

L'ONDE ELECTRIQUE

RADIOÉLECTRICITÉ ET SES APPLICATIONS
SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES

(Télégraphie, Téléphonie, Télévision, etc...)

Dans ce numéro :

LA COLLABORATION DE LA T. S. F. ET DE
L'AVIATION, par P. MARTY.

ÉTUDE DE L'AMPLIFICATION D'UN ÉTAGE
BASSE FRÉQUENCE A TRANSFORMATEUR
EN FONCTION DE LA FRÉQUENCE ET DE
L'AMPLITUDE (*suite et fin*), par R. WATRIN.

PERFECTIONNEMENTS AUX STABILISA-
TEURS DE FRÉQUENCE, par C. FLORISSON.

NOTE SUR LES DÉFORMATIONS DU DIA-
GRAMME D'UN CADRE ÉMETTEUR, par
M. BOURGONNIER.

ANALYSES.

PUBLIÉ MENSUELLEMENT PAR LA SOCIÉTÉ DES AMIS DE LA T. S. F.

E. CHIRON, Editeur, 40, rue de Seine - PARIS (vi^e)

La Rédaction décline toute responsabilité en ce qui concerne le loueur des articles publiés, les auteurs assumant l'entière responsabilité de ce qui paraît sous leur signature.

L'ONDE ELECTRIQUE

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

ABONNEMENT D'UN AN
France..... 60 fr.
Étranger { tarif faible . 70 fr.
 tarif fort.... 80 fr.

Etienne CHIRON
ÉDITEUR
40, rue de Seine - PARIS
CHÈQUES POSTAUX : PARIS 52-55

PRIX
DU NUMÉRO : 6 fr.
Tél. : LITTRÉ 47-49

SOCIÉTÉ DES AMIS DE LA T.S.F.

Adresser la correspondance administrative et technique à

M. MESNY, secrétaire général
294, avenue de Paris
Rueil-Malmaison (Seine-et-Oise)

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

CHANGEMENTS D'ADRESSE : Joindre 1 franc par revue à toute demande.

Paiement des cotisations à

M. COLMANT, trésorier
4, rue Alfred, Chamart (Seine)
Compte de chèques postaux n° 697-38

EXTRAIT DES STATUTS

ARTICLE PREMIER. — La Société des Amis de la T. S. F. a pour but :

1° De contribuer à l'avancement de la radiotélégraphie théorique et appliquée, ainsi qu'à celui des sciences et industries qui s'y rattachent ;
2° D'établir et d'entretenir entre ses membres des relations suivies et des liens de solidarité.

Elle tient des réunions destinées à l'exposition et à la discussion des questions concernant la radiotélégraphie et tout ce qui s'y rattache.

Elle s'interdit toute ingérence dans les entreprises industrielles ou commerciales quelconques, autres que celles qui concernent son administration propre.

ART. 2. — La Société se compose de membres titulaires, — dont certains en qualité de membres bienfaiteurs ou de membres donateurs, — et de membres d'honneur.

Pour devenir membre titulaire de la Société, il faut :

1° Adresser au président une demande écrite appuyée par un membre de la Société ;

2° Être agréé par le Bureau de la Société.

Tout membre titulaire qui aura pris l'engagement de verser pendant cinq années consécutives une subvention annuelle d'au moins 1000 francs, pour favoriser les études et publications scientifiques ou techniques entreprises par la Société, recevra le titre de membre bienfaiteur.

Ceux qui, parmi les membres titulaires, auront fait don à la Société, en dehors de leur cotisation, d'une somme de 300 francs au moins, seront inscrits en qualité de donateurs.

Les membres titulaires reçoivent une publication périodique ayant un caractère technique.

Cette publication leur est adressée gratuitement.

Toutefois les membres résidant à l'étranger doivent verser, en sus de leur cotisation annuelle, une somme destinée à couvrir le supplément des frais postaux, somme qui sera déterminée par le Bureau.

MONTANTS DES COTISATIONS

Les cotisations annuelles sont ainsi fixées :

Particuliers 50 fr.
Sociétés ou collectivités 200 fr.

Les cotisations peuvent être rachetées moyennant le paiement immédiat de quinze annuités.

La cotisation des membres titulaires âgés de moins de 21 ans, en cours d'études ou de préparation professionnelle, peut, sur leur demande être ramenée à 30 francs

Les membres résidant à l'étranger doivent verser en plus, pour couvrir le supplément de frais postaux, la somme de 15 fr.

Cette somme sera diminuée de moitié si le pays de leur résidence a adhéré à la Convention de Stockholm (se renseigner à la Poste).

L'envoi de la carte de membre tient lieu de reçu de la somme envoyée. En cas de non-admission d'un candidat, la somme versée lui est retournée.

Puisque chaque découverte ne mesure sa valeur qu'à celle de ses applications pratiques et de la contribution qu'elle apporte au mieux-être de tous, nous trouvons une preuve de l'importance capitale acquise par la télégraphie sans fil dans la collaboration féconde qu'elle apporte dans tous les domaines, mais plus particulièrement dans celui de l'aviation.

Cette collaboration entre les deux sciences nouvelles, nous la trouvons dès le berceau. Lorsque l'avion put franchir librement et

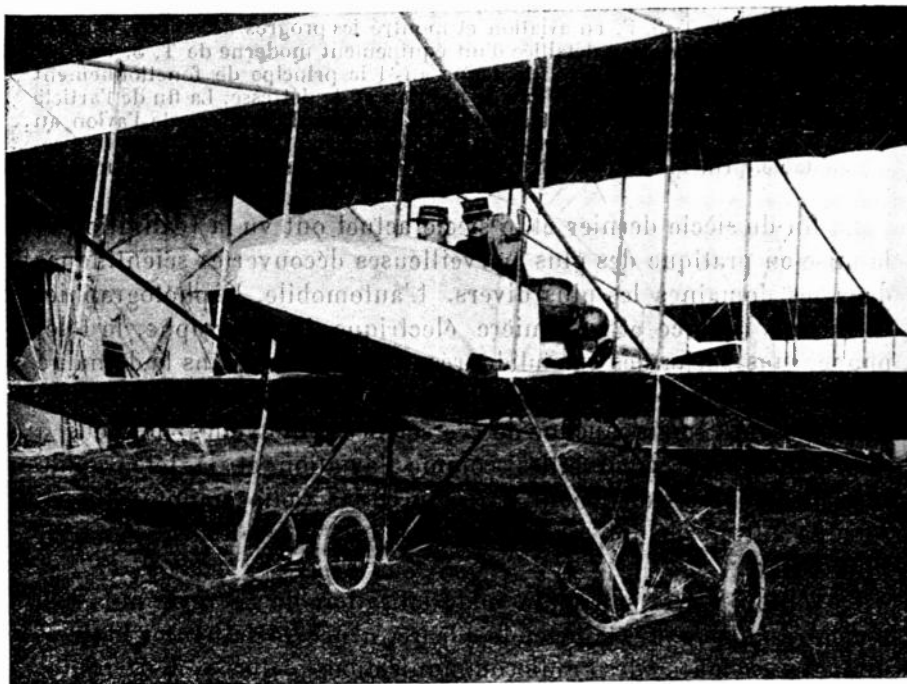


Fig. 1. — Biplan Farman III en 1911 par le capitaine Brenot pour les premiers essais de T. S. F. sur avion.
(à gauche Lieutenant Menard, à droite, Capitaine Brenot).

régulièrement quelques dizaines de kilomètres. L'utilité, la nécessité d'une liaison avec le sol se manifesta. Mais aucun des moyens de liaison habituels n'était à la taille du navire aérien, si rudimentaire et si frêle fût-il alors. Seule la télégraphie sans fil, qui naissait elle aussi, était capable de réaliser le lien entre la terre et les espaces nouveaux que l'homme se préparait à dominer. Pourtant combien fragile et précaire était ce lien, combien incertaine encore la voie à suivre, du fait même de la jeunesse des deux sciences qui tentaient ainsi de s'épauler.

LA COLLABORATION DE LA T.S.F. ET DE L'AVIATION (1)

par **M. P. MARTY.**

Ingenieur à la Société Française Radioélectrique.

SOMMAIRE. — Après avoir donné quelques brefs détails sur les débuts de l'emploi de la T. S. F. en aviation et montré les progrès accomplis, l'auteur donne une description détaillée d'un équipement moderne de T. S. F. pour avion, le poste A. V. L. 10. Il donne aussi le principe de fonctionnement d'un transmetteur automatique de position et de détresse. La fin de l'article a trait plus particulièrement à quelques procédés de guidage de l'avion au moyen de la radio : description d'un radiogoniomètre de bord à cadre escamotable, principe du radiophare d'Abbeville et émission à champ tournant.

La fin du siècle dernier et le siècle actuel ont vu la réalisation et la mise en pratique des plus merveilleuses découvertes scientifiques dans les domaines les plus divers. L'automobile, la photographie, le cinéma, la force et la lumière électrique, le télégraphe, le téléphone, sans parler des splendides résultats obtenus dans le domaine microbiologique, ont puissamment bouleversé les conditions de la vie moderne; mais aucune de ces sciences nouvelles ne nous a impressionnés et émerveillés comme l'aviation et la télégraphie sans fil ou, plus exactement, la science des radiocommunications. Aucune autre, surtout, ne renferme d'aussi merveilleuses possibilités d'avenir.

L'aviation est la splendide matérialisation de ce rêve plus que séculaire qui, depuis la légende d'Icare, n'a cessé de hanter l'humanité. La science des radiocommunications, elle, a dépassé les limites des rêves les plus audacieux. Icare, pour s'évader du labyrinthe, avait bien pensé à se fabriquer des ailes. Ariane, lorsqu'elle voulut guider Thésée dans ce même labyrinthe ne put imaginer que de lui remettre une bobine de fil. Les imaginations pourtant fécondes qui formèrent et embellirent ces légendes n'avaient pu aller jusqu'à prévoir d'autres méthodes de guidage, et le fil d'Ariane nous paraît aujourd'hui bien enfantin. Plus heureux que Thésée, l'avion peut utiliser le poste émetteur et récepteur de T.S.F., le radiogoniomètre, le radiophare, guides sûrs et précis mis à sa disposition par cette Ariane moderne qu'est pour lui la télégraphie sans fil.

(1) Communication faite à la S. A. T. S. F., séance du 4 mars 1931.

Les premiers essais pratiques, c'est-à-dire dans les conditions réelles des vols, de télégraphie sans fil sur avion, remontent à 1910 et 1911. Il m'est particulièrement agréable de vous dire qu'il furent conçus et exécutés par le capitaine Brenot, aujourd'hui le colonel Brenot, Administrateur-Directeur de la S. F. R., qui a ainsi conquis, parmi bien d'autres, le titre de premier radiotélégraphiste d'avion.

L'essai le plus concluant fut exécuté le 30 juillet 1911 ; ce jour-là le capitaine Brenot, ayant comme pilote le lieutenant Ménard, exécuta un vol entre Saint-Cyr et Rambouillet au cours duquel il resta en communication avec le poste de la Tour Eiffel. En particulier le télégramme suivant fut adressé au Ministre de la Guerre :

*« Capitaine Brenot, chargés des essais de T. S. F. en aéroplane
« au Ministre de la Guerre.*

*« Volant entre Saint-Cyr et Rambouillet vous présentons hom-
« mages respectueux dévouement. Sommes au-dessus forêt Ram-
« bouillet, à cinq cents mètres d'altitude ».*

Cette expérience qui nous paraîtrait si simple aujourd'hui, n'allait pas à l'époque sans grosses difficultés et sans danger. L'isolement précaire de l'installation et les inductions sur les haubans de l'avion pouvaient provoquer des commotions dangereuses pour l'équipage, qui devait surveiller ses moindres gestes. Un point particulièrement délicat à résoudre a été celui de l'antenne et de son dispositif d'enroulement. Le capitaine Brenot avait imaginé un rouet isolé et un tube de sortie d'antenne, qui ne diffèrent pas sensiblement des dispositifs modernes réalisés aujourd'hui. Une cisaille permettait de couper automatiquement le fil d'antenne dans le cas où l'avion aurait dû atterrir avant que l'antenne ait pu être enroulée risquant ainsi de provoquer un capotage.

Le générateur d'alimentation était entraîné par le moteur de l'avion et pouvait être débrayé à volonté. Le circuit oscillant était disposé sur une petite tablette en dehors de la carlingue, et comportait un éclateur unique tube-plateau. L'ensemble du poste et de ses accessoires pesait 26 kilogs ce qui constituait une surcharge importante pour le léger biplan que l'équipage pouvait utiliser.

Vingt ans ont passé depuis ces essais. Années de recherches, d'efforts, années de guerre, années de deuils, années de gloire. Portés chaque jour par des ailes plus robustes, mais s'imposant aussi chaque jour une tâche plus grande, les équipages ont poursuivi leur effort, dans la guerre comme dans la paix. La radiotélégraphie, dont la technique s'est constamment améliorée, a apporté une con-

tribution toujours plus efficace à la Navigation Aérienne. Qu'il me soit permis ici de saluer la mémoire des radiotélégraphistes d'avion morts en service commandé, et qui ont payé de leur vie la rançon de ce progrès.

Vingt ans ont passé. Et voici que l'an dernier au premier matin de septembre, Costes et Bellonte partirent pour l'exploit jamais accompli. Ne croyez-vous pas que si l'angoisse fut pour nous tous moins lourde et l'espoir plus grand, ce ne fut pas seulement parce que nous connaissions l'exceptionnelle valeur de l'équipage, mais aussi parce

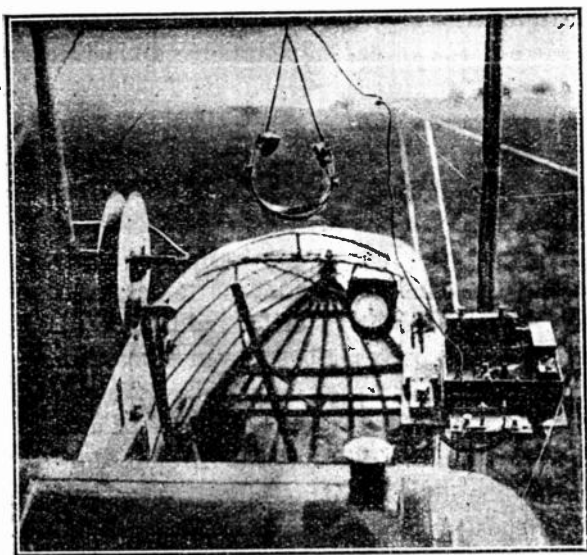


Fig. 2. — Le poste de T. S. F. ayant servi aux essais du capitaine Brenot en 1911.

qu'un contact pouvait être gardé avec eux, parce que nous n'avions pas à nous résigner aux heures d'attente, d'espoir, d'incertitude, de déceptions vécues lorsque trois ans plus tôt partirent ceux qui, les premiers, osèrent et ne revinrent pas.

Du modeste biplan de 50 HP utilisé pour les premiers essais de T. S. F. au sesquiplan rouge de 650 HP vainqueur de l'Atlantique, se mesure un chemin parallèle à celui qui va du primitif éclateur de 1911 au poste à lampes à 3 électrodes qui permit au monde de suivre, presque heure par heure, le triomphal voyage, et à l'équipage de se situer sur 4.000 km de ciel, d'eau, de brumes et de tempêtes. Mais ni l'un ni l'autre de ces chemins n'a atteint son but définitif. Bien au contraire, ils courent, toujours parallèlement, à l'assaut de

possibilités nouvelles. Pour bien mesurer le nôtre, celui de la T. S. F. dans ses rapports avec l'aviation, pour bien savoir où il nous a conduits avant d'escompter les progrès de demain, il n'est pas inutile de nous arrêter un peu et de faire le point.

La collaboration que la T. S. F. apporte à la navigation aérienne

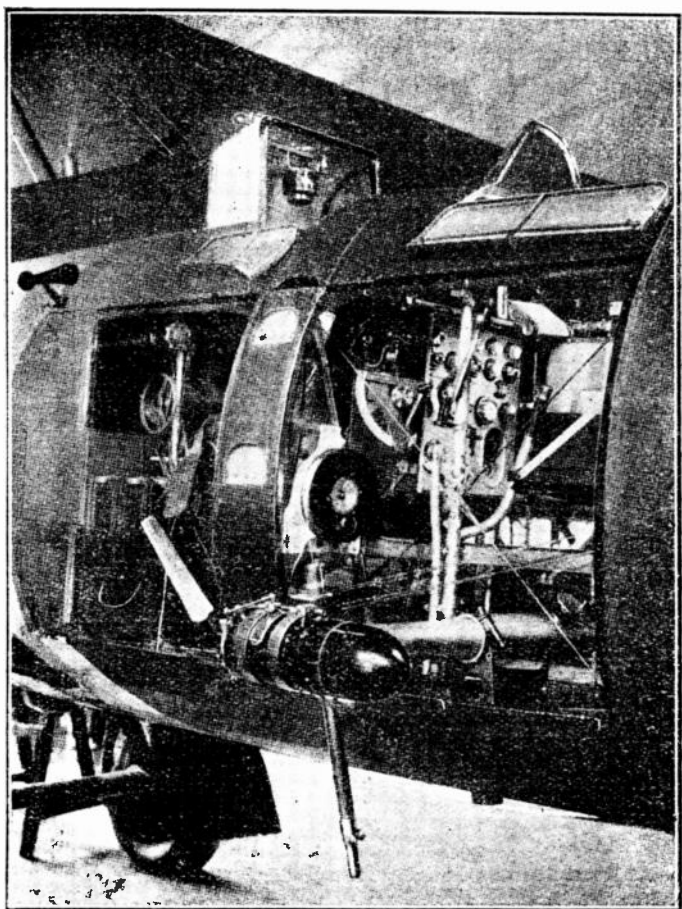


Fig. 3. — Poste de T. S. F. « S. F. R. » utilisé par l'avion « ? » pour la traversée de l'Atlantique en septembre 1930.

est directe et indirecte. La première comprend les liaisons radioélectriques entre l'avion et le sol et réciproquement, et aussi les procédés de repérage et de guidage; radiogoniomètres et radiophares. La seconde comprend le réseau de T. S. F. général, postes terrestres, postes côtiers, postes de bord. Ce réseau peut être, en effet, utilisé

pour la concentration des renseignements météorologiques et par conséquent pour la protection d'un raid ou d'un service aérien.

Nous ne parlerons que de la collaboration directe, la seconde trop vaste, mais au moins aussi féconde, englobant le domaine de la T. S. F. tout entier.

La télégraphie sans fil est pour l'avion un moyen de liaison et un moyen de navigation. Sur l'avion de guerre elle est plus souvent un moyen de liaison. Sur l'avion commercial au contraire elle est presque toujours un moyen de navigation, puisque l'immense majorité des communications établies avec la terre a pour but d'assurer la sécurité de la route suivie.

Avant de passer à l'examen des méthodes appliquées pour assurer

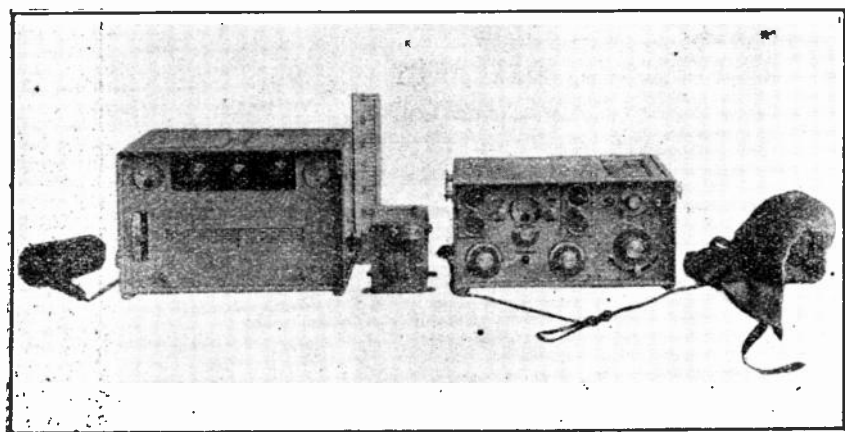


Fig. 4. — Poste de téléphonie et de télégraphie sans fil pour avions type A. V. L. 10.

cette sécurité, voyons d'abord en quoi consiste l'équipement radio-électrique d'un avion.

La réalisation d'un poste émetteur-récepteur de T. S. F. pour avion pose un problème complexe, dont les données sont souvent contradictoires. Ce poste doit être léger, robuste, peu encombrant, simple et relativement puissant.

Nous vous présentons ici le plus moderne de nos postes de T. S. F. pour avions, type A. V. L. 10, sur lequel je vais me permettre de vous donner quelques détails.

La légèreté et la robustesse ont été obtenues d'abord par une construction entièrement métallique ; les coffrets sont en duralumin. Les châssis supportant les divers organes à l'intérieur sont aussi en

duralumin. Nous avons proscrit le bois qui se détériore rapidement et les plaques de matière isolante, bakélite ou autre, qui se cassent. Je tiens à signaler du reste, au sujet de la légèreté d'un poste d'avion, qu'il y a pour les constructeurs une limite dans ce domaine, limite que les progrès de la métallurgie et les alliages nouveaux reculent pour le constructeur de la cellule et du moteur ; c'est que les éléments essentiels de notre poste de T. S. F. comprennent du cuivre et du fer et que le gain de poids par là doit être recherché par une conception nouvelle plutôt que par un allègement des

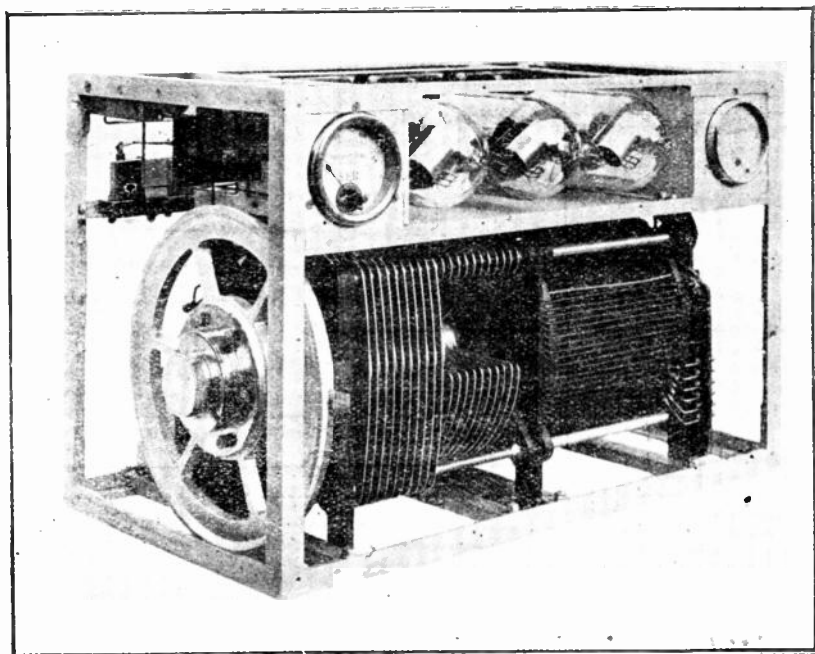


Fig. 3. — Chassis de l'émetteur du poste A. V. L. 10.

organes eux-mêmes, allègement qui peut en compromettre la sécurité de fonctionnement.

La conception particulière de notre poste A. V. L. 10 vise à la fois la légèreté, la simplicité et la sécurité de fonctionnement.

Au point de vue mécanique, le poste A.V.L.10 est constitué par des châssis en cornière de duralumin supportant tous les organes et contenus eux mêmes dans des coffrets de duralumin. Les châssis peuvent être retirés très aisément de leurs coffrets, sans aucun démontage, et une vérification ou une réparation des organes devient

extrêmement simple. Elle peut même au besoin être effectuée en vol dans certains cas.

Normalement le poste est fractionné en deux coffrets : l'émetteur d'une part, et le récepteur et variomètre d'autre part. Ces coffrets peuvent être juxtaposés pour former un poste « Monobloc » si les dispositions de l'avion le permettent. Dans d'autres cas un fractionnement en trois éléments peut être aisément réalisé, le châssis du récepteur n'étant solidaire du châssis du variomètre que par quatre boulons avec écrous.

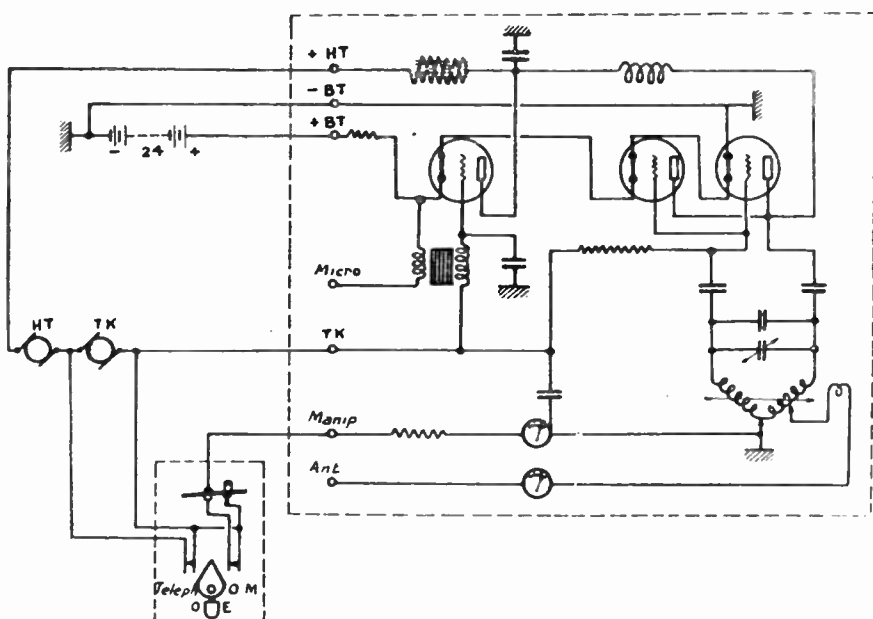


Fig. 6. — Poste A. V. L. 10. — Schéma de principe de l'émetteur.

Au point de vue électrique, l'émetteur ne comporte aucun commutateur sur les circuits à haute fréquence. Pourtant la gamme de longueur d'ondes s'étend de 450 à 1500 mètres et sa variation est absolument continue par simple rotation d'un volant métallique accessible à l'avant de l'appareil.

Le circuit oscillant est, en effet, constitué par une capacité fixe, une capacité variable, et une self inductance variométrique. La capacité fixe reste constamment en dérivation sur la capacité variable. La capacité résultante et la self inductance sont montées en dérivation entre les grilles et les plaques des lampes. Les lames mobiles de la capacité variable et le rotor de la self inductance variométrique sont montés

sur un même arbre, dont la rotation est commandée par le volant dont nous avons parlé tout à l'heure. La seule rotation de ce volant modifie donc simultanément la capacité et la self inductance du circuit oscillant, et par conséquent sa longueur d'onde qui est ainsi à variation continue. Sur le stator de la self inductance variométrique se trouve une prise de retour au filament, établie de telle façon que le couplage grille et le couplage plaque varient convenablement et automatiquement avec la longueur d'onde.

Le volant comporte, sur sa périphérie, une graduation linéaire.

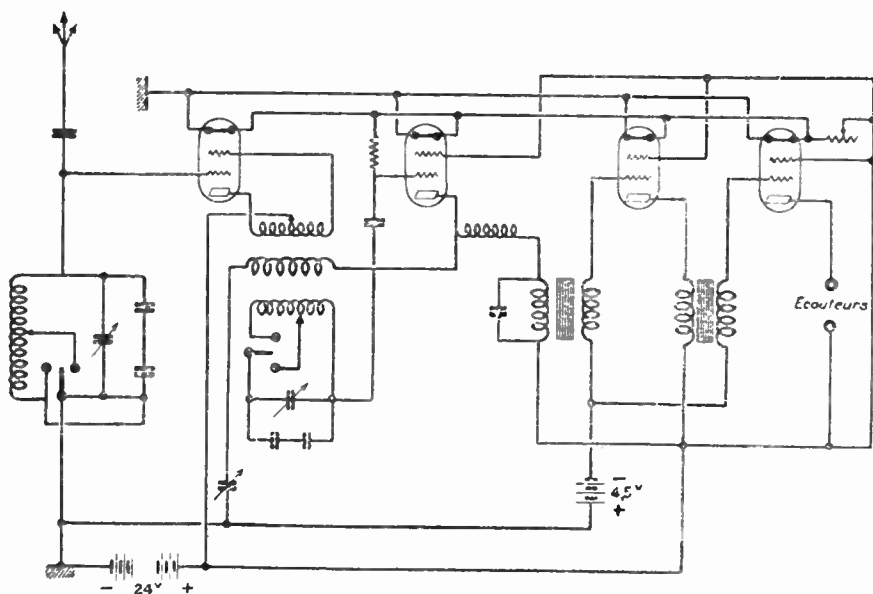


Fig. 7. — Poste A. V. L. 10. — Schéma de principe du récepteur.

que le tableau fixé sur le panneau avant de l'émetteur traduit immédiatement en longueurs d'ondes.

Un dispositif spécial de blocage permet d'immobiliser le volant dans une position quelconque correspondant à la longueur d'onde choisie.

Un ondemètre avec lampe au néon permet de contrôler à tout instant la correction de cette longueur d'onde.

Le récepteur est à quatre lampes : une amplificatrice HF, une détectrice et deux amplificatrices BF. La gamme couverte est de 450 à 1800 mètres.

Les circuits primaire et secondaire du récepteur sont accordés par deux condensateurs jumelés. Un petit condensateur variable dit con-

densateur d'appoint, à régler une fois pour toutes, permet de réaliser l'identité entre les caractéristiques des circuits primaire et secondaire quels que soient l'antenne et l'avion utilisés.

Le récepteur ne comporte donc que deux commandes : celle du réglage des circuits d'accord et celle de la réaction. Un voltmètre permet de contrôler les tensions des plaques et des filaments des lampes.

L'une des particularités les plus intéressantes de ce matériel est que l'alimentation complète du poste émetteur-récepteur est réalisée à partir du réseau électrique du bord.

En effet, à bord des avions commerciaux ou militaires l'énergie électrique nécessaire à l'éclairage des feux de position et des phares et éventuellement au chauffage, est fournie normalement par une génératrice à 24 volts entraînée dans le vent par un moulinet. Une batterie d'accumulateurs de 20 ou 40 AH est montée en tampon sur cette génératrice.

Nous avons estimé que dans ces conditions il devenait inutile de prévoir une deuxième génératrice spéciale à la T.S.F. qui avec son moulinet constitue une résistance à l'avancement très importante. Aussi l'émetteur du poste A.V.L.10 emprunte toute l'énergie qui lui est nécessaire à la batterie de 24 volts du bord, grâce à un convertisseur alimenté par cette batterie et fournissant le courant à haute tension : 1500 volts, aux plaques des lampes. Cette solution originale présente en outre une sécurité supplémentaire puisque le convertisseur placé à l'intérieur de l'avion travaille dans de bien meilleures conditions qu'une génératrice extérieure non protégée.

Pour le récepteur nous avons réalisé également son alimentation par le réseau du bord en le munissant de lampes à doubles grilles fonctionnant sous cette tension plaque de 24 volts, la seconde grille jouant le rôle d'accélératrice. Nous supprimons ainsi les piles et accumulateurs de réception d'où un gain de poids et d'encombrement et une amélioration de la sécurité de fonctionnement.

Un petit bloc, facile à placer à portée de la main de l'opérateur, contient le commutateur de transmission à réception, le commutateur de passage de télégraphie modulée à télégraphie entretenue et à téléphonie, qui est une simple clé à trois positions, et le manipulateur.

Le poste A.V.L.10 permet des portées régulières de 600 à 800 kilomètres en télégraphie et de 200 à 300 kilomètres en téléphonie. Sur ces portées peuvent être facilement doublées.

Un autre appareil, dérivé de ce poste, et présentant les mêmes

caractéristiques générales permet l'émission en ondes longues et en ondes courtes, soit successivement, soit simultanément.

Il est certainement inutile de souligner l'importance des services qu'un poste de T.S.F. peut rendre à un avion. Dans un raid aussi hardi que celui de la traversée de l'Atlantique, la T.S.F. est une nécessité vitale. Mais même sur une ligne commerciale régulière telle que Paris-Londres, l'équipage trouve dans son poste de T.S.F. un auxiliaire indispensable pour se tenir en liaison avec les aérodromes jalonnant la ligne, et être prévenu à tout instant des variations des conditions météorologiques sur son parcours, du régime des vents, du plafond, de la visibilité, etc.... En cas de besoin il peut signaler un atterrissage forcé et demander du secours.

Enfin grâce à son poste de T.S.F. il peut demander sa position et se faire relever par les radiogoniomètres terrestres. Si les mesures sont effectuées avec suffisamment de rapidité et de correction, elles donnent une précision suffisante pour que les postes terrestres puissent situer la position de l'avion et la lui transmettre immédiatement.

La question se pose souvent de savoir si les liaisons radio-aériennes doivent être effectuées en téléphonie ou en télégraphie. La téléphonie employée presque exclusivement sur certaines lignes commerciales offre comme avantage essentiel d'éviter à bord de l'avion la présence d'un opérateur spécialiste et de permettre au mécanicien du bord ou au second pilote d'utiliser le poste de T.S.F. Elle a par contre le grave inconvénient d'entraîner une transmission beaucoup plus lente des messages en obligeant à des répétitions fréquentes, et à poids égal d'une installation de n'assurer qu'une portée inférieure de moitié à celle de la télégraphie. C'est pourquoi sur les lignes à long parcours la télégraphie est aujourd'hui seule employée. Du reste, un très récent arrêté du Ministère de l'Air rend la télégraphie obligatoire à bord des avions de transport public à partir du 1^{er} mars 1931.

Pour obvier dans certains cas à l'absence d'opérateur spécialiste à bord d'un avion, nous avons réalisé le manipulateur automatique extrêmement simple que nous vous présentons ici ; ce manipulateur permet la transmission de cinq messages différents composés chacun de trois lettres fixées à l'avance.

On peut évidemment convenir que chaque ensemble de ces trois lettres a une signification quelconque, par exemple : « Tout va bien » ou « Je fais demi-tour » ou « Je vais atterrir ». Il suffit de placer le commutateur sur la position désirée pour que le message

soit transmis automatiquement, et répété continuellement jusqu'à ce qu'on arrête le dispositif.

Un appareil plus complet est le « Transmetteur automatique de position et de détresse », que nous avons réalisé sous deux présentations différentes selon qu'il est destiné à un navire ou à un avion. Il permet à une personne, même inexpérimentée, de constituer à l'avance l'appel de détresse ou simplement la position du navire ou de l'avion, et d'en provoquer l'émission automatique au moment

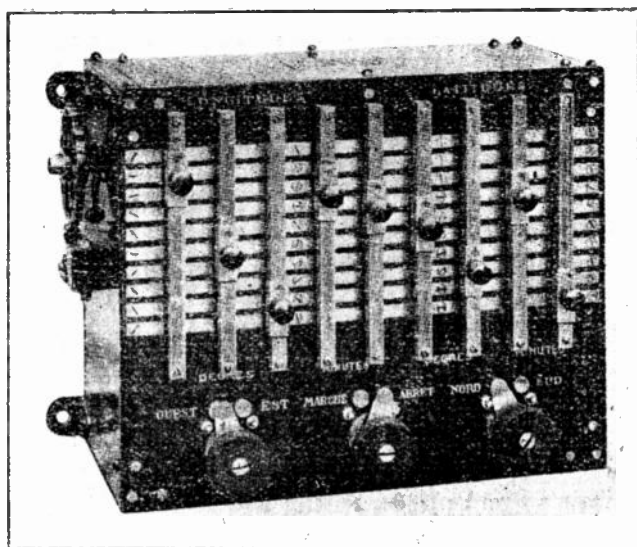


Fig. 8. — Transmetteur automatique S. F. R. de position et de détresse (modèle pour avions).

voulu. Un tel appareil est déjà précieux du seul fait qu'il permet de remédier à la défaillance possible du radiotélégraphiste presque toujours seul à bord, et d'autant plus que l'accident, généralement grave, qui motive l'envoi du signal de détresse a un dénouement très rapide à bord d'un avion, et que l'on ne doit pas perdre un seul instant pour le transmettre. Mais l'appareil est surtout intéressant du fait que l'organe servant à la transmission du signal S.O.S. étant amovible, il peut être utilisé en dehors des cas de détresse, permettant ainsi à un avion n'ayant pas d'opérateur de T.S.F. de signaler périodiquement sa situation et sa position au cours d'un vol.

Voici en quoi consiste, succinctement, notre transmetteur automatique pour avions.

On sait que le signal de détresse, conformément aux règlements internationaux, est constitué de la façon suivante :

- 1° le signal S.O.S. (répété trois fois) ;
- 2° l'indicatif d'appel du navire ou de l'avion ;
- 3° la position en degrés et minutes de longitude et en degrés et minutes de latitude.

Le transmetteur comprendra donc trois organes distincts : (voir schéma simplifié fig. 9).

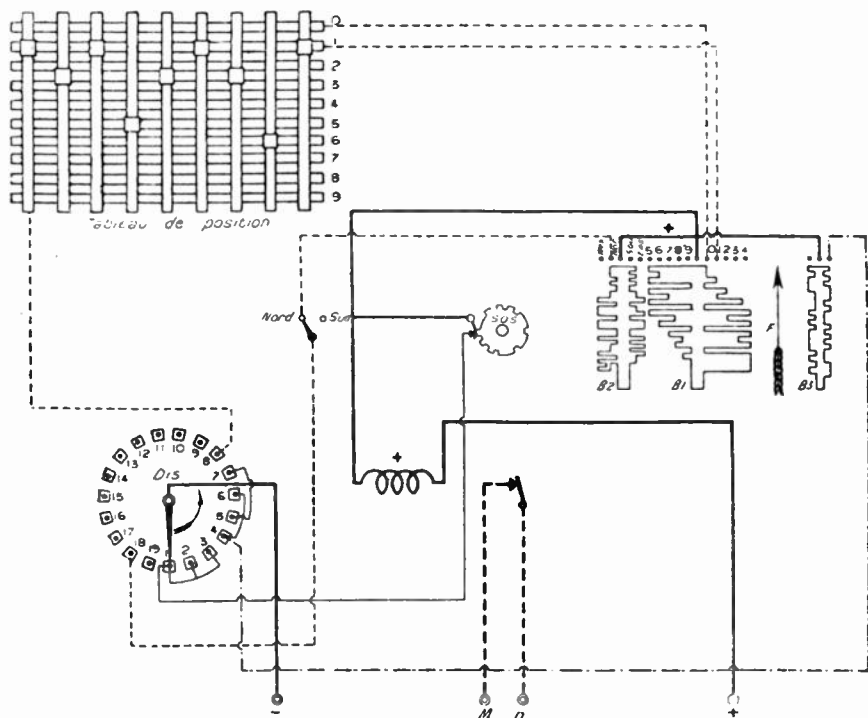


Fig. 9. — Schéma simplifié du transmetteur automatique de position et de détresse.

1° Un disque taillé de manière à reproduire le signal S.O.S. Une lame métallique, appuyant sur sa périphérie, joue le rôle de manipulateur pendant la rotation du disque.

2° Une came découpée de manière à reproduire l'indicatif du navire ou de l'avion et actionnant un contact manipulateur.

3° Une double came reproduisant d'une part les abréviations des mots « Nord », « Sud », « Est », « Ouest », et d'autre part les différents chiffres de 0 à 9 : chaque secteur de cette came actionne également un contact manipulateur. La double came servira à

transmettre la position conformément aux indications qui auront été portées sur le tableau de position situé sur la face antérieure de l'appareil.

La position s'inscrit très facilement sur ce tableau par un simple déplacement de curseurs sur des réglottes. Les cinq premières réglottes correspondent aux degrés et minutes de longitude, les quatre autres aux degrés et minutes de latitude. Les curseurs peuvent être déplacés à volonté devant dix barres, qui correspondent chacune à un chiffre compris entre 0 et 9; chaque curseur met ainsi la réglotte sur laquelle il coulisce en liaison électrique avec la barre en face de laquelle il se trouve arrêté. Chaque barre étant reliée aux différents secteurs de la double came, la position de chaque curseur permet de commander la manipulation d'un chiffre quelconque compris entre 0 et 9.

Le tableau de position porte en outre deux manettes de points cardinaux, pouvant être placées sur des plots correspondant aux indications : Nord, Sud, Est, Ouest et reliés eux-mêmes à la came des points cardinaux.

Il suffit par conséquent d'écrire en quelque sorte la position du navire ou de l'avion sur le tableau, en plaçant convenablement les manettes et les curseurs pour que les signaux correspondant à cette position soient transmis automatiquement.

En pratique il suffira que le tableau soit corrigé par exemple toutes les demi-heures ou tous les quart-d'heures pour que l'appareil de position soit tenu à jour.

Les cames et le disque tournant en même temps, entraînés par le même moteur, tous les signaux : S.O.S., position, indicatif, seraient transmis à la fois puisque les contacts frottent constamment sur le disque ou sur les cames. Aussi un organe supplémentaire, appelé distributeur, a été prévu pour contrôler l'ordre de transmission des signaux à émettre. La rotation de ce distributeur, commandée par une roue à rochet, et en relation avec celle des cames, permet de mettre en circuit, dans l'ordre voulu, les différents organes qui ont à assurer la manipulation des différents signaux.

Les possibilités d'emploi de la télégraphie ou de la téléphonie à bord d'avion nous amènent à parler de la composition de l'équipage. Dès qu'une distance importante doit être franchie, dès que des mers ou des contrées désertiques doivent être survolées, dès que l'on prévoit la possibilité de faire des transmissions après amérissage ou atterrissage, la présence d'un radiotélégraphiste à bord paraît indispensable, et il ne semble pas que les fonctions de navigateur et de

radio, trop absorbantes l'une et l'autre, puisse être utilement cumulées. La maestria avec laquelle M. Bellonte a pourtant navigué au-dessus de l'Atlantique tout en assurant presque continuellement ses liaisons par T.S.F. n'est que la preuve de qualités exceptionnelles, rarement réunies chez d'autres navigateurs. Bien au contraire, nous avons constaté, souvent avec regret, l'attention insuffisante que des équipages pourtant entraînés accordaient à l'utilisation de la T.S.F. et à l'instruction technique du navigateur appelé à s'en servir. Si rien ne s'improvise, les connaissances techniques nécessaires au radiotélégraphiste d'avion s'improvisent encore moins, malgré la simplicité de manœuvre du matériel de T.S.F. moderne.

Cela est encore plus vrai lorsque l'équipement radioélectrique de l'avion est complété par un radiogoniomètre. Ce merveilleux instrument de navigation, qui s'est imposé sur tous les bateaux, commence à trouver maintenant sa place sur les avions. Certes il n'est pas encore question d'équiper tous les appareils avec des radiogoniomètres. Aucune doctrine définitive n'est encore établie, et des divergences de vues se manifestent au sujet de la goniométrie aérienne comme elles se sont manifestées il y a quelques années pour la goniométrie des bateaux.

Est-il préférable pour l'avion de compter seulement sur les radiogoniomètres terrestres et de demander sa position ou au contraire vaut-il mieux que l'opérateur dispose à bord de l'avion d'un radiogoniomètre lui permettant de relever lui-même sa position en écoutant les transmissions de postes terrestres dont la position géographique est connue de l'opérateur? Nous croyons que ni l'une ni l'autre de ces méthodes n'est absolue, et que leur emploi dépend essentiellement des circonstances.

Il semble bien toutefois que la plupart des objections que l'on peut faire au radiogoniomètre d'avion doivent être levées par les progrès réalisés dans le matériel nouveau comme celui que nous vous présentons.

Les radiogoniomètres d'avions réalisés jusqu'à ce jour étaient soit à cadres fixes orthogonaux, disposés suivant les possibilités particulières de chaque avion, et alors ils manquaient totalement de précision, ou bien à cadre mobile à spires libres disposés à l'intérieur de la carlingue de l'avion; cette disposition, admissible sur certains avions en bois, devenait pratiquement inapplicable sur des avions partiellement ou totalement métalliques.

Ces difficultés ont été vaincues par la réalisation d'un cadre blindé, de petit diamètre, pivotant à l'extérieur du fuselage et n'offrant

qu'une faible résistance à l'avancement. Le blindage du cadre, judicieusement exécuté ne diminue pas la sensibilité. Il assure une protection parfaite des spires et évite les risques de rupture des fils (fig. 10).

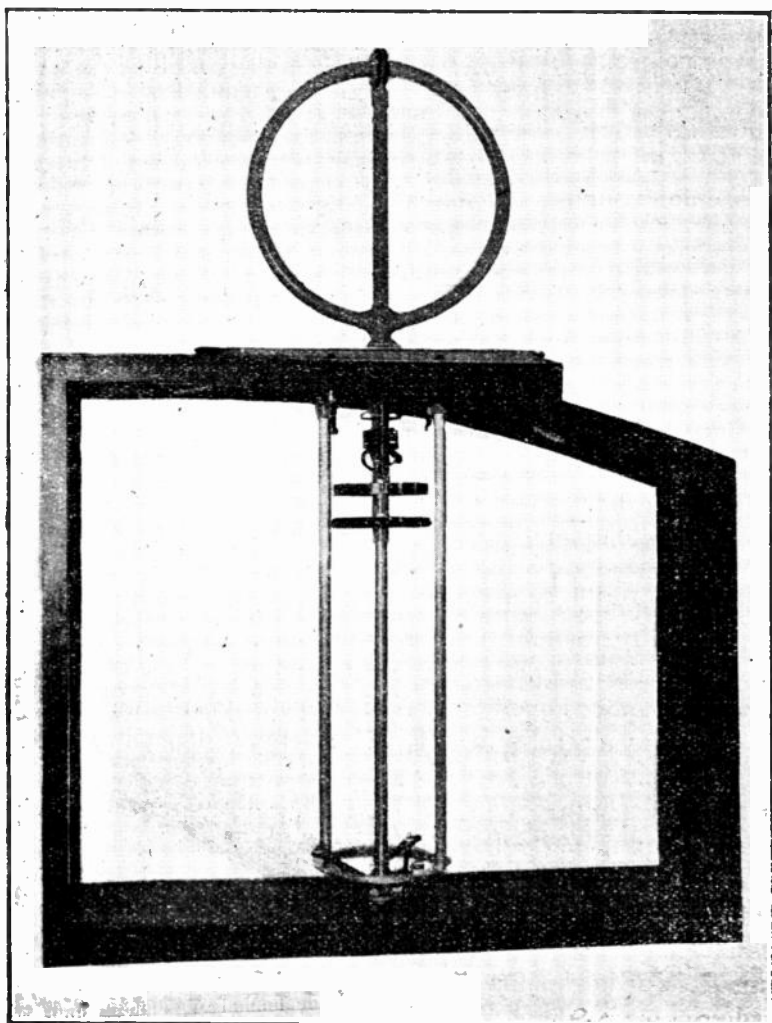


Fig. 10. — Cadre escamotable S. F. R. pour radiogoniomètre d'avion.

La disposition adoptée pour ce cadre offre le grand avantage de le rendre escamotable.

Une manœuvre simple permet de le rentrer à l'intérieur après avoir effectué les mesures. Une trappe étanche prévue dans le

toit du fuselage laisse passer le cadre et se referme après son passage.

Le cadre est réuni à un amplificateur à sept lampes extrêmement sensible et simple. Pendant la mesure, le pilote doit s'efforcer de tenir strictement un cap déterminé. L'opérateur qui écoute une station terrestre connue, cherche la position de son cadre correspondant à l'extinction totale de sa réception, puis fait sa mesure d'angle. Bien entendu une courbe d'erreurs a été tracée une fois pour toutes après l'installation du radiogoniomètre. Avec un équipage bien entraîné, la précision obtenue est de l'ordre de 1 degré et une mesure complète ne demande pas plus d'une demi-minute.

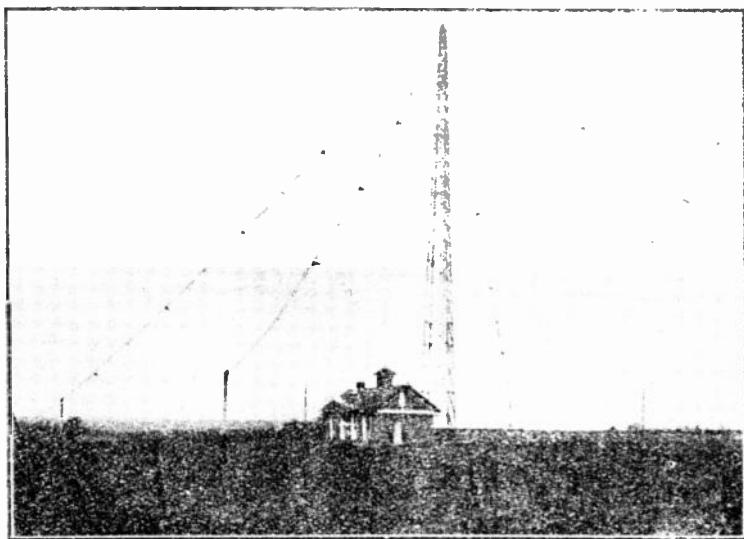


Fig. 11. — Radiophare d'Abbeville.

Un autre moyen de navigation extrêmement intéressant et qui paraît appelé à prendre un développement très important est celui qui permet le radiophare que l'on désigne aussi sous le nom de radiogoniomètre d'émission.

L'emploi de phares lumineux peut évidemment faciliter la navigation aérienne, la nuit ou par temps brumeux lorsque l'observation directe du terrain survolé n'est pas possible. Mais ces phares présentent le grand inconvénient commun à tous les signaux optiques d'être insuffisamment visibles par temps de brume : c'est-à-dire précisément dans les circonstances où la signalisation est le plus nécessaire. On ne peut d'ailleurs envisager la possibilité, même dans un

avenir éloigné, de multiplier suffisamment les phares pour qu'un avion, quelle que soit sa position, puisse toujours en avoir un en vue.

Un radiophare au contraire, tel que celui que nous venons d'installer à Abbeville pour le Service Technique de l'Aéronautique, permet à tout avion muni d'un simple poste récepteur soit de suivre une route déterminée à l'avance, soit de repérer sa position dans une direction quelconque.

Nous allons voir quels principes ont été appliqués dans la conception de ce radiophare, et comment il a été réalisé.

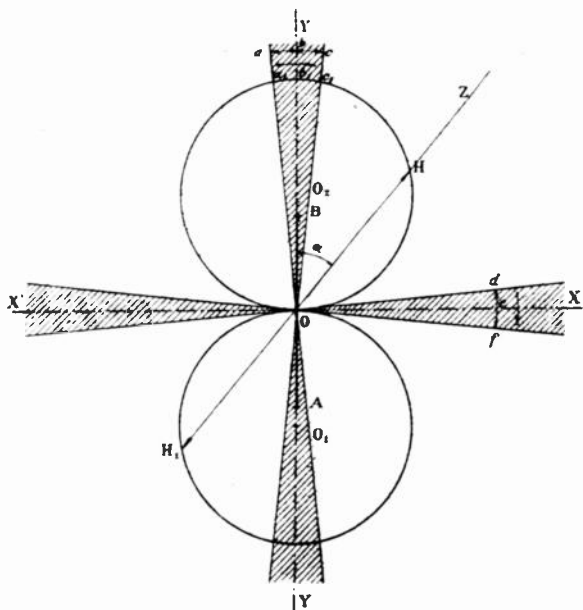


Fig. 12.

On sait que le champ produit dans l'espace par un cadre AB peut être représenté par deux circonférences tangentes à l'axe XX' perpendiculaire au plan du cadre. Le vecteur OH représente la valeur du champ dans la direction OZ . Cette valeur est évidemment essentiellement variable selon la position du vecteur OH (fig. 12).

Si au lieu d'un seul cadre nous en disposons deux, identiques et perpendiculaires l'un à l'autre, le diagramme du champ sera représenté par 4 cercles tangents deux à deux et passant par le point O . On voit immédiatement que dans la direction OZ , le champ OH du cadre AB est égal au champ OH du cadre CD . Sur la ligne OZ la

réception des émissions de l'un et l'autre cadre se fera donc avec la même intensité si les puissances mises en jeu dans chaque cadre sont identiques, et si les cadres eux-mêmes le sont aussi (fig. 13).

De ces observations on déduit la méthode utilisée pour le balisage d'une route fixe. Dans le radiophare d'Abbeville cette méthode est celle des lettres complémentaires.

Deux lettres complémentaires sont deux lettres telles que U et D ou F et L, c'est-à-dire deux lettres composées des même signaux Morse, mais inversés. Si ces deux lettres sont manipulées l'une dans un cadre, l'autre dans l'autre cadre de telle façon qu'aux traits ou

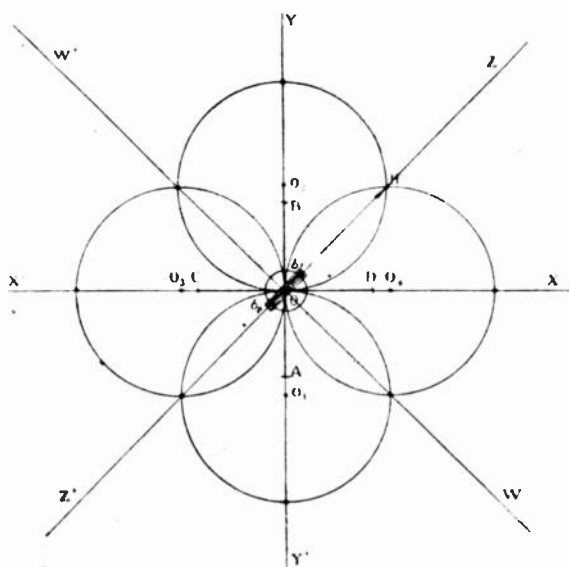


Fig. 13.

aux points d'une émission correspondent exactement les intervalles entre signaux ou entre lettres dans l'autre émission, on voit que, sur la ligne balisée, un récepteur percevant les deux émissions avec une égale intensité, recevra théoriquement un trait continu. Pratiquement il recevra un trait coupé par des intervalles de repos très courts. Dès que l'on s'éloigne de la ligne balisée on reçoit une des deux lettres avec une intensité plus grande. Le navigateur sait aussitôt de quel côté de la ligne il se trouve, ce qui lui permet de corriger sa route.

En pratique, la ligne balisée ne se réduit pas à une simple ligne mais à un faisceau dont l'angle d'ouverture doit être aussi faible que possible pour que le système soit précis. Les mesures ont montré que l'angle d'ouverture des faisceaux du radiophare d'Abbeville

était inférieur à 1 degré, ce qui représente à 300 kilomètres du radiophare une largeur d'environ 4 à 5 kilomètres pour la bande balisée.

Des dispositions spéciales doivent évidemment être prises d'une part pour maintenir la symétrie parfaite entre les deux émissions,

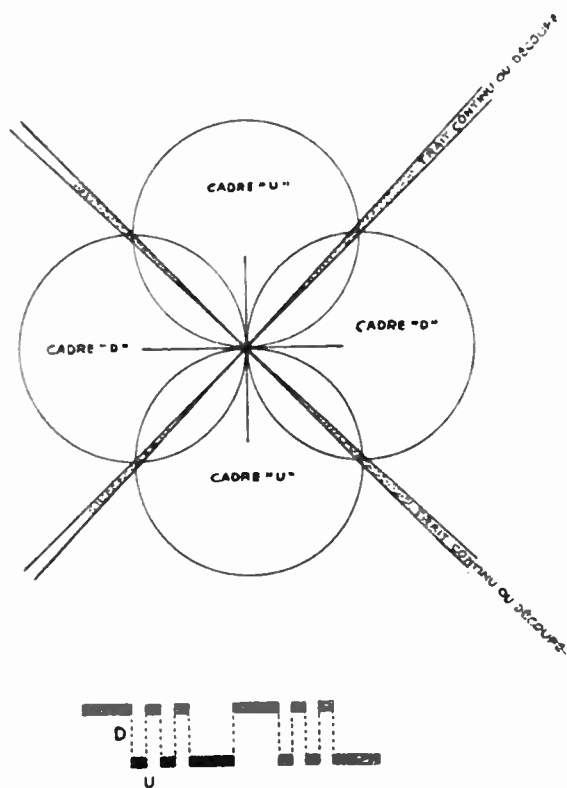


Fig. 14.

d'autre part pour éviter l'effet d'antenne au voisinage du radiophare. Dans celui d'Abbeville, l'émetteur comporte un circuit pilote, et deux groupes de lampes amplificatrices comprenant chacun deux lampes : le circuit oscillant de chaque groupe est couplé à chacun des cadres. La présence d'un circuit pilote permet d'obtenir rigoureusement la même longueur d'onde dans chacun des cadres. La manipulation est évidemment automatique. En outre, le radiophare a été conçu pour être manœuvré par un personnel non spécialisé, et dans ce but, on a rendu automatiques toutes les commandes et multiplié les dispositifs de sécurité.

Une autre particularité du radiophare d'Abbeville est de permettre l'émission dite en « champ tournant ». En voici le principe.

On sait que lorsqu'une bobine, dont l'axe vertical coïncide avec l'axe vertical de deux cadres perpendiculaires, est parcourue par un courant à haute fréquence, cette bobine induit dans chacun des cadres un champ de valeur proportionnelle à celle de son coefficient de couplage avec chacun d'eux. Lorsque cette bobine tourne autour de son axe vertical, le champ des cadres se compose dans l'espace, et on démontre que sa grandeur est constante et sa direction confondue avec le plan de la bobine.

Tout se passe comme si on avait un cadre unique tournant.

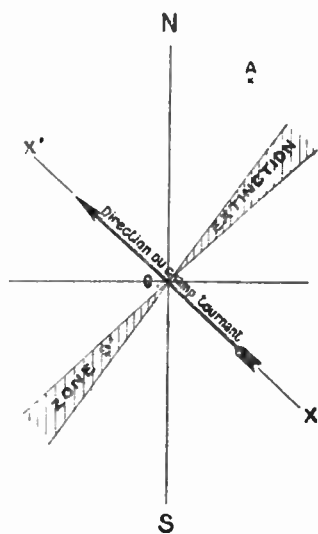


Fig. 15.

La rotation de la bobine, commandant celle du champ tournant, est réglée à raison de un tour par minute, soit 6 degrés par seconde. Un signal convenu, facilement reconnaissable, est manipulé pendant toute la durée de rotation, par exemple l'indicatif du radiophare, à l'exception d'un intervalle de 5 secondes pendant lequel est émis un top dans une direction déterminée à l'avance, par exemple la direction Nord-Sud.

Voyons alors ce qui se passe pour un observateur situé dans une position quelconque, par exemple en A.

À l'instant considéré le champ tournant est dans une direction quelconque ; l'observateur A entend l'émission du radiophare, c'est-à-dire son indicatif (fig. 15).

Lorsque le champ tournant passe dans la direction Nord-Sud, le « top » est lancé, et l'observateur, en l'entendant, met en route son chronomètre (fig. 16).

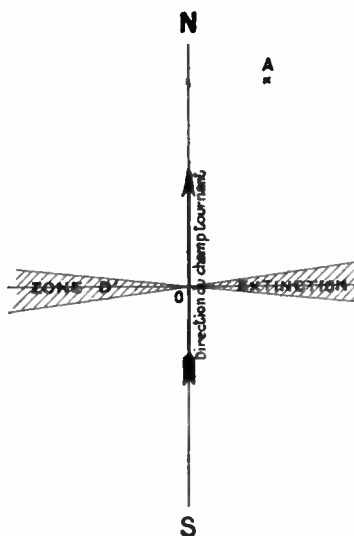


Fig. 16.

Continuant sa rotation, le champ tournant passe dans une direction

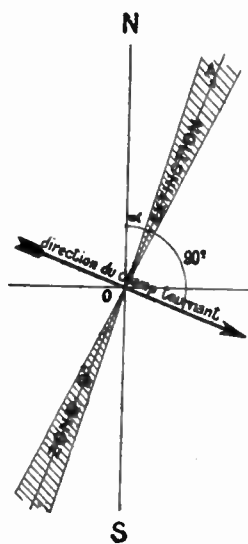


Fig. 17.

perpendiculaire à la ligne joignant l'observateur au radiophare (fig. 17). L'extinction se produit pour l'observateur qui arrête son chro-

nomètre. A cet instant le champ tournant a parcouru, depuis la ligne du « top », un angle égal à l'angle α plus 90 degrés. Ce parcours ayant été accompli en un nombre de secondes marqué au chronomètre, ce nombre de secondes diminué de 15 et multiplié par 6 donne la valeur de l'angle α , c'est-à-dire de l'angle fait par la droite joignant l'observateur au radiophare avec la ligne Nord-Sud. Plus simplement le nombre de secondes inscrit au chronomètre multiplié par 6 donne la valeur de ce même angle, mais avec la ligne Est-Ouest.

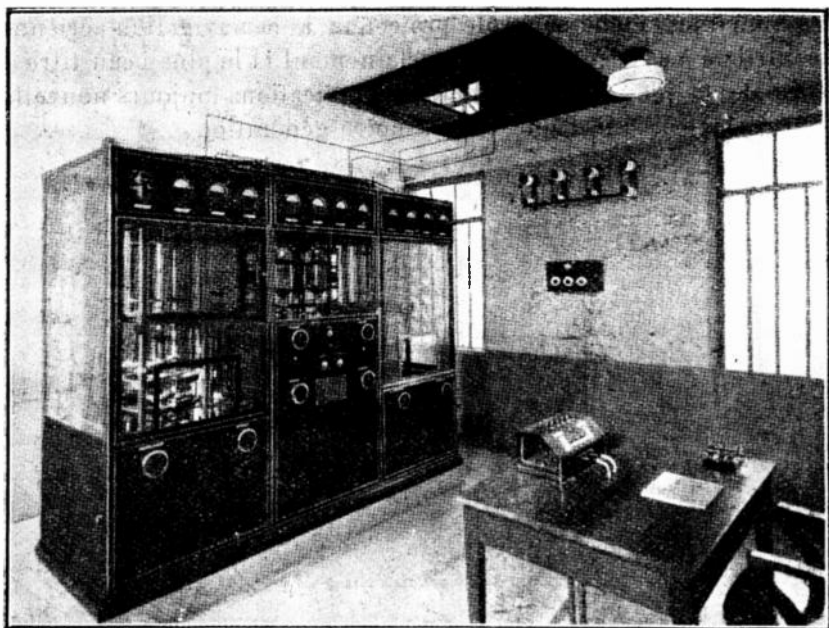


Fig. 18. — Emetteur du radiophare S. F. R. d'Abbeville.

Les essais ont montré que l'erreur d'appréciation faite par différents observateurs dans la mesure du temps pouvait être au maximum de une seconde, soit une erreur angulaire de 6 degrés.

En partant des principes que nous venons de décrire, diverses autres réalisations peuvent être envisagées. L'une des plus intéressantes consiste à remplacer la manipulation dans les cadres par une émission continue, mais modulée dans chaque cadre à des fréquences différentes. On perçoit donc une note différente de chaque côté de la route balisée, et même le récepteur peut être muni d'un dispositif à indication visuelle constitué par des voyants apparaissant selon la fréquence de modulation. Enfin, au lieu de baliser deux

routes perpendiculaires on peut en baliser pratiquement jusqu'à six, écartées chacune de 30 degrés.

Nous venons de passer en revue les principales formes de collaboration de la T. S. F. et de la navigation aérienne. D'autres sont encore à l'étude et viendront les perfectionner et les compléter. Mais d'ores et déjà les résultats obtenus sont suffisamment encourageants pour que l'utilisation de la T. S. F. soit liée à toute exploitation aérienne régulière, comme à tout raid à grande distance.

La télégraphie sans fil qui a déjà sauvé sur mer des milliers de vies humaines, étend son rôle protecteur à la navigation aérienne, et contribue à sa sécurité. C'est certainement là le plus beau titre de gloire de la jeune science dont les applications toujours nouvelles n'ont certes pas fini d'émerveiller notre génération.

P. MARTY.

ÉTUDE DE L'AMPLIFICATION D'UN ÉTAGE BASSE FRÉQUENCE A TRANSFORMATEUR EN FONCTION DE LA FRÉQUENCE ET DE L'AMPLITUDE

(Suite et fin) (1)

par R. WATRIN

Ingénieur E. S. E. et E. S. A. Compagnie des Lampes.

Étude algébrique.

Reprenons le système d'équations :

$$\begin{aligned}KV_1 &= i_1 R_1 + L_1 \frac{di_1}{dt} \pm (1 - \sigma) \sqrt{L_1 L_2} \frac{di_2}{dt} \\ - V_2 &= i_2 R_2 + L_2 \frac{di_2}{dt} \pm (1 - \sigma) \sqrt{L_1 L_2} \frac{di_1}{dt}\end{aligned}$$

En passant aux valeurs imaginaires, il s'écrit :

$$\begin{aligned}KV_1 &= i_1 (R_1 + L_1 \omega j) \pm i_2 (1 - \sigma) \sqrt{L_1 L_2} \omega j \\ - V_2 &= \pm i_1 (1 - \sigma) \sqrt{L_1 L_2} \omega j + i_2 (R_2 + L_2 \omega j)\end{aligned}\quad (7)$$

Multipliant la première de ces équations par $\pm (1 - \sigma) \sqrt{L_1 L_2} \omega j$ et la seconde par $R_1 + L_1 \omega j$, et soustrayant en remarquant que $i_2 = \omega C_2 V_2 j$, il vient :

$$\begin{aligned}(8) \quad \pm KV_1 (1 - \sigma) \sqrt{L_1 L_2} \omega j \\ = V_2 [-(R_1 + L_1 \omega j) - (1 - 2\sigma) L_1 L_2 C_2 \omega^3 j - C_2 \omega j (R_1 + L_1 \omega j)(R_2 + L_2 \omega j)]\end{aligned}$$

en négligeant le terme en σ^2 , d'où en valeurs réelles

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{\pm Km(1 - \sigma)\omega}{\sqrt{[x_2 L_2 C_2 \omega^2 - x_1 (1 - L_2 C_2 \omega^2)]^2 + [x_1 x_2 L_2 C_2 + (1 - 2\sigma L_2 C_2 \omega^2)]^2 \omega^2}}$$

Pour étudier les variations de $\frac{V_2}{V_1}$ en fonction de ω il faut étudier les variations de la fonction

$$Z = \frac{\omega}{\sqrt{(a - b\omega^2)^2 + (c - d\omega^2)^2 \omega^2}}$$

où

$$\begin{aligned}a &= x_1 \\ b &= (x_1 + x_2) L_2 C_2 \\ c &= 1 + x_1 x_2 L_2 C_2 \\ d &= 2\sigma L_2 C_2.\end{aligned}\quad (6)$$

(1) Voir *Onde Électrique*, 10, février 1931, 81.

Le calcul de la dérivée donne :

$$Z' = \frac{-2d^2\omega^4 + [2dc - b^2]\omega^4 + a^2}{[(a - b\omega^2)^2 + (c - d\omega^2)^2\omega^2]^{3/2}},$$

Z' est du signe de son numérateur et s'annule pour :

$$f(x) = -2d^2x^3 + (2dc - b^2)x^2 + a^2 = 0 \quad (\text{avec } x = \omega^2).$$

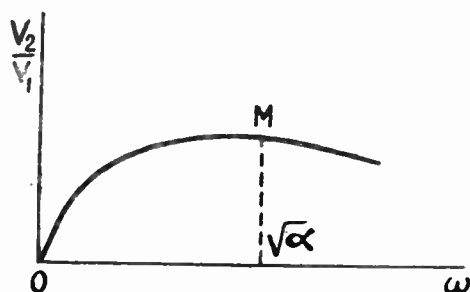


Fig. 13.

Pour séparer les racines de $f(x)$, calculons les racines de

$$f'(x) = -6d^2x^2 + 2(2dc - b^2)x = 0.$$

Ces racines sont :

$$x_1 = 0, \quad x_2 = \frac{2dc - b^2}{3d^2}.$$

On reconnaît facilement que Z tend vers 0 pour x infini et que, quel que soit le signe de x , $f(x)$ a toujours une seule racine positive $\sqrt{x}$, et que Z tend vers 0 pour x infini et est nul pour $x = 0$.

Comme $Z'_0 > 0$, dans tous les cas Z a l'allure indiquée par la figure 13.

Proposons-nous à présent de chercher la position de la courbe par rapport à sa tangente à l'origine :

L'équation de la tangente à l'origine est :

$$Z = Z'_0 \cdot \omega.$$

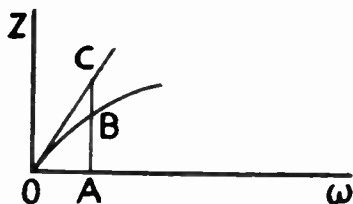


Fig. 14.



Fig. 15.

Pour $\omega = z$ on a (fig. 14) :

$$AC = Z'_0 z,$$

$$AB = \frac{z}{\sqrt{(a - b z^2)^2 + (c - d z^2)^2 z^2}}$$

et $AC - AB = BC = \frac{a^2\varepsilon}{a^3} - \frac{\varepsilon}{\sqrt{(a - b\varepsilon^2)^2 + (c - d\varepsilon^2)^2\varepsilon^2}},$

ε étant positif, BC a le signe de

$$\sqrt{(a - b\varepsilon^2)^2 + (c - d\varepsilon^2)^2\varepsilon^2} - a.$$

Il est positif si

$$\varepsilon^2[d^2\varepsilon^4 + (b^2 - 2dc)\varepsilon^2 + (c^2 - 2ab)] > 0,$$

quand $\varepsilon \rightarrow 0$, cette expression a le signe de $c^2 - 2ab$

1°) $c^2 - 2ab < 0$, ou $x_1(x_1 + x_2) > \frac{1}{2L_2C_2}.$

Alors la dernière inégalité n'est pas vérifiée et $AC < AB$. La courbe tourne sa concavité vers les Z positifs (fig. 15).

2°) $c^2 - 2ab > 0$; $a < \frac{c^2}{2b}$ ou $x_1(x_1 + x_2) < \frac{1}{2L_2C_2},$

alors on a bien $AC > AB$, la courbe tourne sa concavité vers les Z négatifs (fig. 14). C'est le cas de tous les transformateurs rendant bien les basses fréquences.

Position du maximum par rapport aux valeurs particulières de ω :

$$\omega_p = \frac{1}{\sqrt{L_2C_2}} \quad \text{et} \quad \omega_s = \frac{1}{\sqrt{2L_2C_2}}$$

Remarquons que

$$\frac{a}{b} = \frac{x_1}{(x_1 + x_2)L_2C_2} \quad \text{ou} \quad \frac{a}{b} = \frac{1}{L_2C_2} = \omega_p^2$$

en négligeant x_2 devant x_1 et que $\frac{c}{d} = \frac{1}{2L_2C_2} = \omega_s^2$ en négligeant x_1x_2 devant 1.

Reprenons l'équation

$$f(x) = -2d^2x^3 + (2dc - b^2)x^2 + a^2$$

et rappelons-nous que Z' a le signe de $f(x)$.

Nous avons

$$f\left(\frac{a}{b}\right) = \frac{2a^2d(bc - ad)}{b^3}.$$

Or $\frac{a}{b} < \frac{c}{d}$ puisque $\tau = 0,5$, donc $f\left(\frac{a}{b}\right) > 0$ et la fonction est croissante pour

$$\omega_p^2 = \frac{1}{L_2C_2} \neq \frac{x_1}{(x_1 + x_2)L_2C_2}.$$

De même

$$f\left(\frac{c}{d}\right) = \frac{(ad + bc)(ad - bc)}{d^3}.$$

Comme $ad - bc < 0$, $f\left(\frac{c}{d}\right) < 0$ et la fonction est décroissante

pour $\omega^2 = \frac{1}{2\tau L_2 C_2}$; la valeur de ω rendant $\frac{V_2}{V_1}$ maximum est donc comprise entre ω_p et ω_r .

Expressions particulières de $\frac{V_2}{V_1} = f(\omega)$.

1° *Cas des basses fréquences.* — Alors $L_2\omega$ est négligeable devant $\frac{1}{C_2\omega}$

$$\text{et} \quad \frac{V_2}{V_1} = \frac{K(1 - \tau m^2)}{\sqrt{x^2 + \omega^2}} \neq \frac{Km}{\sqrt{1 + \left(\frac{\tau_1}{\omega}\right)^2}} \quad (1')$$

équation montrant que, pour bien rendre les basses fréquences, un transformateur doit avoir une self-inductance primaire aussi grande que possible et une résistance primaire aussi faible que possible. Mais on est limité dans cette voie, par la nécessité de rejeter la résonance de dispersion vers la fréquence de 10.000 périodes pour bien rendre les notes élevées. Pour $\omega^2 > \frac{1}{2\tau L_2 C_2}$ la fonction $\frac{V_2}{V_1}$ est en effet rapidement décroissante et, d'autre part, même avec un faible rapport de transformation, une valeur trop élevée de L_1 conduirait à de telles valeurs pour L_2 , C_2 que $\omega^2 = \frac{1}{2\tau L_2 C_2}$ correspondrait à une fréquence nettement inférieure à 10.000.

Comme $R_1 = r + r_1$ on voit que les basses seront d'autant mieux rendues que la résistance interne de la lampe associée au primaire sera plus faible.

2° $\omega_p^2 = \frac{1}{L_2 C_2}$. En négligeant les termes en R_2 , x_2 , τ^2 , il vient :

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{K(1 - \tau)m \frac{1}{\sqrt{L_2 C_2}}}{(1 - 2\tau) \frac{1}{\sqrt{L_2 C_2}}} \neq \frac{Km}{1 - \tau} \quad (2')$$

Il résulte de cette formule que l'amplification correspondante est supérieure à l'amplification théorique. Donc un bon transformateur devra avoir un champ de dispersion très faible, de façon à ce que τ soit négligeable devant l'unité et que l'on ait sensiblement

$$\frac{V_2}{V_1} = Km \quad \text{pour} \quad \omega_p^2 = \frac{1}{L_2 C_2}.$$

$$3^\circ \quad \omega^2 = \frac{1}{2\tau L_2 C_2} \quad \text{alors} \quad \frac{V_2}{V_1} = \frac{Km(1 - \tau) \frac{1}{\sqrt{2\tau L_2 C_2}}}{\sqrt{\left[x_1 \left(1 - \frac{1}{2\tau}\right) - \frac{R_2 C_2}{2\tau L_2 C_2}\right]^2}}$$

en négligeant le terme $\alpha_1 \alpha_2 L_2 C_2$

ou
$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{Km(1 - \sigma)}{\sqrt{2\sigma L_2 C_2} \frac{[x_2 - \alpha_1(2\sigma - 1)]}{2\sigma}} \neq \frac{Km\sqrt{2\sigma}}{(x_1 + x_2)\sqrt{L_2 C_2}}.$$

Cette formule permet de constater que si σ n'est pas très petit devant l'unité et $\alpha_1 + x_2$ suffisamment grands, l'amplification est plusieurs fois supérieure à l'amplification théorique. Comme cette amplification dépend en grande partie du flux de dispersion, on l'appelle la résonance de dispersion.

Dans un transformateur médiocre, cette résonance a lieu aux environs de 5.000 périodes et le maximum d'amplification qui est encore supérieur à cette amplification, a lieu pour une fréquence de l'ordre de 3.000 périodes. Les fréquences de 5.000 à 10.000 périodes sont alors mal rendues.

En résumé, il résulte de cette étude que, pour établir l'avant-projet d'un transformateur B. F., on est conduit tout d'abord à s'imposer la fréquence de la résonance de dispersion (10.000 périodes) de façon à être certain que les notes élevées seront bien rendues, ainsi que l'amplification correspondante. Cette amplification sera prise égale à l'amplification théorique, ou soit légèrement plus petite, soit légèrement plus grande, suivant que l'on aura à amplifier des tensions où les notes élevées seront déjà ou non favorisées par rapport aux basses.

La première condition nous fixera L_2 , d'où, m étant donné, L_1 . La seconde nous déterminera

$$\alpha_1 + x_2 = \frac{R_1}{L_1} + \frac{R_2}{L_2} = \frac{\rho + r_1}{L_1} + \frac{R_2}{L_2} \quad (d)$$

Or, nous avons vu qu'il fallait que cette somme soit suffisamment grande; L_1 , L_2 , étant connus, il faudrait pour que l'amplification de résonance de dispersion ne soit pas exagérée, que R_2 , r_1 , ρ soient élevés. Or, pour bien rendre les basses, il faut au contraire que r_1 et ρ soient aussi faibles que possible. On peut donc conclure qu'il est impossible de rendre parfaitement bien et les basses et les aiguës. Si l'on veut trop se rapprocher de l'amplification théorique pour les premières, on la dépassera notablement pour les secondes.

L'équation (d) montre cependant que l'on a intérêt à choisir pour le secondaire un métal dont la résistivité soit très grande. En effet, plus cette résistivité sera élevée, mieux on pourra, pour une amplification donnée des notes élevées, rendre les basses, en diminuant la résistivité primaire, ainsi que la résistance interne de la lampe associée au primaire.

Etude du décalage de V_2 et de V_1 :

L'équation (8) donne :

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{\pm Km(1 - \sigma' \omega j)}{R_2 C_2 \omega^2 - \alpha_1(1 - L_2 C_2 \omega^2) + j[2\sigma L_2 C_2 \omega^2 - \alpha_1 \alpha_2 L_2 C_2 - 1] \omega}$$

Si nous désignons par φ l'angle de V_1 et de V_2 on en tire

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{R_2 C_2 \omega^2 - \alpha_1(1 - L_2 C_2 \omega^2)}{[2\sigma L_2 C_2 \omega^2 - \alpha_1 \alpha_2 L_2 C_2 - 1] \omega} = \frac{-a + b\omega^2}{(d\omega^2 - c)\omega}$$

où a, b, c, d , ont les valeurs du système (6) et en prenant le signe +.

L'étude de la fonction $\gamma = \frac{b\omega^2 - a}{(d\omega^2 - c)\omega}$ permet de dresser le tableau suivant

ω	0	+	$\sqrt{\frac{a}{b}}$	+	$\sqrt{\frac{c}{d}}$	+	$+\infty$
γ'		-		-		-	
γ	$+\infty$	+	0	-	$-\infty$	+	0

et de tracer la courbe de la figure 16.

On en déduit facilement le tableau suivant

ω	0	$\sqrt{\frac{a}{b}}$	$\sqrt{\frac{c}{d}}$	$+\infty$
φ'	$-\frac{c}{a}$	-	-	0
φ	$3\frac{\pi}{2}$	π	$\frac{\pi}{2}$	0

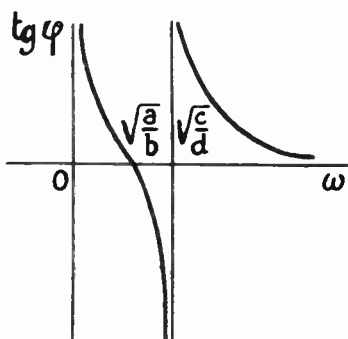


Fig. 16.

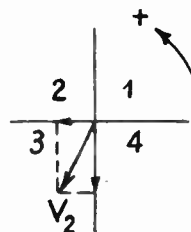


Fig. 17.

en remarquant qu'en écrivant $\operatorname{tg} \varphi = + \frac{b\omega^2 - a}{(d\omega^2 - c)\omega}$, nous avons implicitement choisi comme sens positif de rotation le sens de la

flèche de la figure 17 et que, pour $\omega = \varepsilon$ avec $\varepsilon > 0$, le point figuratif du nombre imaginaire V_2 est dans le troisième quadrant,

ce qui donne $\varphi_0 = \frac{3\pi}{2}$.

La courbe correspondante $\varphi = \psi(\omega)$ est donnée (fig. 18).

Nous retrouvons ainsi les résultats trouvés géométriquement.

Pour $\omega = 0$, V_2 est en quadrature arrière avec V_1 .

Pour $\omega^2 = \frac{a}{b}$, V_2 est en opposition de phase avec V_1 .

Pour $\omega^2 = \frac{c}{d}$, V_2 est en quadrature avant avec V_1 .

Pour $\omega = +\infty$, V_2 est en phase avec V_1 .

Si dans l'expression de $\frac{V_2}{V_1}$ nous avons pris le signe moins, c'est-à-dire, si nous avons supposé le coefficient d'induction mutuelle négatif il aurait fallu faire tourner V_2 de l'angle π .

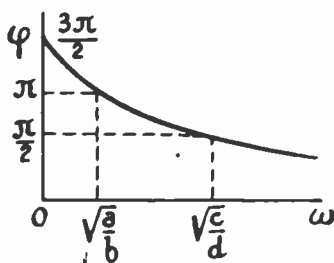


Fig. 18.

L'amplification en fonction de l'amplitude : La perméabilité des métaux couramment employés dans la fabrication des noyaux des transformateurs est plus faible pour les faibles amplitudes du champ — par conséquent des courants parcourant la bobine — que pour les grandes. Il en résulte que la self-inductance est également plus faible pour les faibles amplitudes que pour les grandes. Comme, dans un transformateur les basses-fréquences sont déjà moins amplifiées que les fréquences plus élevées, lorsqu'elles sont de faible amplitude, elles sont encore affaiblies et peuvent ainsi ne plus être perceptibles à l'oreille.

Il y a aussi lieu de remarquer que l'aimantation permanente du noyau due au passage du courant anodique continu influe sur la self-inductance.

Pour éviter les inconvénients de l'affaiblissement de la self-inductance pour les faibles amplitudes, on peut se proposer de prendre

pour L_1 une valeur telle que l'on obtienne déjà aux basses fréquences une forte amplification (par exemple 0,8 pour $f = 50$) pour de faibles amplitudes. Aux amplitudes plus élevées, si le noyau est de qualité médiocre, L_1 peut doubler; la formule

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{Km}{\sqrt{1 + \left(\frac{\alpha_1}{\omega}\right)^2}} \quad \text{montre alors que l'amplification n'est passée}$$

de 0,8 qu'à la valeur 0,95 environ, ce qui n'est pas sensible à l'oreille. Les basses fréquences sont alors bien rendues. Mais, malheureusement il n'en est pas de même pour les fréquences plus élevées, car alors on est conduit à de telles valeurs pour L_2 , C_2 que la résonance de dispersion a lieu pour $f = 7.000$ environ, et que les fréquences de 7.000 à 10.000 périodes sont par trop affaiblies.

La seule solution donnant d'assez bons résultats, consiste à rechercher un métal magnétique dont la perméabilité soit, le moins possible, influencée par l'amplitude du champ.

Application à la détermination d'un transformateur de liaison entre deux lampes Métal-Mazda « D. W. 1508 » et « D. W. 702 ».

Les lampes « D. W. 1508 » sont à chauffage indirect et ont les caractéristiques suivantes :

$$K = 15, \quad \varphi = 7.500 \omega.$$

Les lampes « D. W. 702 » sont des lampes de puissance à chauffage direct et ont une capacité filament-grille de l'ordre de 50×10^{-12} F.

Proposons-nous de déterminer un transformateur de rapport 3, de façon à obtenir une amplification théorique de $3 \times 15 = 45$.

Imposons d'abord au secondaire d'avoir une capacité répartie de 50×10^{-12} F sensiblement.

$$\text{Alors :} \quad C_2 = 50 \times 10^{-12} + 50 \times 10^{-12} = 10^{-10} \text{ F.}$$

Pour que les basses fréquences soient suffisamment bien rendues, déterminons α_1 de façon à ce que $\frac{V_2}{V_1} = 0,65 Km$ pour

$$\omega = 311, \quad (f = 50).$$

De l'équation (1'), on tire alors

$$\alpha_1 \neq 370.$$

On admettra ensuite pour σ la valeur la plus faible possible que l'on puisse actuellement obtenir, soit $\sigma = 0,005$ et on s'imposera de placer la résonance de dispersion à $f = 10.000$ de façon à bien rendre les notes les plus élevées du spectre musical.

Alors l'équation

$$\omega_p^2 = \frac{1}{2\sigma L_2 C_2}$$

donne

$$L_2 = 253 \text{ H}$$

d'où

$$L_1 = 28 \text{ H}.$$

Nous déterminerons ensuite $\alpha_1 + \alpha_2$ en écrivant qu'à la fréquence de résonance de dispersion, l'amplification est égale à l'amplification théorique :

$$\frac{\sqrt{2\sigma}}{(\alpha_1 + \alpha_2) \sqrt{L_2 C_2}} = 1,$$

d'où

$$\alpha_1 + \alpha_2 = 130$$

et

$$\alpha_2 = 260.$$

Nous déduisons des valeurs de α_1, L_1 ,

$$R_1 = 370 \times 28 = 10.400 \omega.$$

Comme $\rho = 7.500$, il faudra donner au primaire du transformateur une résistance de $r_1 = 10.400 - 7.500 = 2.900 \omega$.

Les valeurs de α_2, L_2 nous donnent ensuite :

$$R_2 = 260 \times 253 \neq 66.000 \omega.$$

La pulsation correspondant à ω_p sera donnée par :

$$\omega_p^2 = \frac{\alpha_1}{(\alpha_1 + \alpha_2) L_2 C_2} = 23,2 \times 10^6$$

$$\omega = 4,81 \times 10^3 \quad \text{et} \quad f \neq 770.$$

L'amplification correspondante sera

$$\frac{Km}{1 - \sigma} = \frac{Km}{1 - 0,005} = Km \times 1,005.$$

Cherchons enfin l'amplification correspondant au maximum de la courbe $\frac{V_2}{V_1} = f(\omega)$. Pour cela, il nous faut d'abord chercher la racine positive de l'équation,

$$f(x) = -2d^2x^3 + (2dc - b^2)x^2 + a^2 = 0,$$

où

$$a = \alpha_1 = 370 \quad \text{donc} \quad a^2 = 1,37 \times 10^5$$

$$b = (\alpha_1 + \alpha_2) L_2 C_2 = 1,59 \times 10^{-3} \quad \text{et} \quad b^2 = 2,54 \times 10^{-10}$$

$$c = 1 + \alpha_1 \alpha_2 L_2 C_2 \neq 1$$

$$d = 2\sigma L_2 C_2 = 2,53 \times 10^{-10} \quad \text{et} \quad d^2 = 6,4 \times 10^{-20}$$

d'où

$$f(x) = -12,8 \times 10^{-20} \times x^3 + 2,52 \times 10^{-10} \times x^2 + 1,37 \times 10^5 = 0.$$

qui donne pour f la valeur : 7.067.

On trouve pour l'amplification correspondante

$$\frac{V_2}{V_1} = Km \times 1,143.$$

Nous avons ainsi déterminé un transformateur rendant suffisamment bien les basses, ayant une amplification sensiblement égale à l'amplification théorique pour $\omega_p = \frac{1}{\sqrt{L_2 C_2}}$ et $\omega_s = \frac{1}{\sqrt{2\pi L_2 C_2}}$ et dont le maximum d'amplification ne dépasse que de 1/4 o/o l'amplification théorique, ce qui n'est pas perceptible à l'oreille.

R. WATRX.

PERFECTIONNEMENTS AUX STABILISATEURS DE FRÉQUENCE

par C. FLORISSON

Nous ne nous occuperons pas ici des différents montages électriques possibles des stabilisateurs piézo-électriques, mais seulement du vibreur mécanique constitué par l'ensemble de l'élément stabilisateur proprement dit. Nous examinerons donc l'appareil plutôt du point de vue de l'acousticien que de celui du radio-électricien.

Nous avons été frappé de ce que beaucoup de stabilisateurs à quartz exploités à l'heure actuelle sont constitués par une lame piézo-électrique taillée avec beaucoup de précision, mais disposée entre des armatures métalliques ou placée sur des supports *sans précautions spéciales*. C'est là croyons-nous une erreur sérieuse et nous ne serions pas éloigné de penser que beaucoup de déboires éprouvés par les usagers des stabilisateurs piézo-électriques (ou de principes analogues), proviennent plus souvent *des défauts des montures* que du vibreur électro-mécanique lui-même ou de la disposition des circuits. (Nous envisageons bien entendu le cas de vibreurs électro-mécaniques parfaitement normaux, c'est-à-dire, par exemple, de lames de substances piézo-électriques parfaitement homogènes et correctement taillées).

La disposition habituelle de la lame piézo-électrique placée entre deux armatures conductrices très rapprochées présente l'inconvénient de rendre possibles des réactions vibratoires parasites entre les armatures et la lame. Ces réactions peuvent altérer la fréquence propre de la lame et son amortissement ; elles sont dues aux vibrations ultra-sonores émises par la lame et qui peuvent intéresser les supports et les masses gazeuses ou solides environnantes.

Nous indiquerons deux dispositions de montage du stabilisateur annulant pratiquement les réactions mécaniques des supports, des armatures et du contenant sur la lame vibrante et, par cela même, assurant le fonctionnement du stabilisateur à la fréquence propre de la lame vibrante, cette dernière pouvant être considérée comme parfaitement libre (1).

(1) Brevet, N° 667 387.

1° La monture supportera mécaniquement le vibreur par un ou plusieurs points pris dans des plans nodaux d'amplitude des vibrations mécaniques. On sait en effet que toute liaison du vibreur à une monture matérielle effectuée en ces points ne trouble en rien le régime de vibration libre puisque, par définition, les points des plans nodaux sont fixes alors que les autres points du vibreur oscillent.

La fig. 1 est une vue de face d'un stabilisateur de fréquence réalisé suivant ce principe.

La fig. 2 est une coupe de l'appareil suivant ABC.

Sur les fig. 1 et 2, 1 désigne la lame piézo-électrique ou vibra-

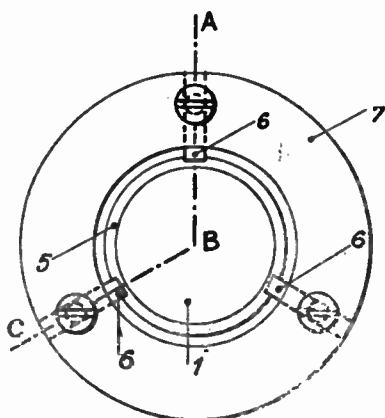


Fig. 1.

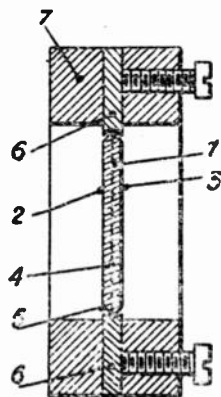


Fig. 2.

teur dont les faces vibrantes sont figurées en 2 et 3. Pour le mode fondamental de vibrations, *suitant l'épaisseur* (axe électrique normal aux faces), le plan nodal est le plan parallèle aux faces passant à mi-épaisseur, il est figuré sur la coupe par le trait pointillé 4. Les bords de la lame sont amincis en forme de biseau 5 dont l'arrête est dans le plan nodal. On fait reposer la lame sur trois cales réglables 6 à extrémités en forme de V obtus tenues par un anneau-support 7. Les armatures métalliques du condensateur, dont la lame est le diélectrique, sont obtenues par métallisation des faces 2 et 3. Les connexions du circuit extérieur avec les armatures 2 et 3 peuvent être réalisées par deux très légers ressorts métalliques venant appuyer respectivement sur chacune de ces faces métallisées. On peut aussi les réaliser en prolongeant la métallisation de chaque face jusqu'à l'arête du biseau, sur un petit arc correspondant à une

des cales 6, celle-ci étant alors conductrice et assurant le passage du courant. (L'anneau 7 doit être isolant ou isolé convenablement des deux cales 6 qui constituent, dans ce cas, les bornes du stabilisateur).

Il est évident qu'au lieu d'un biseau on peut munir le vibrateur d'une gorge passant par le plan nodal, dans ce cas les cales 6 sont en forme de pointes. Le biseau ou la gorge peuvent n'intéresser que de faibles portions de la périphérie du vibrateur. A la place des cales 6 on peut également utiliser une suspension de la lame par des fils passant dans la gorge. Le nombre des points de fixation peut être quelconque et la lame peut évidemment avoir toute autre forme qu'un disque circulaire.

Si on désire faire vibrer la lame sur un harmonique déterminé

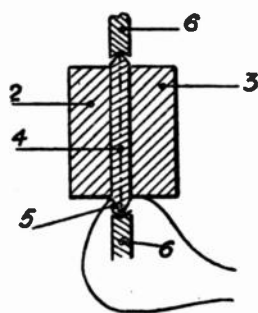


Fig. 3.

du fondamental, le plan nodal diffère alors du plan de symétrie mais sa position peut être déterminée a priori. Dans ce cas on réalisera le biseau ou la gorge de façon que le plan de suspension ainsi constitué soit encore dans le plan nodal.

Si avec une lame piézo-électrique mince on désire obtenir une fréquence inférieure à la fondamentale, on peut réaliser un stabilisateur supporté ainsi qu'il vient d'être exposé en substituant aux armatures formées d'une légère métallisation (dont la masse infime modifie peu la fréquence de la lame nue) des armatures symétriques ou dissymétriques collées à la lame, constituées par des lames métalliques de nature et d'épaisseur déterminées. La figure 3 représente une vue partielle d'une telle disposition dans le cas d'armatures symétriques, 2 et 3.

La disposition ci-dessus indiquée, dans le cas des armatures épaisses, constitue une application aux stabilisateurs de fréquence

des procédés inventés par le professeur P. Langevin et appliqués par lui à la génération et à la réception des vibrations ultra-sonores dans les liquides.

2° Le vibreur étant, dans tous les cas, supporté mécaniquement ainsi qu'il vient d'être expliqué (disposition qui le met à l'abri de la première cause de troubles : réactions des appuis), nous indiquerons les dispositions suivantes qui éliminent la deuxième cause de trouble : les réactions des parois en regard des faces vibrantes.

Comme nous l'avons dit plus haut ces dernières réactions proviennent du fait qu'à partir des faces vibrantes se propagent dans l'air ou les gaz ambiants des ultra-sons qui peuvent faire participer aux mouvements du vibreur les parois ou corps situés en regard des faces. Le vibreur ne peut plus être considéré comme libre et la présence des gaz et des parois modifie sa fréquence et nos amortissements propres, en général, il se produit des phénomènes assez complexes d'ondes stationnaires. Les longueurs d'onde des ultra-sons émis étant en général très faibles (de l'ordre du dixième de millimètre pour la fréquence de 3.000 kilocycles, dans l'air, par exemple), de faibles déformations des parois voisines des faces vibrantes peuvent altérer de façon appréciable la fréquence d'un stabilisateur et par conséquent détruire l'avantage qu'on peut tirer de l'usage d'un tel dispositif.

Pour éviter ces réactions des parois on pourra disposer le stabilisateur :

a) soit à l'air libre de façon qu'il n'y ait aucun corps solide voisin des faces vibrantes; soit dans une monture fermée dont les parois en regard des faces vibrantes sont éloignées de ces dernières de plusieurs centimètres, les ultra-sons étant pratiquement absorbés dans les gaz en quelques centimètres de propagation, il n'y a ainsi aucune réaction sensible sur le vibreur, autre que celle du léger amortissement dû au gaz ambiant.

b) soit dans une enceinte vide de gaz. Dans ce cas les vibrations du stabilisateur ne donnent lieu à aucun phénomène de propagation d'ultra-sons. On peut alors rapprocher à volonté les parois du contenant des faces vibrantes, sans faire naître aucune réaction. C'est cette disposition qui réunit les conditions les plus parfaites de liberté du vibreur.

Vu les différences de potentiel électrique mises en jeu, entre armatures le vide devra être ou bien très poussé ou bien très peu poussé, ceci pour éviter les phénomènes d'ionisation des traces de

gaz restants. L'enceinte vide pourra être, par exemple, une ampoule scellée.

La présente disposition peut s'appliquer aussi à un stabilisateur dont la lame n'a pas d'armatures solidaires telles que celles décrites plus haut ; dans ce cas on disposera deux armatures conductrices planes placées parallèlement aux faces de la lame et supportées par la monture indépendamment de la lame. Dans le vide il n'y aura plus aucun danger d'utiliser ainsi des armatures très voisines des faces du stabilisateur, pour la raison exposée ci-dessus.

c) soit, enfin, dans une enceinte remplie de gaz, de dimensions exiguës, mais dont les parois en regard des faces vibrantes seront rendues diffusantes pour les ultra-sons qui leur parviennent. On évitera ainsi les réflexions ou transmissions régulières et les phénomènes d'ondes stationnaires qui pourraient en résulter et qui troubleraient le stabilisateur.

Ceci sera obtenu, par exemple, en dépolissant ces parois au moyen de stries ou de granulations ayant des profondeurs comparables à la longueur d'onde des ultra-sons émis par la lame.

Cette dernière disposition pourra également être utilisée dans le cas du stabilisateur constitué par une lame dont les armatures conductrices, placées en regard des faces vibrantes, sont supportées par la monture de façon indépendante de la lame. Les faces de ces armatures en regard de la lame seront alors dépolies ainsi qu'il vient d'être indiqué.

C. FLORISSON.



NOTE SUR LES DÉFORMATIONS DU DIAGRAMME D'UN CADRE ÉMETTEUR

par M. BOURGONNIER

SOMMAIRE. — « L'auteur ayant eu l'occasion d'expérimenter des cadres émetteurs en vue de l'application au guidage a été amené à rechercher les causes des déformations du diagramme d'émission des dits cadres et a remarqué que, pour bien expliquer ces déformations, il est nécessaire de tenir compte de la phase respective des effets antenne et cadre de l'émetteur ».

Considérons un cadre vertical C. Son diagramme de rayonnement, pour un observateur placé à une certaine distance, sera composé de deux cercles tangents à la perpendiculaire ox au milieu de ce cadre :

Autrement dit, si l'on appelle θ l'angle que fait la direction de

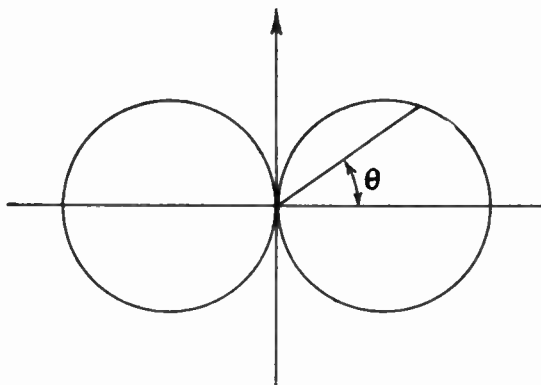


Fig. 1.

l'observateur avec l'axe ox , projection du cadre, l'énergie E sera de la forme :

$$E = \pm E_0 \cos \theta \quad \text{ou} \quad E^2 = E_0^2 \cos^2 \theta.$$

En réalité, ce diagramme est purement théorique et il est difficile d'établir un cadre sans aucun effet antenne.

Si l'on suppose l'effet antenne isotrope, il faut ajouter à la formule précédente un terme E_1 , mais en tenant compte du fait que E_1 et E_0 ne sont pas *a priori* en phase.

Considérons un cercle de centre O et de rayon a soit OM un rayon faisant l'angle θ avec un diamètre fixe AA' . La projection OM , de OM sur AA' est évidemment égal à $a \cos \theta$.

Soit d'autre part OB un vecteur de longueur b faisant avec AA' un angle φ .

Le vecteur BM est la somme géométrique de OM , et OB et est égal à ρ .

La figure 1 permet d'étudier la variation de ρ avec θ .

Le minimum de ρ est évidemment $\rho_0 = BB' = b \sin \varphi$ la valeur correspondante de θ étant donnée par :

$$\cos \theta_0 = \frac{b}{a} \cos \varphi.$$

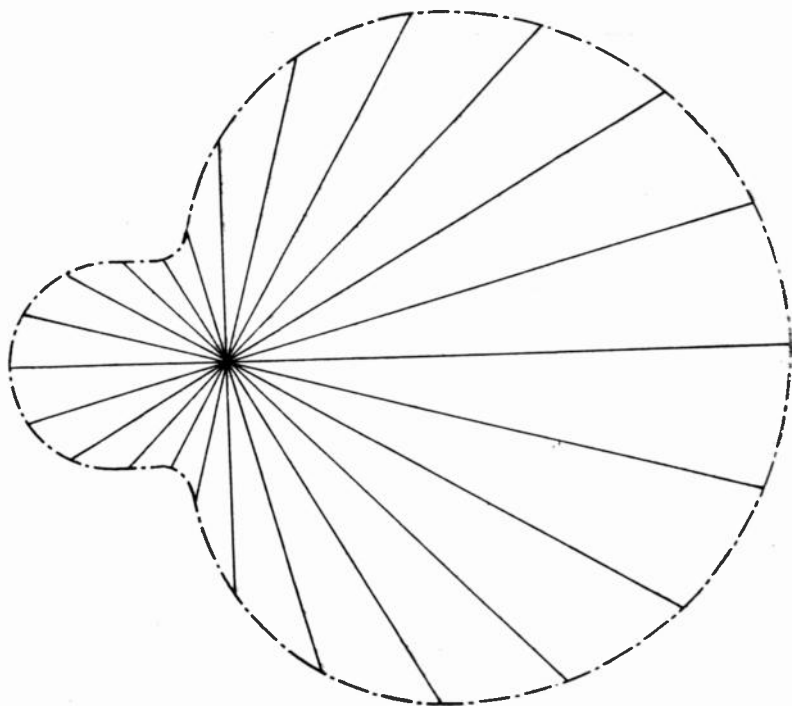


Fig. 3.

Il est facile en partant de ces considérations de tracer le diagramme d'émission cadre antenne figure 3. On obtient ainsi des diagrammes très voisins de ceux obtenus expérimentalement.

Réciproquement d'après l'examen d'un diagramme relevé expérimentalement, il sera possible de connaître l'importance et la phase de l'effet antenne.

Soit par exemple (figure 4) un diagramme relevé par Kaere et Jackson (cf. Proceedings, décembre 1929).

Les valeurs maximum de ρ d'après les formules ci-dessus sont :

$$\rho_1 = \sqrt{a^2 + b^2 - 2ab \cos \varphi},$$

$$\rho_2 = \sqrt{a^2 + b^2 + 2ab \cos \varphi},$$

et les valeurs minimum $\rho_1 = b \sin \varphi$.

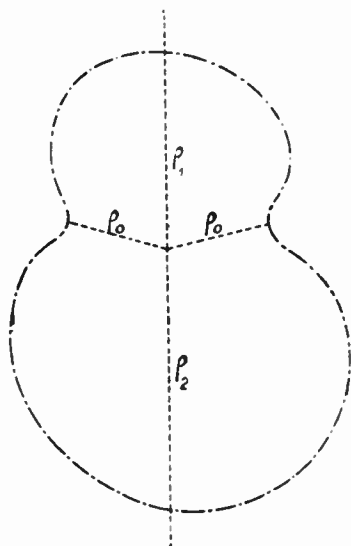


Fig. 4.

On est ramené à construire le triangle ABA' connaissant deux côtés ρ_1 et ρ_2 et la hauteur ρ_0 . La construction géométrique est évidente (figure 5).

Nous trouvons ainsi que dans l'exemple considéré :

$$\frac{b}{a} = \approx 0,53$$

$$\varphi = \approx 68^\circ.$$

On peut tirer de ce qui précède quelques conclusions intéressantes du point de vue pratique pour la compensation d'émetteur ou de récepteur à cadre. On se rend compte, en effet, que la phase de l'effet antenne a une grande importance pour la déformation du diagramme du cadre ; malheureusement elle n'est pas facile à déterminer avec quelque certitude, à moins d'avoir des relevés de diagramme exécutés avec une grande précision, ce dont on peut juger en comparant un

diagramme théorique obtenu par la construction de la figure 5 avec le diagramme expérimental.

Il existe enfin des cas où l'on recherche sciemment des diagrammes

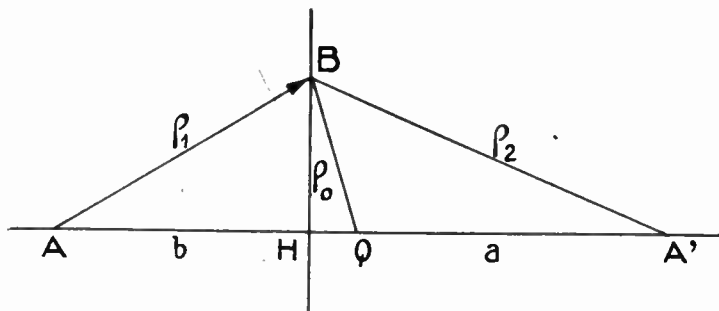


Fig. 5.

de cadre ayant des déformations importantes : c'est celui des alignements à cadre croisés (Radiobeacon) lorsque l'on désire obtenir des alignements dissymétriques dans des directions bien déterminées. Les résultats obtenus plus haut ont alors un intérêt direct.

BOURGONNIER.