération d'oscillations polyphasées au moyen
de tubes électroniques.

Chronique du mois :- Informations :- Analyses

Étienne CHIRON, Éditeur

L'ONDE ÉLECTRIQUE

Revue mensuelle publiée par les Amis de la T. S. F.

ABONNEMENT D'UN AN
France 30 fr.
Étranger 35 fr.

Étienne CHIRON
ÉDITEUR
40, RUE DE SEINE, PARIS
CHÈQUES POSTAUX: PARIS 53-35

PRIX
DU NUMÉRO : 3 francs
Tél : FLEURUS 47-49

SOCIÉTÉ DES AMIS DE LA T. S. F.

Adresser la correspondance administrative et technique à

M. MESNY, secrétaire général
21, rue Jacob, Paris-6^e

Paiement des cotisations à **M. ATTHALIN, trésorier**

Banque de Paris et des Pays-Bas
3, rue d'Antin, Paris-2^e
Compte de chèques postaux n° 697-38

Les correspondants sont priés de rappeler chaque fois le numéro d'inscription porté sur leur carte.

CHANGEMENTS D'ADRESSE Joindre 0.50 à toute demande.

COMITÉ DE PATRONAGE

MM.

† Georges LEMOINE, président de l'Académie des Sciences.
† L. E. BERTIN, vice-président de l'Académie des Sciences.
Alfred L. ACROIX, secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences.
Emile PICARD, secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences.
Henri DESLANDRES, ancien président de l'Académie des Sciences.
BLOT-GARNIER, président de l'Union des Horlogers de France.
Henri BOUSQUET, président du Conseil d'administration de la Compagnie Générale de Télégraphie sans Fil.
Gabriel CORDIER, président de l'Union des Industries métallurgiques et minières.
J. DAL PIAZ, président du Conseil d'administration de la Compagnie Générale Transatlantique.

MM.

S. DERVILLÉ, président du Syndicat des Chemins de fer de Ceinture de Paris
Charles FERRAND, président de la Chambre syndicale des Constructeurs de Navires.
Hubert GIRAUD, administrateur-délégué de la Société Générale de Transports Maritimes à Vapeur.
Société des Ingénieurs Coloniaux.
J. LE CESNE, président de l'Union Coloniale française.
Raynald LEGOUÉZ, président de l'Union des Syndicats de l'Electricité.
A. MESSIMY, ancien ministre.
Denis PÉROUSE, président du Syndicat des Armateurs de France
J.-B. POMEY, inspecteur général des Postes et Télégraphes.

La rédaction décline toute responsabilité en ce qui concerne la teneur des articles publiés. :: Les auteurs assumant l'entière responsabilité de ce qui paraît sous leur signature. ::

INSTITUT DE T. S. F.

DE

L'ÉCOLE DU GÉNIE CIVIL

Fondée en 1905 — J. GALOPIN,  Ingénieur-Directeur

152, avenue de Wagram, PARIS-17^e

COURS SUR PLACE. — COURS PAR CORRESPONDANCE

P. T. T. : Diplômes d'opérateurs de 1^{re} et 2^e classe.

Marine marchande : Brevets d'officiers.

Marine militaire : Manipulants, lecteurs au son, chefs de poste.

Armée : Manipulants et lecteurs au son pour le 8^e Génie et l'Aviation, chefs de poste et élèves officiers.

Amateurs : Diplôme spécial délivré par l'Ecole.

Brochure n° 806 gratis.

NOUVELLE CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DE LA PROPAGATION DES ONDES⁽¹⁾

Par M. LARDRY

*Membre du Bureau de Coordination des Observations scientifiques
d'Amateurs (U. R. S. I.)*

L'art de l'investigation scientifique est la pierre angulaire de toutes les sciences expérimentales. Si les faits qui servent de base au raisonnement sont mal établis ou erronés, tout s'écroulera ou deviendra faux, et c'est ainsi que, le plus souvent, les erreurs dans les théories scientifiques ont pour origine des erreurs de faits.

Claude BERNARD

En commençant en janvier 1924 l'étude de la propagation des ondes, je me suis débarrassé de toute idée préconçue et je m'en félicite, car je n'ai pas tardé à m'apercevoir que la plupart des opinions universellement admises ne reposaient que sur un trop petit nombre d'observations.

On croyait connaître les lois générales de la propagation des ondes électromagnétiques et l'on vivait dans une douce quiétude lorsque des anomalies vinrent successivement saper les fragiles fondations du château de cartes et l'abattre lamentablement.

Dans les débuts de la T. S. F., on ne connaissait que le poste à étincelles comme émetteur et la galène ou analogues comme récepteur. Le manque de sensibilité du récepteur obligea à augmenter la puissance, donc la capacité des antennes et par suite la longueur d'onde. On fut ainsi conduit tout naturellement à l'emploi des grandes ondes, bien à regret, car l'on savait que le rendement diminue très vite avec l'accroissement de puissance.

La généralisation des ondes entretenues par arc ou alternateur se prêtant mieux aux grandes ondes qu'aux petites fit accroître les longueurs d'ondes. D'autre part, les observations constantes indiquaient que les grandes ondes portaient à peu près autant le jour que la nuit tandis que les petites subissaient le jour une forte absorption les rendant difficilement utilisables pour un service commercial.

Tout cela est très naturel et les nouveaux arrivés dans la Radiotélégraphie qui n'ont pas connu le temps où il fallait retenir sa respiration pour écouter dans le nord de la France et sur galène les Saintes-Maries-de-la-Mer, sont bien mal venus d'accuser les pionniers d'avoir

⁽¹⁾ Communication faite à la S. A. S. F., séance du 20 mai 1925.

commis une monstrueuse erreur théorique en poussant à l'emploi des grandes ondes. Qu'ils relisent l'histoire de la T. S. F., et ils verront qu'il n'était pas rare d'entendre sur galène des côtiers ou des bateaux extrêmement éloignés travaillant sur 300 mètres. C'étaient là des records qui, vu les médiocres récepteurs, étaient tout aussi intéressants que ceux que l'on obtient aujourd'hui avec les récepteurs à lampes.

On a émis pendant la guerre en amorties de faible puissance et petites longueurs. Ces postes avaient quelquefois des portées surprenantes qui incitèrent, il y a de cela dix ans, à s'orienter de plus en plus vers les petites ondes. Ce qui manquait, c'était l'émetteur et le récepteur. L'étude complète de la lampe a résolu la question.

Les émetteurs à petites ondes se multiplièrent et semblèrent donner des résultats extraordinaires. Un battage énorme de la presse autour des portées parfois considérables des ondes courtes sous faible puissance, fait croire au public qui paye 15 francs pour transmettre un télégramme à Saigon qu'il ne payerait plus que 15 centimes si l'on abattait les grosses stations de 500 kilowatts et les remplaçait par des postes d'amateurs alimentés par une pile de poche. Oui, mais quand on annonce que F... a travaillé 5 minutes avec Z... à 20000 kilomètres, on omet de dire que les quinze nuits précédentes les essais n'ont rien donné et que la liaison entre les mêmes sera peut-être impossible ensuite pendant un mois.

Tous ces essais sont extrêmement intéressants du point de vue de la science pure, mais un commerçant préférera encore payer 15 francs un télégramme qui arrivera sûrement dans les vingt-quatre heures que 15 centimes une commande ne touchant le destinataire qu'au bout d'un mois.

Tout le monde parle des avantages extraordinaires des ondes courtes, mais bien peu d'observateurs signalent, non pas leurs inconvénients, mais les anomalies de leur propagation. Et cependant, je ne crois pas exagérer en disant qu'un jour les ondes courtes ou plus exactement les irrégularités des ondes courtes seront un des plus puissants moyens d'investigation de la physique du globe.

Pour appuyer mes dires, je résume dix-huit mois d'observations quotidiennes, à raison d'une moyenne de quatre heures de mesures par jour (jusqu'à neuf heures certains jours). L'inspection du nombre respectable de graphiques obtenus est effarante, tellement les jours, les heures mêmes, se suivent sans se ressembler apparemment. Cependant, en disséquant les résultats, je vais tâcher de tirer quelques conclusions.

La méthode suivie.

Elle a été constamment la même. Pour rendre les résultats comparables entre eux, je me suis astreint à avoir toujours le même récepteur quelle que soit l'onde à recevoir. Récepteur très simple, à deux lampes seulement pour être certain de sa stabilité, d'ailleurs vérifiée fréquemment; antenne non accordée pour éviter les coups de vent et les variations de résistance de terre. Comme appareil de mesure : le téléphone shunté.

J'ai déjà discuté l'emploi du téléphone shunté⁽¹⁾. Comme il est très peu employé en France, et que certains observateurs marquent une répugnance très vive à l'adopter, je suis obligé de donner quelques précisions supplémentaires.

Le plus gros reproche qu'on lui fait, c'est d'être peu rapide. Erreur! En disposant convenablement les manettes et avec un peu d'habitude, on peut effectuer avec sécurité une mesure toutes les cinq secondes. C'est fatigant. Mais en effectuant les mesures toutes les quinze secondes (cas de presque tous les graphiques présentés dans cette étude) j'ai pu tenir jusqu'à dix heures consécutives sans être incommodé.

On incrimine aussi l'équation personnelle. Naturellement le téléphone shunté ne permet que des mesures relatives. Mais si on prend les précautions nécessaires : aucun bruit extérieur, se maintenir toujours à la limite d'audibilité pour ne pas fatiguer l'oreille, et ne pas forcer l'attention pour éviter le trouble physiologique signalé par M. Jouaust⁽²⁾, les courbes obtenues ont certainement même forme que celles données par un oscillographe.

Le téléphone shunté a d'énormes avantages sur l'oscillographe. Tout d'abord sa simplicité et sa sensibilité. Ensuite, il permet d'éliminer les parasites qu'enregistre l'oscillographe. Enfin, il décèle une variation de longueur d'onde que l'oscillographe, lui, note comme affaiblissement.

Actuellement, je monte un oscillographe qui me permettra de comparer les deux méthodes au point de vue fidélité⁽³⁾.

(1) *Onde Électrique*, septembre 1924.

(2) *Onde Électrique*, août 1924, p. 427.

(3) Pendant l'impression de cette note, a paru dans le numéro de juillet 1925 de *The Wireless Engineer*, un article de M. E.-A. Anson sur l'évanouissement. Les mesures effectuées au galvanomètre donnent des graphiques absolument identiques aux miens.

Onde de 450 mètres des P. T. T.

Observations faites au Mans (ainsi que toutes les suivantes). Distance émetteur-récepteur : 180 kilomètres; différence d'heure : $-8'$ (le signe $-$ indique que l'heure locale du récepteur est en retard sur celle de l'émetteur).

Dans mes communications précédentes (¹), j'ai déjà publié un certain nombre de graphiques montrant les variations extraordinairement rapides et profondes affectant cette onde.

De l'examen de ces graphiques (dont la figure 1 donne une idée) il ressort deux sortes de variations : des oscillations très brèves et de

Observations du mardi 14 octobre 1924 : P. T. T. 450 mètres

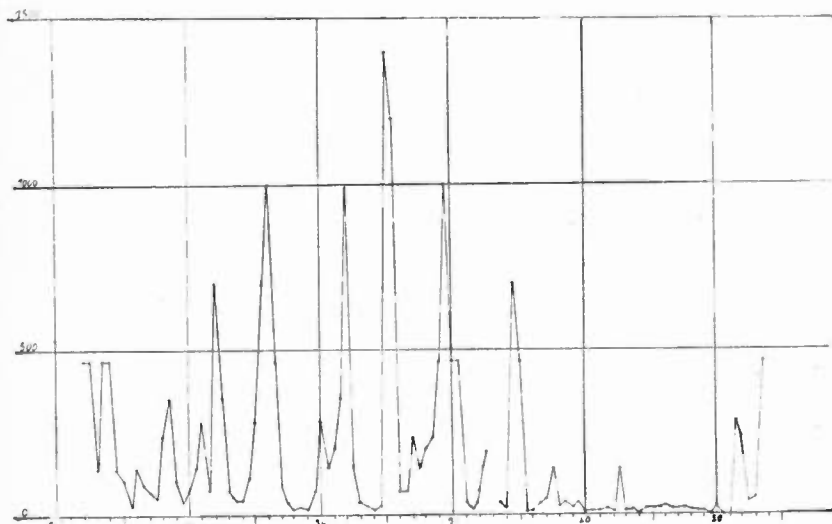


Fig 1

grandes amplitudes (l'audibilité passe de 100 à 1000 en quinze secondes et moins, par exemple), et, en traçant les courbes enveloppes, des variations lentes, quelques minutes, une demi-heure et même quelques heures.

Pour montrer avec quelle rapidité s'effectuent quelquefois les variations, je donne (fig. 2) un extrait des émissions spéciales U R S I

(¹) *Onde Électrique*, mai, septembre, octobre 1924.

faites tous les samedis en télégraphie par la station des P. T. T. ⁽¹⁾ L'alphabet est passé à une vitesse parfois grande; le 15 novembre 1924, par exemple, chaque série a été déroulée en trente secondes

Observations du samedi 15 novembre 1924 P. T. T. 450 mètres (télégraphie)

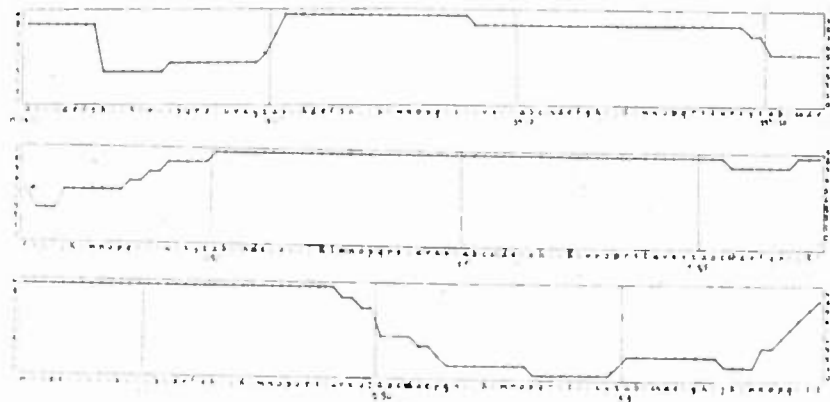


Fig. 2

environ, soit à peu près une lettre par seconde. Le temps est donc très divisé. L'intensité de réception est cotée selon l'échelle habituelle de 0 à 9.

J'ai calculé (fig. 3) les moyennes des intensités de réception les jours où les observations ont été assez longues pour que les moyennes

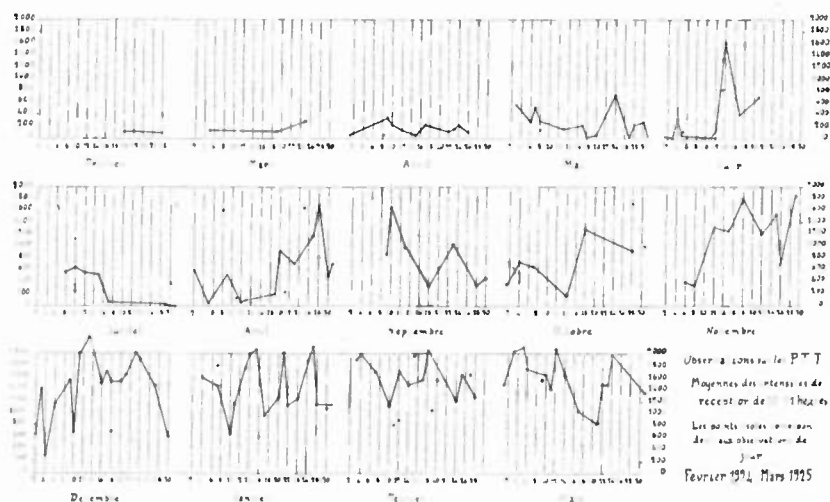


Fig. 3

⁽¹⁾ *Onde Electrique*, juillet 1924, p. 383

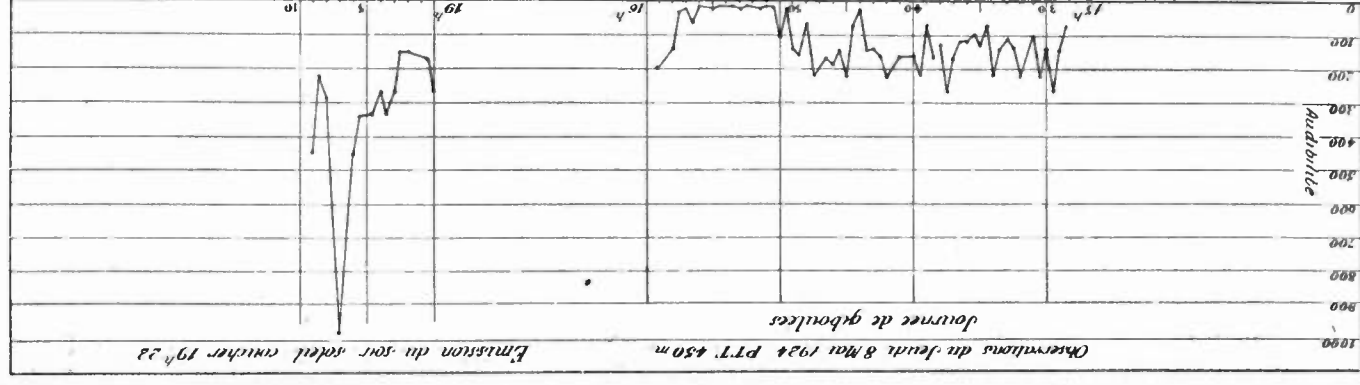


Fig. 4.

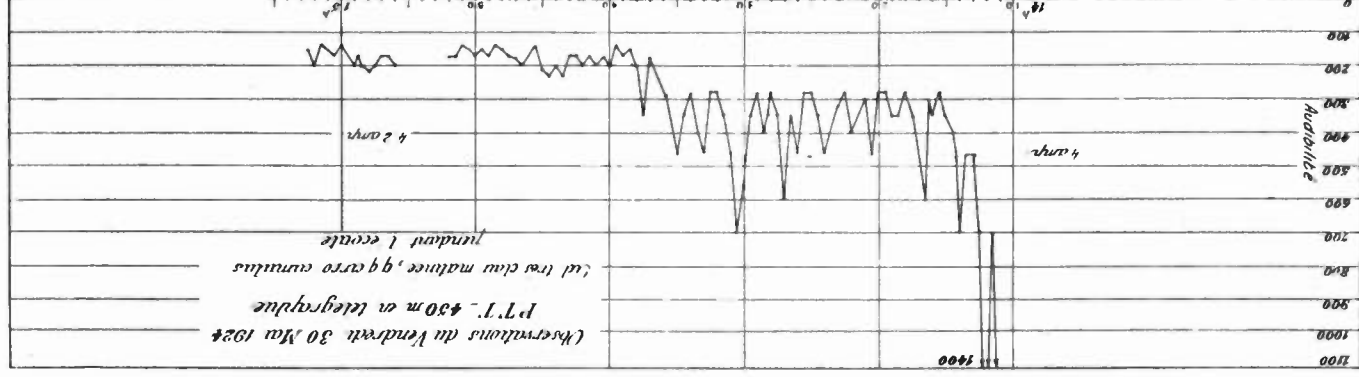


Fig. 5

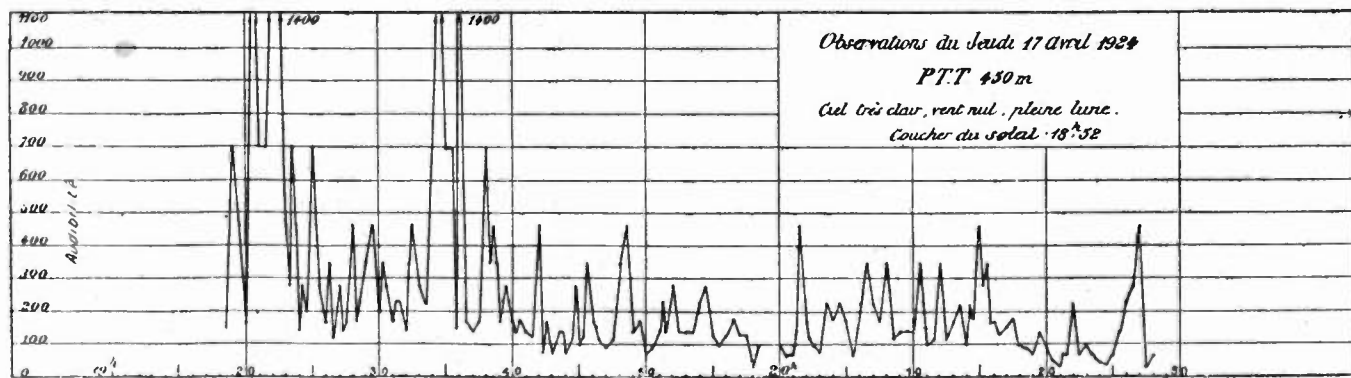


Fig. 6.

signifient quelque chose et pas trop troublées par des émissions parasites. Il est remarquable que les intensités très faibles pendant les sept premiers mois de l'année 1924 soient allées en croissant au point de dépasser la limite supérieure des appareils de mesure. La puissance de la station des P. T. T. est restée la même, seulement le taux de modulation a été accru en décembre dernier et la prise de terre améliorée au début de cette année. Or, la puissance moyenne de réception accuse une montée bien avant ces deux retouches. Il ne peut donc s'agir que d'un phénomène de propagation.

Les moyennes de jour montrent clairement que, contrairement à

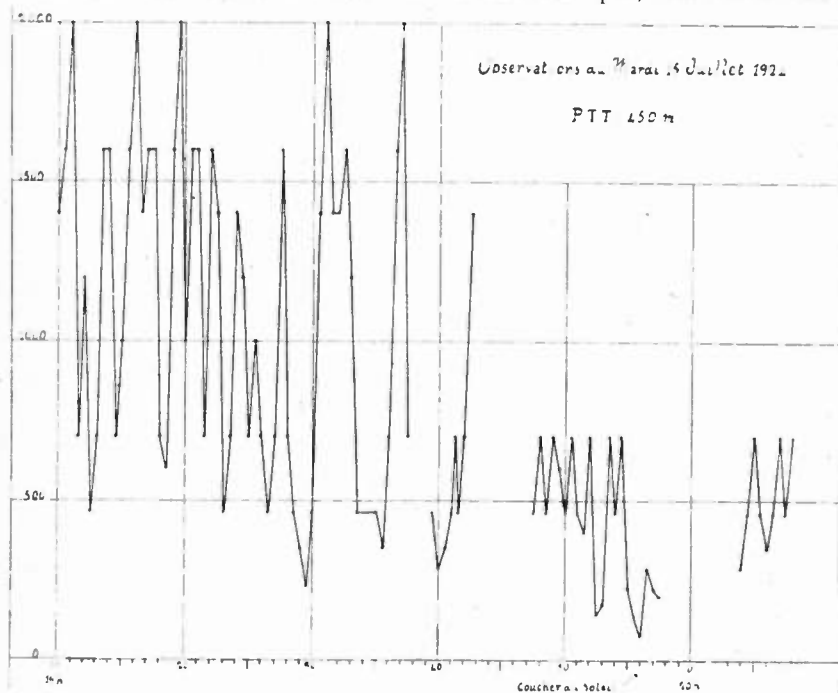


Fig 7

ce que j'avais cru tout d'abord, à 180 kilomètres de l'émetteur il ne se manifeste aucun effet solaire, la réception étant aussi intense de jour que de nuit. Cependant, il est à remarquer que si à certaines dates la réception de jour est plus puissante que celle de nuit, l'inverse a lieu à d'autres moments. L'explication en est simple.

En mai, juin, juillet et août, j'ai demandé des émissions de longue durée en télégraphie commençant à 14 heures ⁽¹⁾. Elles mettent en évi-

⁽¹⁾ *Onde Électrique* septembre 1924, figures 7, 9 et 14.

dence un affaiblissement lent allant jusqu'à l'extinction, puis une montée très brusque au moment du coucher du soleil (fig. 4, 5 et 6). Ce phénomène a fait une apparition brutale fin avril et s'est manifesté tous les jours, aux mêmes heures en mai et en juin. J'étais

Observations du mercredi 25 février 1925 P. T. T. 450 mètres

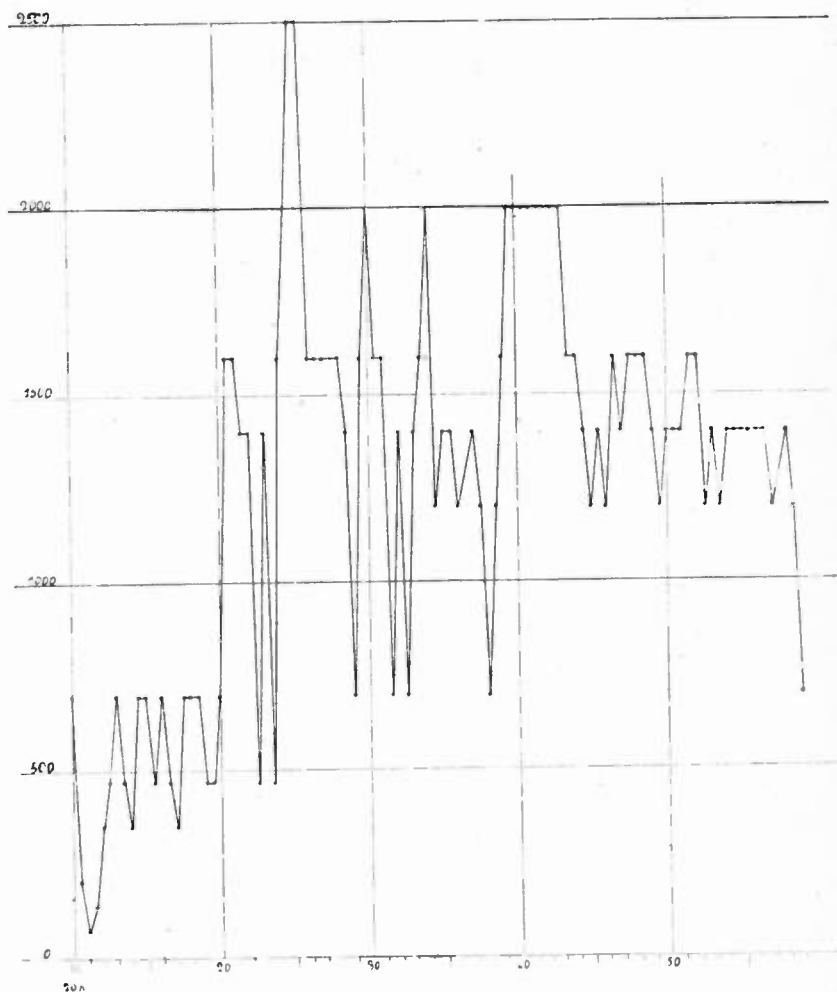


Fig 8

donc certain d'avoir affaire à un effet solaire lorsqu'il disparut brusquement le 20 juin. Cependant un dépouillement serré de tous les graphiques que je possède le montre que cet affaiblissement de longue durée existe tous les jours, mais qu'il se déplace dans le temps. Il se

produit tantôt de jour, tantôt de nuit. A part quelques irrégularités, il semble qu'il stationne par époques, c'est-à-dire qu'on le trouve plusieurs jours consécutifs aux mêmes heures, puisque, brusquement, il change d'horaire. Ainsi, en juillet, l'affaiblissement a lieu après le coucher du soleil (fig. 7), alors qu'en mai-juin il se faisait sentir avant.

Cela m'expliquerait la faiblesse des réceptions de février à juin 1924; les heures d'émission des P. T. T. coïncidant alors avec les trous.

Ayant obtenu des résultats identiques sur l'onde de 50 mètres, je me demande s'il n'en serait pas de même sur les grandes ondes, ce qui mettrait de l'ordre dans le chaos présenté par les graphiques de Meudon publiés trimestriellement dans *l'Onde Électrique*. Malheureusement, pour tirer la chose au clair, il faudrait effectuer des mesures très fréquentes sur des émissions quotidiennes de longue durée.

Les observations sur les P. T. T. deviennent de plus en plus difficiles à cause du développement exagéré des stations de radio-diffusion. Il y a des interférences fâcheuses et il est actuellement très fréquent de ne pouvoir effectuer de mesures sérieuses plusieurs soirs consécutifs à cause des battements d'ondes porteuses.

Le gros accroissement d'intensité qui a débuté fin août, s'il est gênant parce qu'il sature les appareils, n'empêche cependant pas de retrouver toujours la même allure des graphiques (fig. 8). Il n'y a plus d'extinction, mais les variations relatives sont identiques, les ordonnées étant simplement multipliées par un facteur constant.

Onde de 200 mètres.

L'onde de 200 mètres ayant été signalée comme très impropre à tout trafic à cause de ses irrégularités, j'ai voulu l'étudier parallèlement à celle de 450 mètres. Depuis dix-huit mois, j'attends le plus petit renseignement, et il ne vient toujours pas.

Aucune station officielle ne travaille sur 200 mètres, cette onde étant réservée aux amateurs. Or, depuis longtemps, ceux-ci travaillent sur des ondes plus courtes. Faute d'émetteurs, j'ai cherché des écouteurs en assurant moi-même l'émission. Pendant seize mois, un quart d'heure chaque semaine, à une heure commode pour tous, j'ai fait des émissions, sous puissance très constante. A part quelques renseignements très intéressants venus de Toulon, je n'ai rien reçu. Je travaille actuellement sur 110 mètres tous les jeudis, de 20 h. 30 à 20 h. 45, TMG (indicatif 8 AO), peut-être aurai-je plus de chance.

J'ai cherché des correspondants. Les uns m'ont répondu qu'une émission française n'était pas intéressante, le grand chic étant d'écouter les Papous. D'autres collectionnent des indicatifs et passent à une autre émission sitôt qu'ils ont pu comprendre un « CQ de X... ». Introduire le sport dans la science, c'est sonner sa déchéance.

Onde de 115 mètres de F. L.

Distance émetteur-récepteur : 180 kilomètres ; différence d'heure : — 8'.

Lorsque les amateurs commencèrent à émettre sur des ondes voisines de 100 mètres, ils signalèrent tous une différence essentielle entre ces ondes et celles de 200 mètres : aucun évanouissement. C'est faux, déplorablement faux.

Pour montrer sur quelles bases fragiles on risque d'étayer ses convictions, je prends au hasard dans une revue de T. S. F., et je prétends trouver des quantités d'exemples semblables, un extrait de procès verbal d'écoute :

« 11 h. 55	CQ de X	sur 100 mètres ;
« 11 h. 58	CQ de Y	sur 110 mètres ;
« 11 h. 59	CQ de Z	sur 90 mètres ;

Aucun affaiblissement n'affecte ces trois ondes. »

On écoute une minute à peine et on en conclut que l'onde de 100 mètres est à l'abri de l'évanouissement. Il est difficile de traiter la science avec plus de désinvolture.

Les variations sur les ondes courtes sont quelquefois si rapides qu'un lecteur attentionné au texte ne les remarque pas ; s'il manque un point dans un signal, une lettre dans un mot, il supplée malgré lui par l'habitude et le contexte. Si les manques sont trop fréquents, il déclare que le manipulant est mauvais alors qu'au même instant un autre récepteur signalera une très bonne manipulation. S'il y a un arrêt brutal au cours d'un texte, le récepteur écrit « panne de l'émetteur » alors que c'est en réalité une extinction due à la propagation.

Lorsqu'on analyse une réception, on est tout étonné de trouver autre chose que ce qui est admis. Je vais tâcher de donner une idée des phénomènes, idée bien restreinte car pour se faire une opinion, il faut examiner d'un même coup d'œil les longs graphiques relevés tous les jours sur une même émission bien stable.

J'ai suivi la Tour Eiffel sur 115 mètres dès le début de ses essais. J'ai été frappé tout de suite des extraordinaires variations de longueur d'onde obligeant la manœuvre constante du condensateur de récep-

tion. Les caractéristiques de l'émetteur étant variables, j'incriminais naturellement l'émission et attendis patiemment la mise au point définitive du poste pour commencer des mesures journalières.

Recevant assez puissamment l'émission, j'avais promis en

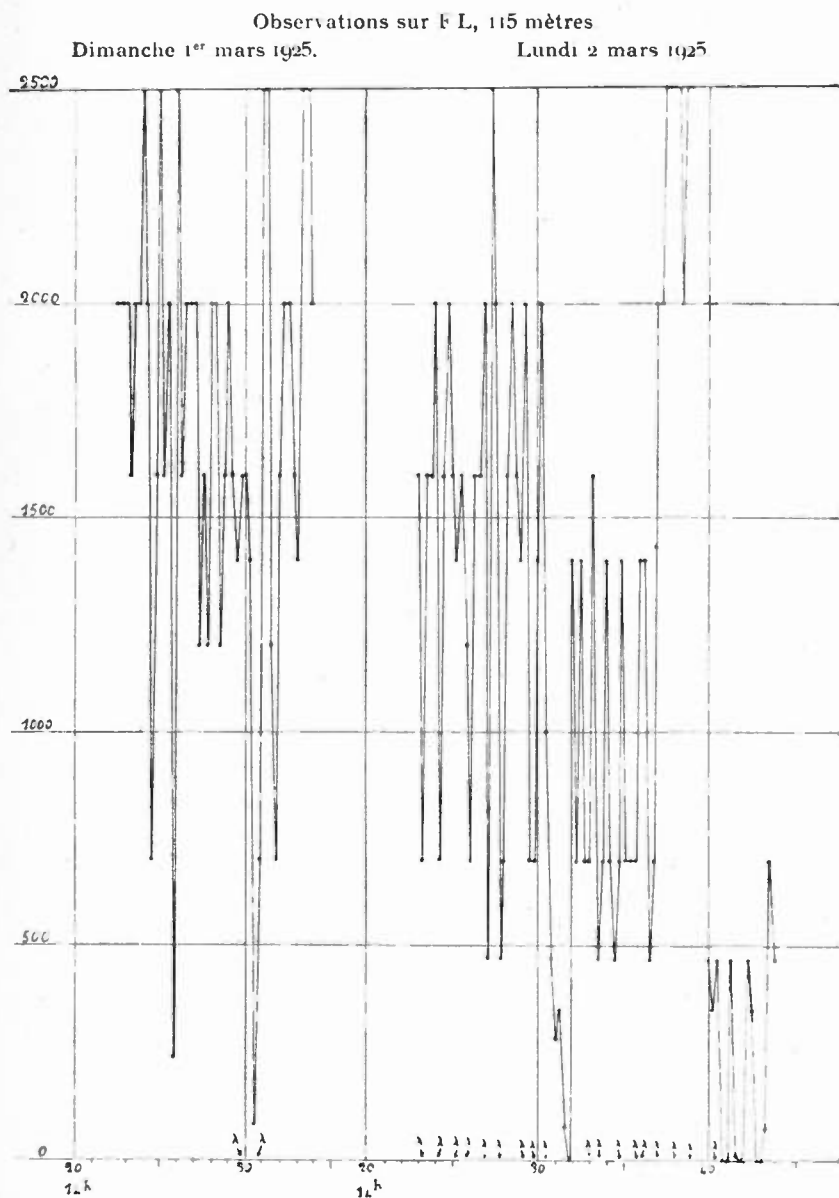


Fig. 9.

août 1924 au capitaine commandant le poste de faire de l'enregistrement pour qu'il puisse se rendre compte de la manipulation. Le capitaine attend encore. En effet, pendant tout le mois d'août et la première quinzaine de septembre, il me fut impossible de recevoir F L 115 mètres de jour, alors que je l'avais très bien de jour les mois précédents. La nuit, la réception était d'une instabilité extrême, au point même de ne pouvoir prendre un seul chiffre entier. Certaines nuits, cependant, la réception était assez stable et, comme par hasard, je n'avais pas préparé mes enregistreurs. Le lendemain tout était prêt, mais quelques points ou traits seulement étaient perceptibles.

J'abandonnais alors ce petit jeu de cache-cache et me mis à étudier les anomalies du 115 mètres.

Elles sont réellement extraordinaires.

Tantôt F L est très stable, par exemple, le 1^{er} mars (fig. 9), mais

F L 115 mètres. Mardi 17 mars 1925.

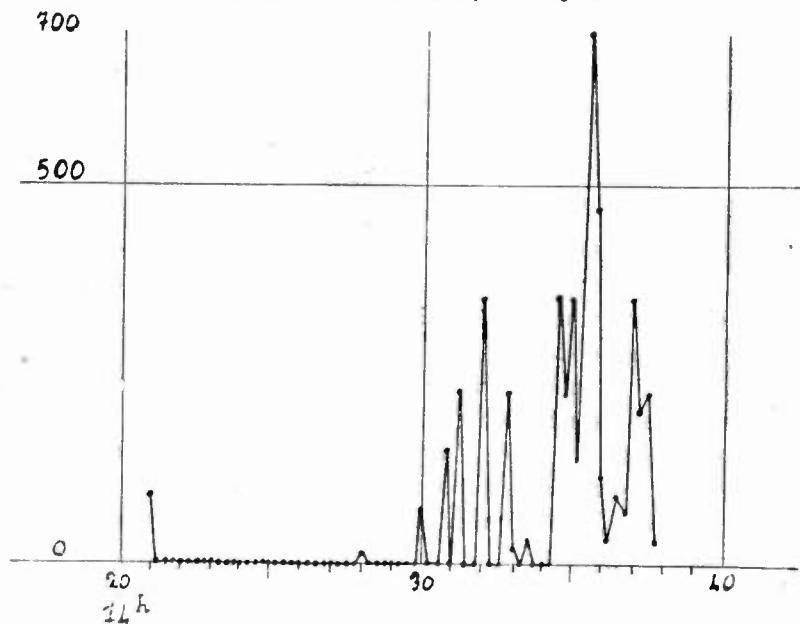


Fig. 10.

c'est extrêmement rare. Tantôt F L a de nombreuses variations de longueur d'onde, accompagnées de variations d'intensité de réception qui, elles, sont indépendantes des variations de longueur d'onde

(2 mars, fig. 9). Sur les graphiques, j'ai indiqué par la lettre *b* toutes les fois qu'il m'a fallu retoucher l'accord.

Quelquefois, la réception, quoique variable, est en moyenne puissante et lisible (fig. 9); d'autres fois elle est faible et illisible (17 mars, fig. 10).

Enfin, la réception, très instable au début, peut devenir très stable au cours d'un même télégramme ou inversement (fig. 11).

FL 115 metres Dimanche 8 mars 1925.

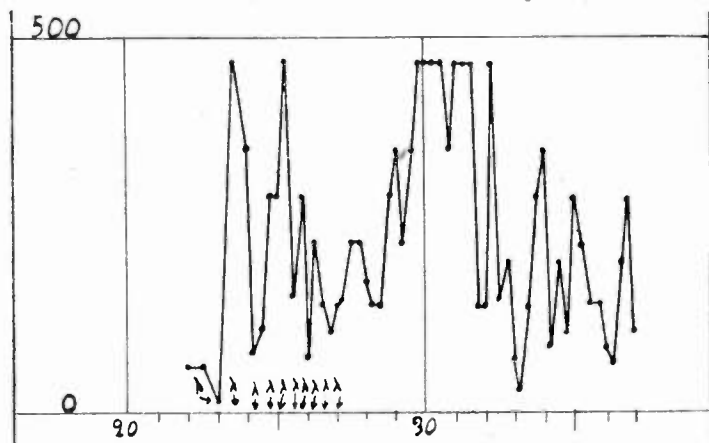


Fig. 11.

Bref, malgré sa puissance, la Tour Eiffel est incapable d'assurer un service régulier avec Le Mans à 180 kilomètres. Par contre, il paraît qu'en Amérique sa réception est d'une merveilleuse régularité et d'une rigoureuse stabilité.

J'avais un moyen de vérifier le fait en étudiant des stations lointaines travaillant sur la même onde.

Tunis (indicatif OCTU) émet tous les jours sur 120 mètres à 18 h. 30; distance environ: 1 400 kilomètres. Sa réception au Mans est d'ordinaire assez faible, souvent illisible (fig. 12), exceptionnellement

Tunis 120 metres
12 mars 1925

• Jacques-Cartier • 115 metres
11 mars 1925 Golfe du Mexique.

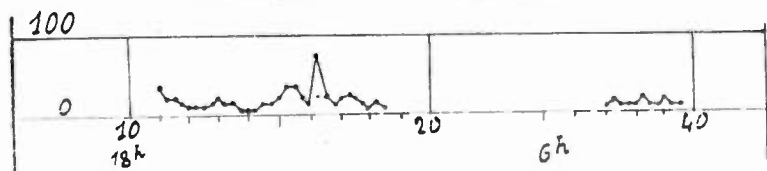


Fig. 12.

elle a été très forte les 1^{er} et 2 mars (fig. 13). Les variations d'intensité sont très fortes et très rapides, comme sur toutes les petites ondes, mais rarement, j'ai eu à constater des variations de longueur d'onde.

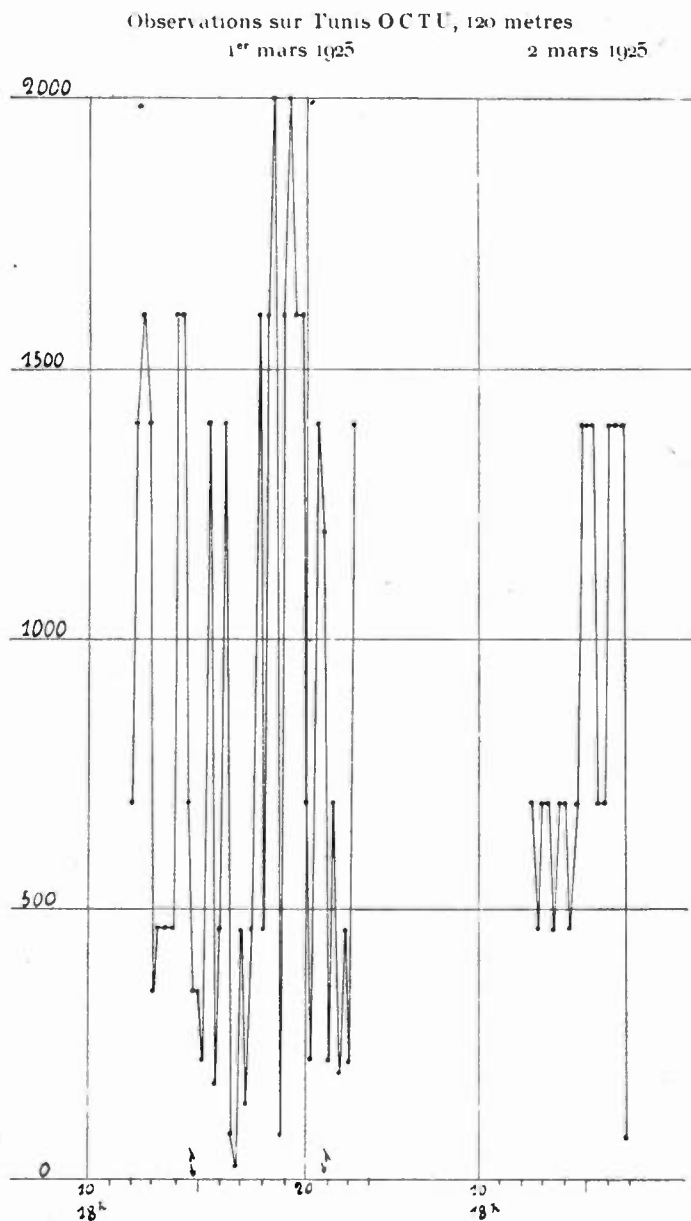


Fig 13

Le *Jacques-Cartier* est le bateau-école de la Compagnie Transatlantique. L'Office National Météorologique profite de ses fréquents voyages à travers l'Atlantique pour lui faire recueillir toutes les observations des navires entre France et Amérique. Tous les jours, il transmet ses observations sur des ondes variant d'un voyage à l'autre et qui ont été de 115 et 50 mètres en février-mars.

J'ai pu suivre le *Jacques-Cartier* sur 115 mètres du Havre au Mexique. L'intensité est allée en décroissant avec la distance (fig. 12). Mais pendant le retour il m'a été impossible de l'avoir à 6 heures, malgré la distance décroissante; il faisait jour au récepteur, mais nuit sur presque tout le trajet. De même, je n'ai pu le recevoir lorsque à midi il transmettait dans le port du Havre pendant ses nouveaux préparatifs de départ.

Ce qui ressort de l'étude du 115 mètres mobile, étude que je n'ai malheureusement pas pu assurer comme je le désirais vu les heures de travail, c'est que cette émission est affectée, comme celle d'F L, de variations de longueur d'onde. Mais ces variations de longueur d'onde vont en se raréfiant lorsque la distance augmente et à grande distance il n'y en a pratiquement plus. Il serait intéressant d'avoir confirmation de cette remarque de la part d'observateurs placés à des distances croissantes de F L.

J'insiste sur le fait que, au récepteur, variations de longueur d'onde et variations d'intensité sont indépendantes. En rattrapant l'onde, l'intensité peut se maintenir constante ou varier profondément. De même, lorsqu'il y a affaiblissement, il est souvent inutile de chercher un nouvel accord.

(A suivre.)

M. LARDRY.

LES CIRCUITS POLY-ONDES

Par L. BRILLOUIN,

Docteur ès Sciences

et E. FROMY,

Ingenieur à l'E. C. M. R.

I. — INTRODUCTION

L'idée de faire vibrer des circuits ou des antennes sur plusieurs ondes n'est pas nouvelle. L'un de nous avait été amené à étudier, il y a quelques années, un circuit à deux ondes du type représenté figures 27 et 31-d.

En 1922, MM. Abraham et Planiol ⁽¹⁾ ont signalé, à propos d'une étude sur une nouvelle méthode d'exploitation doublant le rendement des grands postes, la possibilité d'accorder un récepteur simultanément sur deux ondes, sans d'ailleurs donner de détail.

Plus récemment, M. Guéritot avait expérimenté des circuits du type de la figure 28 et entrepris une étude systématique des circuits à deux ondes que son décès prématuré est malheureusement venu interrompre.

Enfin en octobre 1924, MM. Palmers et Forshaw ⁽²⁾ étudiaient un certain nombre de circuits à deux ondes obtenus par le couplage de deux circuits oscillants. Ils envisageaient trois sortes de couplage :

a) Couplage par induction électromagnétique ou électrostatique. Ce mode de couplage donne un système à deux ondes, mais il ne constitue pas à proprement parler un circuit poly-onde puisque les deux circuits restent séparés; nous n'en parlerons ci-après que pour mémoire.

b) Couplage par une self ou une capacité commune aux deux circuits, ce qui conduisait à des circuits équivalents à ceux des figures 31-b et 31-c.

c) Couplage par une self ou une capacité extérieure aux circuits : figures 32-c et 32-f.

Les circuits 31-a, 32-a, 32-b, 32-c, 32-d et 33 semblent ne pas avoir été encore indiqués et constituer des solutions nouvelles. On peut

⁽¹⁾ *Onde Électrique*, 1^{re} année, n° 7, juillet 1922.

⁽²⁾ *Electrical Engineers*, vol. 62, n° 333, octobre 1924.

d'ailleurs en réaliser beaucoup d'autres comme nous le verrons plus loin. Il était intéressant de grouper sous une même formule les résultats un peu épars qui viennent d'être résumés et de reprendre l'étude amorcée par M. Guéritot en la généralisant autant que possible afin de rechercher systématiquement toutes les formes possibles des circuits bi-ondes.

Nous commencerons par examiner les circuits poly-ondes en général, puis nous nous arrêterons au cas le plus simple en pratique des circuits à deux ondes.

II. — ÉTUDE GÉNÉRALE DES CIRCUITS POLY-ONDES

L'étude mathématique d'un circuit poly-onde est en général très pénible dès que le nombre des fréquences de résonance augmente. Nous essaierons dans ce qui suit d'analyser les phénomènes de résonances multiples et d'étudier les propriétés des circuits complexes à l'aide d'un raisonnement physique ou graphique d'un maniement plus simple.

Si on examine de près un circuit complexe possédant plusieurs fréquences de résonance, on s'aperçoit qu'on peut toujours le ramener à un circuit unique comprenant en série des selfs, des capacités et des circuits-bouchons plus ou moins compliqués. Il faut entendre par circuit-bouchon un circuit constitué par des bobines de self et des capacités, susceptible d'entrer en résonance et branché dans le circuit par deux quelconques de ses points. Ce circuit-bouchon peut d'ailleurs être lui-même un circuit complexe possédant plusieurs fréquences de résonance et il pourra au besoin être décomposé en éléments plus simples.

Les résonances multiples des circuits complexes peuvent s'interpréter comme une conséquence de la propriété que possède un circuit-bouchon de jouer le rôle, dans le circuit où on l'insère, soit d'une self, soit d'une capacité, suivant la fréquence du courant utilisé. Le bouchon se trouve être le nœud du problème. Sous sa forme la plus simple, il est constitué par une self et une capacité en parallèle.

Nous allons d'abord examiner ce cas dans toute sa généralité; nous verrons ensuite ce qu'il advient lorsqu'on complique les bouchons utilisés. Enfin nous rechercherons les combinaisons de circuits à deux ondes qui sont les plus simples et les plus intéressantes en pratique.

Circuits poly-ondes à bouchons simples. — Nous examinerons d'abord rapidement les propriétés d'un bouchon simple constitué par une self L et une capacité C en parallèle (fig. 1).

On sait que l'impédance d'un tel bouchon a pour valeur :

$$Z = \frac{L\omega}{1 - \frac{\omega^2}{\Omega^2}}$$

en désignant par ω la pulsation du courant, utilisé et par $F = \frac{\Omega}{2\pi}$

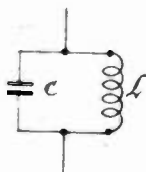


Fig. 1.

la fréquence de résonance du bouchon considéré comme circuit oscillant isolé.

On peut donc, en prenant comme positive l'impédance de self,

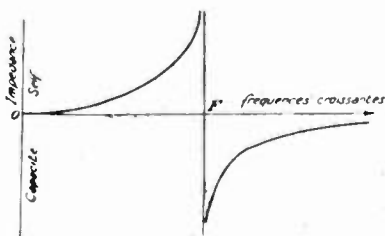


Fig. 2.

représenter la variation de l'impédance apparente du bouchon avec la fréquence du courant comme l'indique la figure 2.

On supposera, pour simplifier, que la résistance du bouchon est assez faible pour que, à la résonance, son impédance devienne très grande, ce qui est réalisé dans la pratique.

Cela étant, imaginons qu'on réalise un circuit comprenant une self L , une capacité C et n circuits-bouchons de fréquences propres

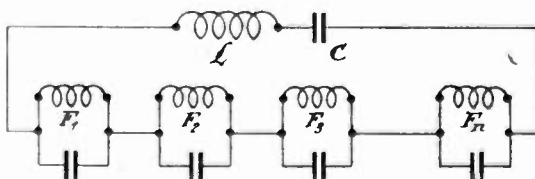


Fig. 3.

$F_1, F_2, F_3, \dots F_n$ (fig. 3). Imaginons, pour fixer les idées, que les bouchons soient rangés dans un ordre tel que : $F_1 < F_2 < F_3 < \dots F_n$.

Pour toutes les fréquences inférieures à F_1 , les bouchons jouent

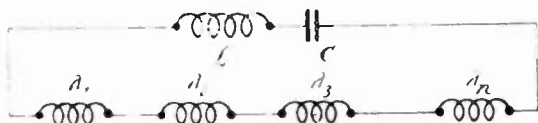


Fig 4

tous le rôle de selfs et le circuit proposé est équivalent à celui de la figure 4.

Ce circuit possède une fréquence de résonance inférieure à F_1 et une seule. En effet, représentons figure 5 la courbe d'impédance du pre-

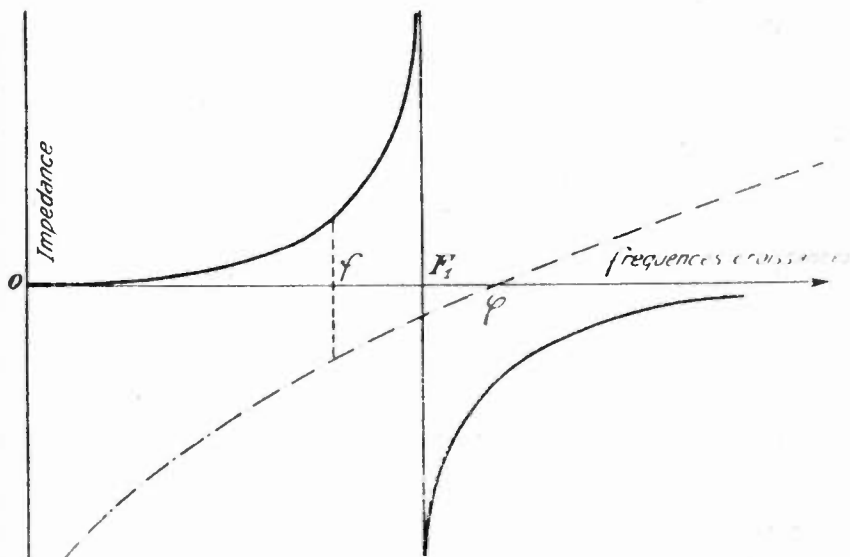


Fig 5

mier bouchon (trait plein) et traçons la courbe de l'impédance du reste du circuit constitué par la self L , la capacité C et les $n - 1$ bouchons restant (trait mixte). Cette courbe est quelconque a priori, mais on pourra toujours trouver une fréquence φ au-dessous de laquelle l'impédance du circuit sans le bouchon 1 est négative. Il s'en suit qu'on pourra toujours, quel que soit φ , trouver dans la zone des fréquences inférieures à F_1 une fréquence de résonance f pour laquelle l'impédance totale du circuit est nulle, et on n'en trouvera qu'une

Si l'on réduit progressivement la self inductance L , la fréquence f tend vers la limite F_1 , le bouchon 1 jouant le rôle d'une self inductance extrêmement grande.

On verrait par un raisonnement analogue que pour toutes les fréquences supérieures à F_n , les circuits-bouchons jouant tous le rôle

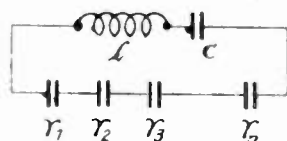


Fig. 6.

de capacités, le circuit proposé est équivalent à celui de la figure 6 et qu'il a une fréquence f' de résonance supérieure à F_n . Là encore, si l'on essaye d'augmenter L ou C pour faire décroître f' , on arrive seulement à rapprocher f' de la valeur limite F_n pour laquelle le même bouchon devient équivalent à une très petite capacité.

Enfin pour les fréquences intermédiaires comprises entre les fréquences de deux bouchons consécutifs, tous les bouchons réglés sur des fréquences supérieures jouent le rôle de selfs et tous les bouchons réglés sur des fréquences inférieures celui de capacités.

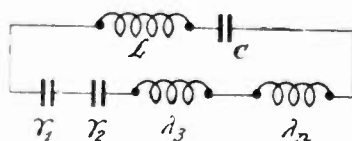


Fig. 7

Par exemple, pour les fréquences comprises entre F_2 et F_3 , le circuit est équivalent à celui de la figure 7.

Il possède une fréquence de résonance comprise entre F_2 et F_3 et une seule. On peut s'en assurer par un raisonnement analogue à celui que nous avons utilisé plus haut: figurons (fig. 8) les courbes d'impédances des bouchons 2 et 3 (traits pleins) et du reste du circuit (trait mixte) qui se présente comme ci dessus.

Dans la zone $F_2 F_3$ qui seule nous intéresse pour le moment, nous pourrions représenter l'impédance des deux bouchons par la courbe en pointillé dont les ordonnées sont la somme algébrique des ordonnées des courbes en trait plein.

Il est facile de s'assurer sur le graphique de la figure 8 qu'on peut

toujours trouver entre F_2 et F_3 une fréquence f pour laquelle l'impédance totale est nulle, c'est-à-dire pour laquelle le circuit entre en résonance, et on n'en pourra trouver qu'une.

Il en sera de même entre tous les bouchons. Par conséquent, si le

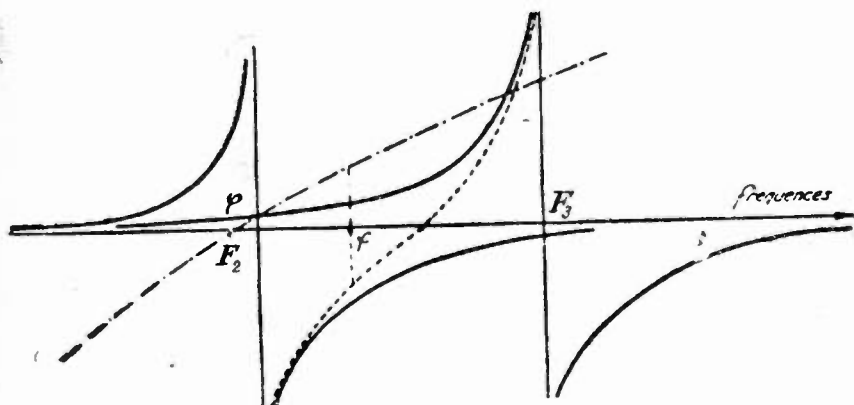


Fig. 8.

circuit comprend N bouchons, il possède $N + 1$ fréquences de résonances (cas A).

Si on supprime la self L ou la capacité C (cas B), on fait disparaître l'une des résonances extrêmes pour laquelle l'impédance du circuit est du même signe que celle de l'appareil conservé, car alors le circuit est équivalent à $N + 1$ selfs ou $N + 1$ capacités en série et ne peut osciller.

De même, si on supprime la self L et la capacité C (cas C), on fait disparaître pour le même motif les résonances extrêmes et le circuit a $N - 1$ résonances. Ces résultats sont résumés par le tableau suivant :

TABLEAU N° 1.

TYPE DU CIRCUIT	NOMBRE DE RÉSONANCES
A	$N + 1$
B	N
C	$N - 1$

Nous avons jusqu'ici supposé tous les bouchons différents les uns des autres.

Si deux bouchons sont identiques, ou simplement ont même fré-

quence de résonance F , la fréquence de résonance qui était comprise entre eux devient égale à leur valeur commune et le nombre des résonances ne change pas.

Si trois bouchons ont des fréquences propres égales, le nombre total des résonances du circuit est réduit de 1, car deux fréquences de résonance deviennent égales à leur valeur commune.

Plus généralement, s'il y a N bouchons dont m ont des fréquences propres identiques, le nombre de résonances est donné par le tableau ci-dessous, applicable au cas où $m \geq 2$.

TABLEAU N° 2

TYPÉ DU CIRCUIT	NOMBRE DE RÉSONANCES
A	$N - m + 3$
B	$N - m + 2$
C	$N - m + 1$

On étudierait de la même façon le cas où le circuit possède plusieurs groupes de bouchons semblables.

Circuits poly-ondes à bouchons complexes. — Nous venons d'examiner le cas simple de bouchons dans lesquels la self et la capacité étaient séparées dans chaque branche (fig. 1). Mais d'une façon générale les deux branches peuvent posséder simultanément des selfs et des

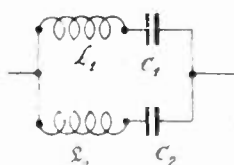


Fig. 9.

capacités. On obtient alors le bouchon représenté (fig. 9) qui est le plus simple des bouchons complexes.

Nous limiterons notre étude à ce cas pour ne pas être entraînés trop loin, et nous étudierons tout d'abord, comme nous l'avons fait pour le bouchon simple, la loi de variation de l'impédance du bouchon complexe en fonction de la fréquence.

Chaque branche du bouchon est susceptible d'entrer en résonance pour une fréquence déterminée pour laquelle son impédance est nulle

Soient f_1 et f_2 ces fréquences pour chaque branche et supposons pour fixer les idées : $f_1 < f_2$.

Pour toutes les fréquences supérieures à f_2 les deux branches et par suite le bouchon tout entier ont une impédance de self. De même pour toutes les fréquences inférieures à f_1 le bouchon est équivalent à une capacité.

Pour les fréquences f_1 et f_2 l'impédance devient nulle.

Enfin pour les fréquences comprises entre f_1 et f_2 la branche $L_1 C_1$ joue le rôle d'une self et la branche $L_2 C_2$ celui d'une capacité. On est alors ramené au cas d'un bouchon simple et on trouve une fréquence de résonance F_1 comprise par conséquent entre f_1 et f_2 , pour laquelle l'impédance du bouchon devient infinie. Il est d'ailleurs facile de vérifier ces résultats analytiquement.

La courbe de variation de l'impédance du bouchon avec la fréquence prend dans ce cas la forme de la figure 10.

On voit que la courbe du bouchon simple (fig. 2) est un cas parti-

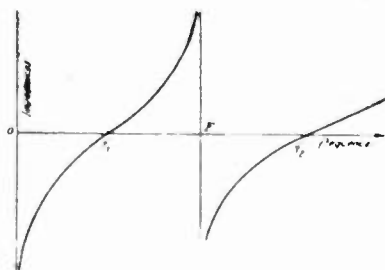


Fig. 10

culier de la courbe du bouchon complexe dans laquelle les points f_1 et f_2 seraient rejetés le premier à zéro et le second à l'infini.

$f_1 = 0$ parce que $C_1 = \infty$, c'est-à-dire est court-circuité, la branche 1 ne contient que de la self.

$f_2 = \infty$ parce que $L_2 = 0$, la branche 2 ne contient plus que de la capacité.

On pourrait encore avoir $f_1 = 0$ ou $f_2 = \infty$ en prenant $L_1 = \infty$ et $C_2 = 0$, ce qui revient à supprimer l'une ou l'autre des deux branches ; mais on ne pourrait jamais dans ce cas avoir simultanément $f_1 = 0$ et $f_2 = \infty$.

Comme cas particulier on peut encore envisager ceux des figures 11 et 12 dans lesquelles on a une branche complète et une autre composée seulement d'une self ou d'une capacité.

Nous désignerons ces bouchons sous le nom de bouchons semi-complexes.

Les courbes de variations de l'impédance se déduisent sans peine de la figure 10 en faisant $f_1 = 0$ pour le cas de la figure 11 et $f_2 = \infty$ pour celui de la figure 12.

En remplaçant les bouchons simples par des bouchons complexes

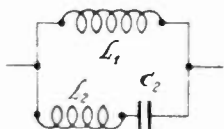


Fig 11.

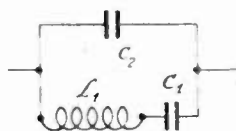


Fig 12.

ou semi-complexes, on pourrait obtenir une nouvelle série de circuits poly-ondes.

Nous n'aborderons pas cette étude dans toute sa généralité car elle deviendrait extrêmement compliquée et nous la limiterons au cas particulier d'un circuit constitué par deux bouchons complexes en série ;

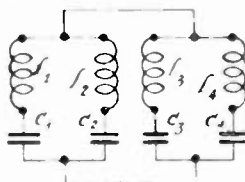


Fig 13

ce cas nous permettant de traiter celui des circuits à deux ondes qui est le véritable but de notre étude.

Imaginons donc un circuit constitué par deux bouchons complexes (fig. 13).

Soient f_1 F f_2 et f'_1 F' f'_2 les trois fréquences caractéristiques de chacun des deux bouchons.

Supposons pour fixer les idées que :

$$f_1 < F < f_2 < f'_1 < F' < f'_2$$

et traçons les courbes d'impédance (fig 14).

Il est facile de voir sur ces courbes que l'on peut toujours trouver trois fréquences de résonance φ_1 φ_2 φ_3 quelles que soient les formes des courbes et les valeurs relatives des six fréquences caractéristiques des circuits.

Le nombre des fréquences ne pourrait être que plus élevé si on compliquait le circuit en mettant en série avec les deux bouchons des selfs, des capacités ou d'autres bouchons

Si on shuntait tout ou partie des bouchons par des selfs ou des capacités, on réaliserait des bouchons plus complexes encore que ceux que nous venons d'étudier, possédant plusieurs fréquences de résonance au lieu d'une et qui fourniraient des circuits à trois ondes ou plus.

Comme nous avons spécialement en vue les circuits à deux ondes, nous ne chercherons pas à compliquer le schéma de la figure 13, mais au contraire à le simplifier en supprimant des selfs ou des capacités.

Ces mutilations ont pour effet de transformer les bouchons com-

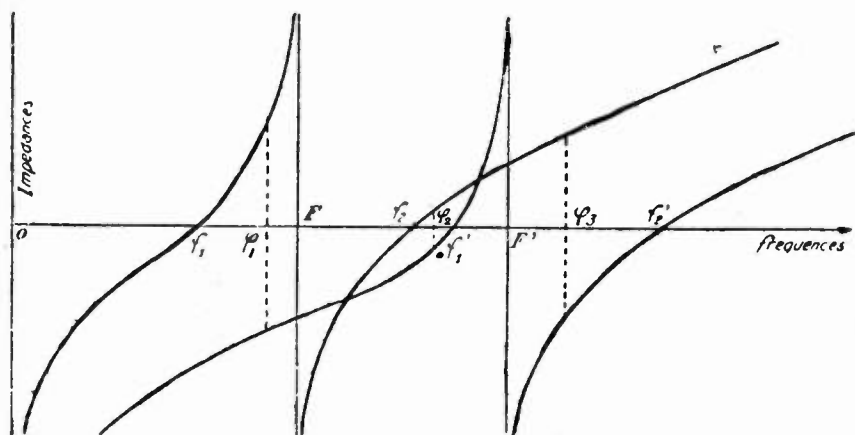


Fig. 14.

plexes en bouchons semi-complexes, en bouchons simples, ou en circuits ordinaires constitués par des selfs ou des capacités en série.

En procédant par simplifications successives, on obtient les divers cas suivants :

- 1° Un bouchon complexe en série avec :
 - Un bouchon semi-complexe ;
 - Un bouchon simple ;
 - Une self et une capacité ;
 - Une self ;
 - Une capacité ;
- 2° Un bouchon semi-complexe en série avec :
 - Un bouchon semi-complexe ;
 - Un bouchon simple ;
 - Une self et une capacité ;
 - Une self ;
 - Une capacité.

Il est inutile de pousser plus avant la décomposition, car nous

retrouverions des circuits à bouchons simples déjà étudiés ou des circuits ordinaires.

Nous allons maintenant examiner séparément ces divers cas et rechercher le nombre de résonances

Bouchon complexe et bouchon semi-complexe. — On passe du cas de la figure 13 à celui-ci en supprimant une self ou une capacité dans l'une des branches des bouchons ou en les court-circuitant.

Le fait de supprimer une self ($L = 0$) revient à rendre infinie la fréquence caractéristique de la branche correspondante. De même supprimer une capacité ($C = \infty$) équivaut à annuler la fréquence de résonance correspondante.

Si on veut respecter pour la discussion les relations de grandeur admises plus haut entre les six fréquences caractéristiques des bouchons, on voit qu'on passera du cas général au cas actuel :

Soit en supprimant C_1 , ce qui entraîne $f_1 = 0$.

Soit en supprimant L_4 d'où $f'_2 = \infty$.

Dans ces deux hypothèses les trois ondes subsistent. Si on enlevait d'autres selfs ou d'autres capacités, on modifierait les relations entre les six fréquences du circuit et il faudrait refaire les courbes de la figure 14, mais on arriverait à la même conclusion, quelle que soit la suppression réalisée.

Bouchon complexe et bouchon simple. — Pour transformer l'un des bouchons complexes en bouchon simple, il suffit de supprimer simultanément dans les deux branches une self et une capacité.

Imaginons que nous mutilions le bouchon $L_3 C_3$, $L_4 C_4$, en retirant la self L_4 et la capacité C_3 conformément à la relation exprimée implicitement par la courbe de la figure 14 :

$$f'_1 < F' < f'_2.$$

Il vient alors $f'_1 = 0$ et $f'_2 = \infty$: le circuit conserve les trois ondes.

On arriverait évidemment au même résultat en supprimant L_3 et C_4 , ce qui revient à retourner le bouchon sur la figure 13 et la courbe correspondante sur la figure 14.

Bouchon complexe en série avec une self et une capacité. — Pour réaliser ce nouveau circuit, il suffit de supprimer l'une des branches $L_1 C_1$, $L_2 C_2$, $L_3 C_3$ ou $L_4 C_4$ du circuit de la figure 13.

On peut y arriver :

Soit en augmentant indéfiniment sa self, ce qui revient à annuler la fréquence de résonance correspondante.

Soit en annulant sa capacité, c'est-à-dire en rendant infinie sa fréquence propre.

Dans le cas présent la modification consistera donc dans la coupure de la branche $L_1 C_1$ ($L_1 = \infty$) ou de la branche $L_4 C_4$ ($C_4 = 0$).

La première hypothèse entraîne l'annulation de f_1 , et en même temps celles de F et φ_1 . La fréquence inférieure de résonance disparaît en s'annulant.

La seconde hypothèse conduit à rendre infinie les fréquences f'_2 , F' et φ_3 qui disparaissent en pratique de ce fait.

Dans les deux cas le circuit n'a plus que deux ondes et se présente sous la forme de la figure 15.

Les résultats seraient identiques quelle que soit la branche supprimée. On pourrait s'en assurer en retraçant les courbes de la

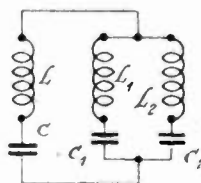


Fig. 15.

figure 14 dans toutes les hypothèses possibles ; mais il est plus simple d'étudier directement le circuit bi-onde de la figure 15.

A cet effet, traçons (fig. 16) la courbe d'impédance du bou-

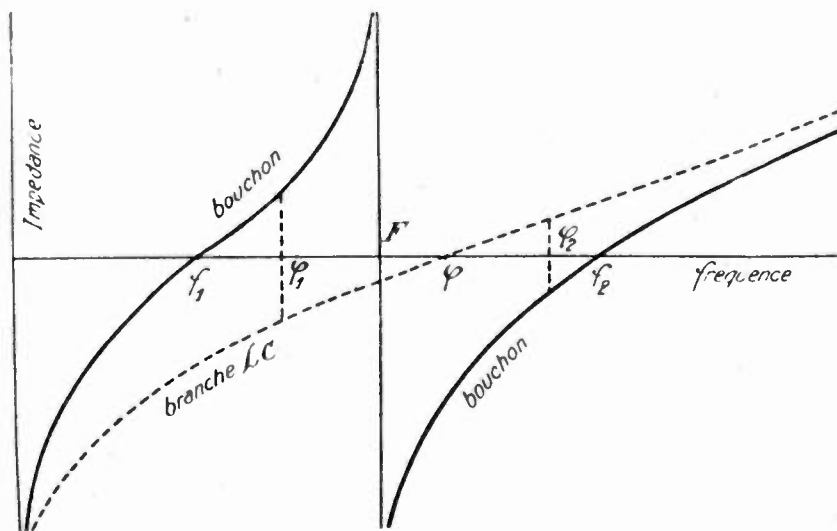


Fig. 16.

chon $L_1 C_1$, $L_2 C_2$ (trait plein) et celle de la branche LC (trait pointillé); cette dernière rencontre l'axe des abscisses en un point correspondant à une fréquence φ telle que :

$$L C \cdot 4 \pi^2 \varphi^2 = 1$$

On trouve bien deux fréquences de résonance φ_1 , φ_2 quelles que soient les valeurs relatives du φ par rapport aux fréquences caractéristiques du bouchon.

Elles subsistent en particulier si $\varphi = 0$, c'est-à-dire si $C = \infty$ ou si $\varphi = \infty$, c'est-à-dire $L = 0$.

Les solutions $L = \infty$ et $C = 0$ qui conduisent aussi à $\varphi = 0$ et $\varphi = \infty$ ne sont pas intéressantes, car elles reviennent à supprimer la branche LC et à réduire le circuit au bouchon $L_1 C_1$, $L_2 C_2$ qui n'a qu'une onde propre.

Bouchon complexe et une self. — Ce cas n'est autre que le précédent dans lequel on a fait $C = \infty$, donc $\varphi = 0$. Il fournit un circuit bi-onde.

Bouchon complexe et capacité. — On l'obtient en faisant $L = 0$ dans le circuit de la figure 15, donc $\varphi = \infty$. Nous venons de voir qu'il y a encore deux ondes propres.

Remarquons en passant que si on faisait simultanément $L = 0$ et $C = \infty$, on serait amené au circuit de la figure 17. La courbe d'impé-

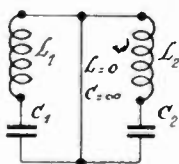


Fig. 17.

dance de la branche LC se confond avec l'axe des abscisses (impédance nulle) et on trouve encore deux fréquences de résonance qui ne sont autres que les fréquences f_1 et f_2 caractéristiques des deux branches. Ce résultat est d'ailleurs évident à priori, car le circuit est alors constitué par deux circuits distincts $L_1 C_1$ et $L_2 C_2$ ayant un point commun.

Ce n'est pas à proprement parler un circuit complexe et nous ne le citons que pour mémoire.

Deux bouchons semi-complexes. — Un tel circuit se présentera

sous l'une des formes *a*, *b* ou *c* de la figure 18 que l'on peut ramener par simple transformation de schéma aux circuits de la figure 19.

Ces circuits ne sont pas essentiellement nouveaux ; ils sont consti-

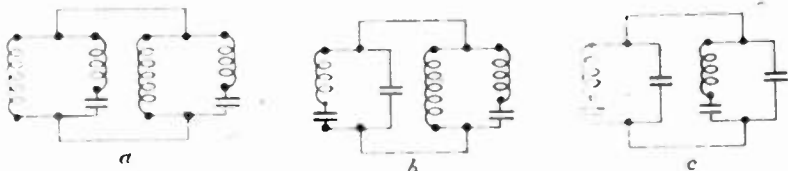


Fig 18

tués par un bouchon complexe en série respectivement avec une self, un bouchon simple ou une capacité (voir plus haut).

Nous conserverons néanmoins cette forme, car sa discussion nous conduit à deux circuits nouveaux bi-ondes.

A cet effet reportons-nous aux figures 18 *a*, *b* et *c* et aux courbes correspondantes de la figure 20.

On y voit que le circuit de la figure 18 *b* a bien trois ondes, comme l'indiquait son assimilation au circuit de la figure 19 *b*.

Dans le circuit de la figure 18 *a*, la première fréquence de réso-

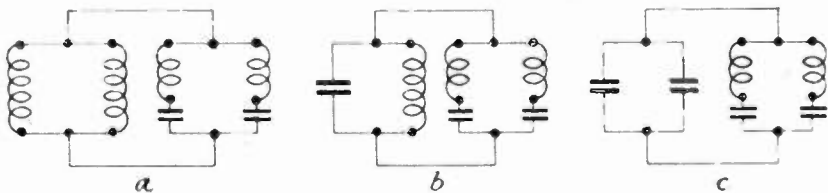


Fig. 19

nance φ_1 a disparu en devenant nulle, parce que dans la zone des fréquences inférieures à F' les deux bouchons jouent le rôle de self. On la ferait reparaitre en plaçant une capacité en série avec les deux bouchons (trait pointillé).

On ne changerait rien au contraire en mettant en série dans le

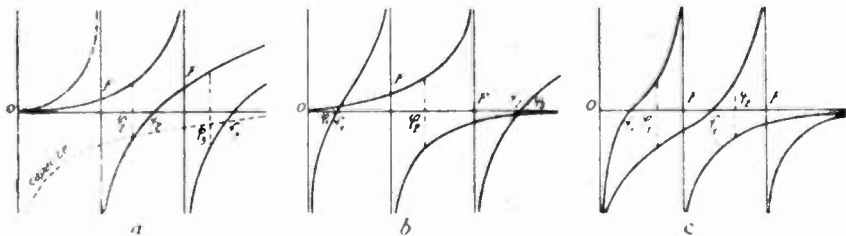


Fig 20

circuit une self supplémentaire. On obtient alors le circuit bi-onde de la figure 21 — a.

On verrait de la même manière que la troisième fréquence propre a disparu dans le circuit de la figure 18 — c en devenant infinie, les

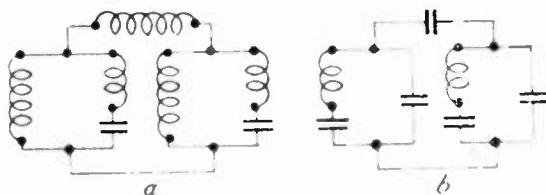


Fig. 21.

deux bouchons jouant le rôle de capacités. On la ferait reparaitre en plaçant une self dans le circuit. Au contraire, en intercalant une capacité, on obtient un autre circuit à deux ondes (fig. 21 — b)

Bouchon semi-complexe et bouchon simple. — Les circuits de cette classe se présentent sous l'une des formes de la figure 22.

Ces circuits ne sont pas nouveaux, car par une simple transfor-

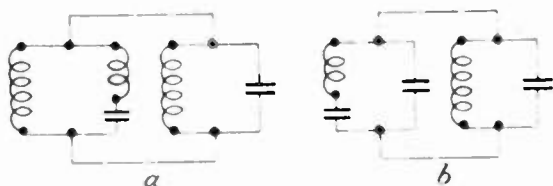


Fig. 22.

mation de dessin on peut les ramener au cas d'un bouchon simple en série avec une self et une capacité. Ce sont des circuits bi-ondes.

En raisonnant sur ces circuits comme nous venons de le faire

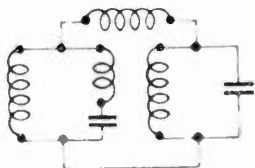


Fig. 23

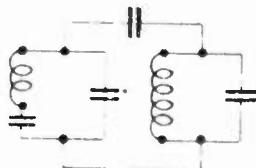


Fig. 24

pour les circuits comprenant deux bouchons semi-complexes, nous arriverons immédiatement aux deux circuits bi-ondes représentés figures 23 et 24 qui ne rentrent dans aucune classe déjà étudiée.

Bouchon semi-complexe en série avec une self et une capacité.

— Ce circuit peut prendre l'une des formes de la figure 25 qui se déduisent du circuit de la figure 15 en faisant :

$$\left. \begin{array}{l} \text{Soit } C_1 = \infty \text{ c'est-à-dire } f_1 = 0 \\ \text{Soit } L_2 = 0 \quad \quad \quad - \quad \quad f_2 = \infty \end{array} \right\} \text{ figure 16.}$$

Les deux ondes subsistent, mais le circuit n'est pas une solution nouvelle, car on peut le ramener par simple modification du dessin au

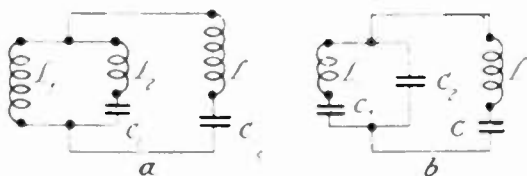


Fig. 25

cas déjà connu d'un bouchon complexe en série avec une self ou une capacité.

On ne changerait rien ici en plaçant en série dans le circuit une self ou une capacité ou les deux simultanément.

Bouchon semi-complexe en série avec une self. — Ces circuits sont représentés figure 26 (a et b).

Le premier est un circuit ordinaire à une onde.

Le second est un circuit bi-onde déjà connu constitué par un bouchon simple en série avec une self et une capacité.

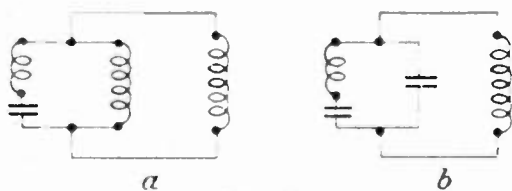


Fig. 26.

En intercalant dans le circuit des selfs ou des capacités on n'obtiendrait pas de circuits nouveaux.

Bouchon semi-complexe en série avec une capacité. — Ce cas est analogue au précédent et ne fournit que des solutions déjà connues.

(A suivre.)

L. BRILOUIN et F. FROMY.

SUR LES HARMONIQUES DES OSCILLATEURS A ONDES TRÈS COURTES

par C. GUTTON et E. PIERRET

Faculté des Sciences de Nancy.

Les ondes électriques entretenues de longueur très inférieure au mètre permettraient de réaliser avec des miroirs courbes de faibles dimensions des faisceaux de rayons de force électrique et des communications radiotélégraphiques exactement dirigées, elles pourraient servir, d'autre part, à d'intéressantes recherches physiques, car la période d'oscillation correspondante deviendrait inférieure à la durée d'orientation moléculaire.

Gutton et Touly ⁽¹⁾ n'ont pu obtenir d'entretien stable lorsque la longueur d'onde tombait au-dessous de 1 m 50 environ. Mesny ⁽²⁾, avec des lampes spéciales, est arrivé à 1 m 20; de nombreux essais, avec des oscillateurs de formes très variées, ne nous ont pas permis d'abaisser cette limite.

Kurz et Barkhausen ⁽³⁾ ont bien signalé l'obtention, par un procédé différent et encore peu expliqué, d'ondes de 0 m 60 de longueur, mais les oscillations obtenues ont une très faible amplitude. Gill et Morell ⁽⁴⁾, modifiant le dispositif de Barkhausen, viennent d'obtenir des ondes de 1 à 2 mètres produites, d'après leur théorie, par les électrons secondaires émis par la plaque et dont la longueur ne dépend que de la différence de potentiel entre la grille et la plaque.

Nous nous sommes proposé d'utiliser les harmoniques des appareils à ondes courtes, en essayant de les isoler, puis de les amplifier. Nous exposerons, dans cet article, comment nous avons pu les obtenir et mesurer leur longueur d'onde.

Procédé de mesure des longueurs d'ondes.

L'oscillateur à étudier produit par induction des oscillations le long d'une ligne constituée par deux fils de cuivre de 450 centimètres de longueur et 0 cm 1 de diamètre, tendus parallèlement à une distance

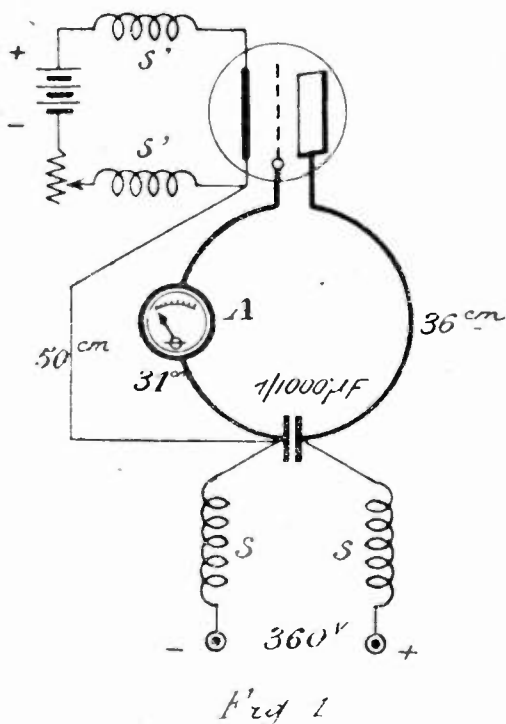
⁽¹⁾ Gutton et Touly. *C. R.*, t. 168, p. 271, 1919.

⁽²⁾ Mesny. *Onde Électrique*, janvier et février 1924.

⁽³⁾ Kurz et Barkhausen. *Phys. Zeitsch.*, janvier 1920.

⁽⁴⁾ Gill et Morell. *Philos. Magaz.*, février 1925, t. 49, p. 361.

de 1 cm 5. A l'origine de la ligne, on place une soudure thermoélectrique formée de deux fils de 0 mm 05 de diamètre, l'un en fer, l'autre en constantan, croisés et soudés; deux branches de la croix ainsi constituée réunissent les fils de ligne; les deux autres sont reliées à un galvanomètre cuirassé de Rubens; une lame de cuivre (16 cm 5 $\times$ 12 cm 5), percée de deux trous à travers lesquels passent les fils, forme un pont mobile le long de la ligne. En déplaçant lentement



ce pont, on détermine des positions pour lesquelles la ligne est en résonance sur les oscillations induites par l'oscillateur; la distance entre deux positions consécutives du pont pour lesquelles on observe une résonance mesure la demi-longueur d'onde de l'oscillation correspondante.

Pour déterminer la longueur de l'onde fondamentale h_1 , nous adoptons des couplages très faibles avec la ligne, car le courant de résonance peut être assez intense pour détruire la soudure thermoélectrique. Pour déceler les harmoniques $h_2, h_3, h_4, \dots$ nous couplons, le plus souvent, très fortement l'oscillateur à la ligne, en disposant le

fil de l'oscillateur très près de l'un des fils de la ligne, au voisinage de l'origine de celle-ci.

Nous rappellerons que le courant de plaque d'un oscillateur s'éloigne d'autant plus de la forme sinusoïdale que l'oscillation entretenue est plus stable: par suite, on obtiendra des oscillations harmoniques plus développées en faisant fonctionner cet oscillateur dans des conditions très différentes de celles qui correspondent à sa limite d'entretien. L'amplitude de l'oscillation fondamentale est alors diminuée, mais celle des harmoniques est au contraire augmentée.

Voici les résultats obtenus avec divers modèles d'oscillateurs :

1° Oscillateur à une lampe. — L'oscillateur est du modèle représenté par la figure 1, indiqué en 1919 par Gutton et Touly; il est monté avec une petite lampe de la Radiotélégraphie militaire: la différence de potentiel entre les extrémités du filament est 4 volts 5. les longueurs des fils sont indiquées sur la figure, la longueur du fil de l'ampèremètre A étant comprise: s et s' sont des bobines de choc.

L'intensité indiquée par l'ampèremètre A est 0 ampère 58: la longueur d'onde de l'oscillation fondamentale est 400 centimètres. On trouve un harmonique 2 très faible et l'oscillateur ainsi réglé fonctionne très près de sa limite d'entretien.

En augmentant la longueur du fil de plaque, la stabilité des oscillations croît, l'intensité du courant fondamental diminue, mais l'intensité de l'harmonique augmente; la longueur d'onde fondamentale croît nécessairement un peu.

Le tableau suivant pour différentes longueurs du fil de plaque donne les intensités I du courant dans l'ampèremètre thermique et les déviations d_2 du galvanomètre qui correspondent à la première position du pont lorsque l'harmonique 2 est en résonance sur la ligne.

Fil de plaque	56 cm	51 cm	45 cm	41 cm	36 cm	31 cm	28 cm
I	^A 0,3	^A 0,42	^A 0,51	^A 0,56	^A 0,58	^A 0 50 Instable	N accroche plus
d_2	20	20	25	10	2 à 3	non decclable	

On peut augmenter aussi la stabilité des oscillations en couplant par induction les fils de grille et de plaque; ce couplage augmente beaucoup l'intensité de l'harmonique 2

Enfin, une augmentation ou une diminution de la tension de grille, qui amène le point de fonctionnement initial dans les parties courbées des caractéristiques de la lampe, augmente aussi l'intensité des harmoniques.

Une augmentation de la tension de grille paraît particulièrement favorable, un oscillateur monté avec une lampe dont le culot était enlevé et ayant comme longueur d'onde fondamentale 216 centimètres, nous a donné les harmoniques 2, 3 et 4, avec une tension de grille de + 45 volts.

L'harmonique 4, particulièrement intense, en résonance sur une longueur de ligne de 27 centimètres, correspondait à une longueur d'onde de 54 centimètres.

2° Oscillateurs à deux lampes en parallèle. — Le même modèle d'oscillateur a été essayé, mais en employant deux lampes à cornes du modèle Mesny montées en parallèle.

Les harmoniques sont très faibles lorsque les deux lampes sont symétriquement montées, les fils qui réunissent leurs grilles ou leurs plaques au circuit oscillant commun ayant exactement la même longueur et lorsque l'oscillateur est réglé près de la limite d'entretien, l'oscillation fondamentale ayant la plus grande intensité possible.

Si on crée des dissymétries de montage entre les deux lampes et si on allonge le fil de plaque pour stabiliser l'oscillation, les harmoniques deviennent beaucoup plus intenses. Nous avons pu ainsi obtenir et mesurer les harmoniques jusqu'au septième; ce dernier correspondait à une longueur d'onde de 47 centimètres.

Les harmoniques 2 et 3 étaient assez intenses pour être observés lors d'un couplage lâche entre l'oscillateur et la ligne. Il est alors possible de comparer, pour un même couplage, les déviations du galvanomètre qui correspondent soit à la résonance du fondamental, soit à celle de l'harmonique, et de déterminer, par suite, les intensités relatives des courants de résonance.

Pour le fondamental, la déviation du galvanomètre était 400 millimètres, pour les harmoniques 2 et 3, respectivement 15 millimètres et 10 millimètres; les déviations étant proportionnelles aux carrés des intensités efficaces, les intensités des courants de résonance des harmoniques 2 et 3 étaient environ le $\frac{1}{5}$ et le $\frac{1}{6}$ de l'intensité du courant de résonance de l'oscillation fondamentale.

3° Oscillateur à deux lampes en série. — Un oscillateur à deux

lampes (fig. 2) du modèle décrit par Mesny (¹), pour lequel le couplage entre les circuits de grille et plaque est très serré, donne les harmoniques 2, 3 et 4; l'harmonique impair 3 est beaucoup plus intense que les deux autres.

4° **Oscillateur à deux lampes en série avec couplage inverse.** — Nous avons construit un oscillateur un peu différent de celui de

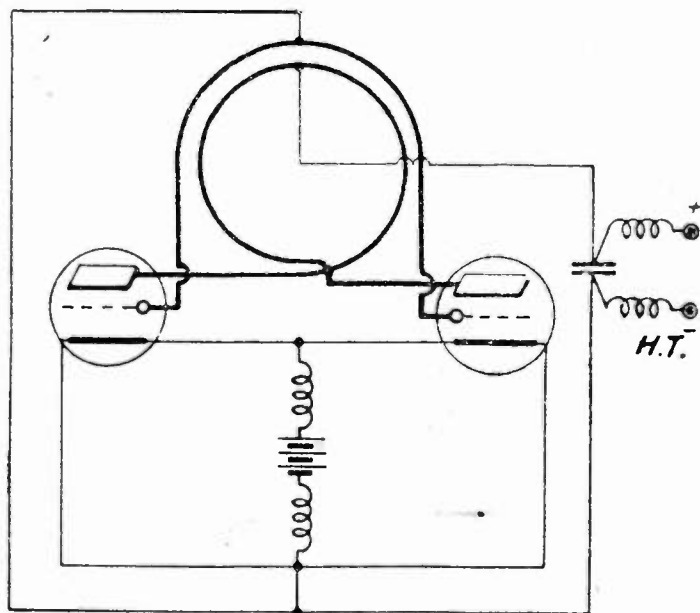


Fig 2

Mesny, car les connexions aux lampes du fil de plaque n'y sont pas croisées (fig. 3).

L'induction mutuelle des circuits de grille et de plaque est alors inversée, ce qui diminue la période d'oscillation. En couplant très fortement les fils de grille et de plaque, cette diminution est assez grande pour que le couplage par capacité des lampes suffise à provoquer l'entretien. On réalise ainsi des oscillateurs qui, pour les mêmes longueurs de fil, entretiennent des fréquences plus élevées.

L'accrochage se produit facilement pour une tension de plaque de 350 volts environ.

Si on fait croître le couplage entre les circuits de grille et de plaque,

(¹) Mesny, *Onde Electrique*, janvier 1924.

la stabilité augmente d'abord, passe par un maximum, puis diminue.

Les lampes les plus favorables, comme il arrive en général pour l'obtention des ondes courtes, ne sont pas celles qui sont les mieux vidées.

Avec des lampes ordinaires de la Télégraphie militaire, dont le culot était conservé, nous avons obtenu un accrochage régulier et très stable sur une longueur d'onde fondamentale de 176 centimètres pour l'un des modèles réalisés et de 160 centimètres pour un second. Pour 150 centimètres, le fonctionnement devient instable.

En enlevant les culots des lampes, nous avons obtenu des oscillations fondamentales stables de 136 centimètres de longueur d'onde.

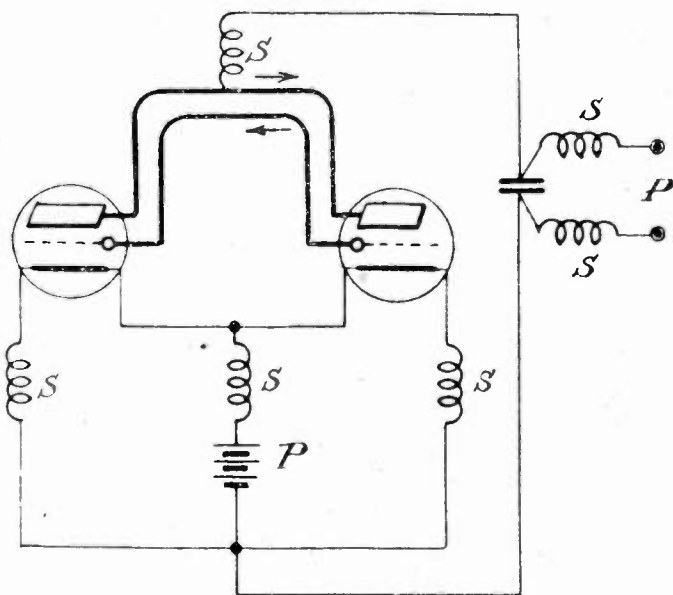


Fig 3

des oscillations de 110 centimètres ont pu être mesurées, mais l'oscillateur était très instable.

La longueur d'onde de ces oscillateurs diminue lorsqu'on augmente le couplage entre les deux circuits, tandis qu'elle augmente dans le cas des oscillateurs du modèle représenté par la figure 2, ainsi que l'on pouvait le prévoir.

Le premier de ces oscillateurs ($\lambda = 176$ cm) nous a donné les harmoniques 2, 3 et 4, ce dernier correspondant à une longueur d'onde de

44 centimètres: l'harmonique 2 était le plus intense. En utilisant une soudure thermoélectrique très sensible et un pont de plus petites dimensions, nous avons pu mesurer l'harmonique 5 ($\lambda = 35$ cm); les harmoniques d'ordre supérieur existent, mais il est difficile de les identifier.

Le second oscillateur ayant une longueur d'onde fondamentale, 160 centimètres, a fourni un harmonique 2 sans harmoniques supérieurs décelables, mais cet harmonique donnait, dans la ligne accordée en demi-onde, un courant de résonance presque aussi intense que le courant de résonance du fondamental.

Nous avons enfin mesuré les harmoniques 2 et 3 de l'oscillateur de 136 centimètres de longueur d'onde.

L'intensité du courant de résonance des harmoniques 2 et 3 ($\lambda = 68$ cm et $\lambda = 45$ cm 5) dans la ligne accordée en demi-onde était de l'ordre du dixième d'ampère.

Conclusions.

1° Comme pour les oscillateurs à ondes longues, toutes les causes qui exagèrent la stabilité d'une oscillation (couplage serré, dissymétries, etc.) augmentent l'intensité des oscillations harmoniques. Les oscillateurs à deux lampes dans lesquels on crée à dessein une dissymétrie donnent des harmoniques particulièrement intenses.

2 La possibilité d'obtenir des oscillations harmoniques courtes montre que de telles oscillations peuvent se produire dans le courant électronique et que ce n'est pas la trop faible vitesse des électrons qui a empêché jusqu'ici d'obtenir des ondes fondamentales de longueur inférieure au mètre. Les difficultés viennent plutôt de la trop grande capacité de la lampe; on ne dispose plus pour les fils extérieurs que d'une self-induction insuffisante lorsqu'on cherche à augmenter la fréquence.

Nous avons montré qu'on peut obtenir des ondes courtes en utilisant les harmoniques d'ondes plus longues. On les rendrait utilisables en les amplifiant après les avoir isolées par résonance des autres oscillations harmoniques et de l'oscillation fondamentale. Tel est le but que nous poursuivons.

C. GUTTON et E. PIERRE.

ÉTUDE D'UN CIRCUIT OSCILLANT SOUMIS A L'ACTION DE DEUX FORCES ÉLECTROMOTRICES HARMONIQUES

Par J. BETHENOD

Ingenieur en chef de la Compagnie Générale de Telegraphie sans Fil.

Le cas d'un circuit oscillant soumis simultanément à l'action de deux forces électromotrices harmoniques est assez fréquent en radio-technique : ondes modulées, réception hétérodyne, etc. Bien entendu, si ces forces électromotrices ont des pulsations respectivement égales à ω_1 et ω_2 , leurs amplitudes étant E_1 et E_2 , deux courants coexisteront dans le circuit oscillant, les intensités étant données par les formules habituelles :

$$(1) \quad I_1 = \frac{E_1}{Z_1} \text{ et } I_2 = \frac{E_2}{Z_2},$$

où Z_1 et Z_2 désignent les valeurs de l'impédance du circuit pour chacune des deux pulsations ω_1 et ω_2 .

Si R , L et C représentent respectivement la résistance ohmique, la self-inductance et la capacité du circuit oscillant, on a d'ailleurs :

$$(2) \quad \begin{cases} Z_1 = \sqrt{R^2 + X_1^2}, \\ Z_2 = \sqrt{R^2 + X_2^2}, \end{cases}$$

avec

$$(3) \quad \begin{cases} X_1 = L\omega_1 - \frac{1}{C\omega_1}, \\ X_2 = L\omega_2 - \frac{1}{C\omega_2}. \end{cases}$$

Si maintenant on fait varier par exemple la capacité C , il est clair, d'après les formules rappelées ci-dessus, que les courants I_1 et I_2 varieront suivant des lois différentes, qui dépendent des valeurs de ω_1 et ω_2 .

Il peut être très utile de se rendre compte de ces variations *simultanées*, étant donné surtout que dans certaines applications l'effet utile est proportionnel au produit $I_1 I_2$ ⁽¹⁾. Cet effet est alors

(1) Ceci est notamment le cas où on utilise un détecteur pour déceler l'effet en question. Le courant redressé utile est alors proportionnel en première approximation au produit $I_1 I_2$, comme bien connu. Voir notamment les diverses publications de M. M. Latour a ce sujet.

inversement proportionnel au produit $Z_1 Z_2$, et il convient de suivre les variations de ce produit, lorsqu'on agit sur la capacité C .

La méthode géométrique qui va être décrite facilite considérablement cette étude :

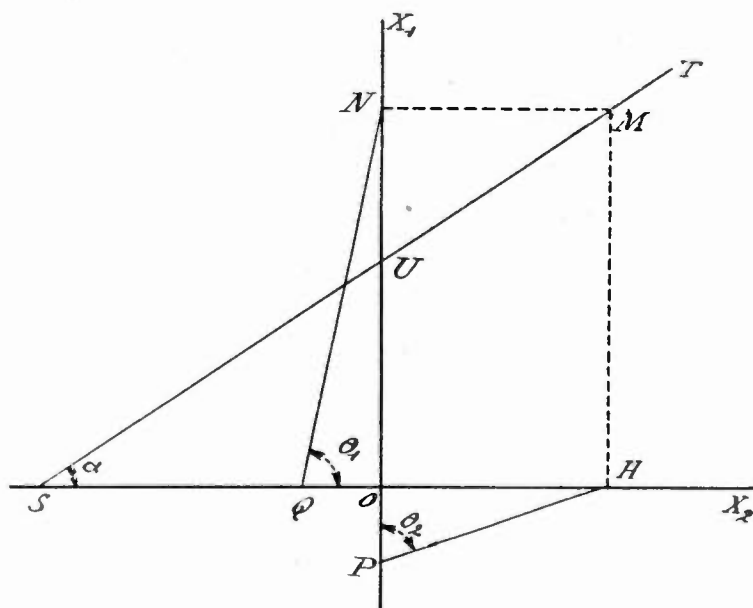
Soit ω la pulsation correspondant à la résonance, c'est-à-dire telle que :

$$\omega^2 LC = 1.$$

Les formules (3) peuvent alors s'écrire :

$$(3') \quad \begin{cases} X_1 = L \frac{\omega_1^2 - \omega^2}{\omega_1}, \\ X_2 = L \frac{\omega_2^2 - \omega^2}{\omega_2}, \end{cases}$$

d'où, en retranchant membre à membre, après avoir multiplié les



deux membres de la première égalité par ω_1 et ceux de la seconde par ω_2 :

$$(4) \quad X_1 = \frac{\omega_2}{\omega_1} X_2 + L \frac{\omega_1^2 - \omega_2^2}{\omega_1}.$$

Telle est la relation *linéaire* qui existe entre X_1 et X_2 lorsque C varie, pour des valeurs données de ω_1 , ω_2 et L . Graphiquement, en portant en abscisses les X_2 , en ordonnées les X_1 , et en supposant

$\omega_1 > \omega_2$ pour fixer les idées, elle se représente par la droite ST telle que :

$$\overline{OU} = L \frac{\omega_1^2 - \omega_2^2}{\omega_1},$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\omega_2}{\omega_1}$$

Pour chaque valeur $X_2 = \overline{OH}$, on mesure ainsi immédiatement en $\overline{HM} = \overline{ON}$ la valeur correspondante de X_1 ; il suffira donc de porter en $\overline{OP}$ et $\overline{OQ}$ des segments égaux à R, pour qu'on relève en $\overline{PH}$ et $\overline{NQ}$ des longueurs mesurant respectivement Z_2 et Z_1 .

D'ailleurs, on a :

$$\operatorname{tg} \theta_1 = \frac{L}{R} \cdot \frac{\omega_1^2 - \omega^2}{\omega_1},$$

$$\operatorname{tg} \theta_2 = \frac{L}{R} \cdot \frac{\omega_2^2 - \omega^2}{\omega_2}.$$

Il est donc très facile de suivre sur le diagramme ainsi tracé, les variations de X_1 et de X_2 en fonction de ω .

Du reste, en pratique, la différence $\omega_1 - \omega_2$ est généralement très faible, et on peut écrire :

$$\overline{OU} \approx 2 \frac{\omega_1 - \omega_2}{\omega_1} \cdot \frac{L \omega_1}{R},$$

l'angle α étant en outre très voisin de $\frac{\pi}{4}$.

Enfin, en utilisant une représentation graphique que j'ai publiée jadis dans l'*Éclairage électrique* du 4 mars 1905, page 325, on pourrait mesurer sur une échelle directe la variable ω , même lorsqu'elle s'écarte notablement des valeurs ω_1 et ω_2 .

J. BETHENOD

Erratum à la note de J. Bethenod annexée à l'article de M. Mesny.

Onde Electrique, juin 1925, p. 233.

Page 240, dernière ligne, lire

$$H = K I_1 \sqrt{2} \cos \left(\alpha - \frac{\pi}{4} \right)$$

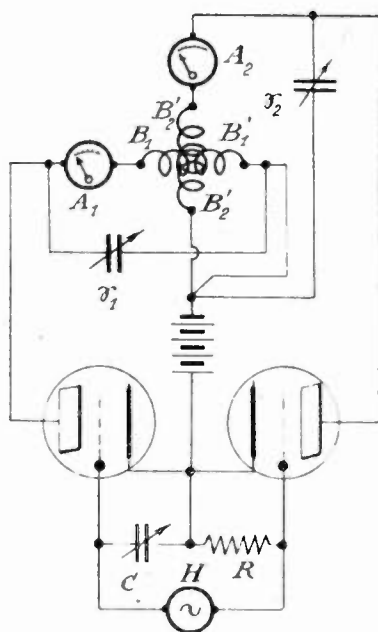
SUR LA GÉNÉRATION D'OSCILLATIONS POLYPHASÉES AU MOYEN DE TUBES ÉLECTRONIQUES

Par Ch. LANGE, ingénieur des Télégraphes.

Dans le numéro 42 de *l'Onde Électrique*, p. 238, M. Mesny a bien voulu mentionner un montage de champ tournant à haute fréquence que j'avais réalisé à l'époque où j'avais l'honneur et le profit de fréquenter régulièrement son laboratoire, postérieurement à ses premiers essais de génération de courants polyphasés au moyen de tubes électroniques.

Le schéma employé, bien moins élégant et général que le sien, était le suivant :

Un hétérodyne H débitait dans un circuit contenant une résistance



purement ohmique R en série avec une capacité C . Les différences de potentiel aux bornes de C et de R , décalées de $\frac{\pi}{2}$ ⁽¹⁾, étaient appliquées

(1) Ce décalage peut être obtenu autrement qu'avec C et R

aux grilles de deux triodes dont les circuits de plaque contenaient deux bobines identiques $B_1 B'_1$, $B_2 B'_2$, une par triode, disposées en stator diphasé. Deux capacités variables γ_1 et γ_2 mises aux bornes de ces bobines permettaient d'accroître et de régler l'intensité des courants diphasés circulant dans chacune d'elles, intensité lue sur les deux ampèremètres A_1 et A_2 (Cette régulation pouvait d'ailleurs être obtenue en agissant sur C ou sur R.)

L'existence du champ tournant se mettait très facilement en évidence en disposant au centre du stator un rotor constitué par un petit solénoïde en court-circuit, fixé par exemple à un petit disque de paraffine flottant dans une coupelle pleine d'eau et maintenue en son milieu au moyen d'un pivot. Il était possible, dans les conditions de l'expérience, de faire accomplir à l'équipage ainsi constitué une quinzaine de révolutions par minute d'un mouvement uniforme (champ circulaire) ou non uniforme (champ elliptique).

Les premières tentatives de mesures de déphasage au moyen du stator diphasé ci-dessus et d'un rotor à mutuelle sinusoidale (Mesny) avec chacun des enroulements du stator avaient donné des résultats très encourageants. Ces essais furent malheureusement interrompus dès le début et jamais repris.

Ch. LANGRIS

INFORMATIONS & CORRESPONDANCE

Le XVII^e Congrès universel de l'Esperanto — Le XVII^e Congrès universel de l'esperanto a été inauguré à Genève, le 2 août, en présence de 1000 congressistes de 31 pays, dont la Chine, le Japon, l'Uruguay et les Etats-Unis.

Les gouvernements suisse, espagnol, allemand, autrichien, roumain et hollandais, la Société des Nations, le Bureau international du Travail, le Comité international de la Croix-Rouge, la municipalité de Bratislava et 24 associations internationales sont officiellement représentées.

Le conseiller d'Etat Oltramare, directeur du Département de l'Instruction publique du canton de Genève, a salué le Congrès au nom du Gouvernement fédéral et a souligné les bons résultats de l'enseignement de l'esperanto dans les écoles du canton de Genève.

Le colonel Delcambre, directeur du Service météorologique français, a prononcé un discours en esperanto au nom du Comité international météorologique.

Le matin, ont eu lieu des services religieux, catholique et protestant, avec un sermon en esperanto.

Des gendarmes parlant l'esperanto et portant un insigne spécial ont été mis à la disposition du Congrès par la police du canton. Un Bureau de police dont les employés parlent l'esperanto fonctionne au bâtiment électoral, siège du Congrès.

Radio-Association Compiégnnoise — Nous recevons de la Radio-Association Compiégnnoise le compte rendu de sa séance du 6 août 1925.

La séance est ouverte sous la présidence de M. Druelle.

Quatre nouveaux membres sont admis.

Auditions du mois. — Il résulte des

observations faites par les membres que :

Enfin devrait éviter d'ajouter quoi que ce soit aux concerts de ses artistes et Radio-Paris a bien des faiblesses en tout genre. Ces deux auditions sont délaissées aussi bien que celles des P. I. T. et les sans-filistes portent leur attention sur les postes ci-après :

Radio-Toulouse dont la modulation est très bonne,

« Le Petit Parisien » qui retrouvera probablement, après son chômage, toutes ses qualités du début.

Daventry qui a remplacé Chelmsford avec une certaine supériorité et certains postes étrangers. Il est évident que les programmes de ces postes sont bien conçus et que l'exécution des concerts donne toute satisfaction.

Il est déplorable que l'on soit réduit à faire ces constatations.

Situation générale de la radiophonie.

— Le Secrétaire donne lecture de la communication adressée à l'Association par le Secrétaire général de la Chambre de Commerce de Toulouse. Cette communication exprime en termes chaleureux les excellentes idées qui sont celles de tous les sans-filistes.

L'Association serait heureuse d'avoir l'avis des représentants du Commerce et de l'Industrie régionale.

Cours techniques. — M. Bornot présente le devis du matériel nécessaire à l'organisation des cours de montages. Le devis est approuvé et M. Bornot est chargé de le réaliser.

Poste d'audition pour une œuvre —

Sur la proposition de M. Marquette, il est décidé que le comité de l'Association se mettra en rapport avec M. Fourmier-Sarloveze, député-maire de Compiègne, pour examiner les moyens d'installer dans une œuvre et sans frais pour celle-ci un poste de T. S. F.

Visite du poste de M. Druelle. — Sur l'invitation de M. Druelle, président, les membres présents se transportent à son poste 8 BC pour assister au fonctionnement d'un appareil super heterodyne dont il vient de terminer la mise au point. Cet appareil qui utilise de 5 lampes jusqu'à 11 lampes permet de recevoir en très haut-parleur les émissions les plus éloignées, à partir de 30 mètres de longueur d'onde. Malgré de forts parasites les amateurs présents peuvent se rendre compte de la puissance de la réception obtenue en écoutant en fort haut-parleur plusieurs postes à peine audibles au casque avec les montages courants. La facilité de réglage de l'appareil permet la recherche rapide des postes, malgré la complexité apparente.

Examen d'aptitude à l'emploi de radiotélégraphiste de bord — Une session d'examen aura lieu les 6 et 7 octobre 1925 à Marseille.

Les candidats se réuniront à l'École de Navigation maritime, 13, rue des Convalescents, Marseille.

Ils devront être munis de papier, porte-plume et encre.

L'examen commencera à 8 h 30.

Les dossiers des candidats, *complets et réguliers*, constitués *conformément à l'article 8 de l'arrêté du 16 novembre 1923*, devront parvenir avant le 27 septembre 1925, au Service de la Télégraphie sans Fil, 5, rue Froidevaux, Paris 14^e. *Passe ce délai, les déclarations de candidatures ne seront plus acceptées.*

Les candidats qui se sont présentés aux examens antérieurs et dont les dossiers sont en instance au Service de la Télégraphie sans Fil, transmettront simplement leurs demandes dument établies sur papier timbre à 2 fr. 40, en rappelant que les autres pièces ont été adressées antérieurement, et en indiquant à nouveau la classe du certificat à laquelle ils prétendent.

Si les candidats sont déjà titulaires d'un certificat de radiotélégraphiste de bord (2^e classe A, 2^e classe B écouteur) mention devra en être faite également sur la demande.