

L'ONDE ELECTRIQUE

RADIOÉLECTRICITÉ ET SES APPLICATIONS
SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES

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

Dans ce numéro :

LES PARASITES INDUSTRIELS ET LA
RÉCEPTION RADIO-ÉLECTRIQUE, par LE-
DUC.

PROPRIÉTÉS ÉLECTRIQUES DU CONTACT
MÉTAL-SULFURE DE CUIVRE, par
J. CAYREL.

ÉTUDE DE L'AMPLIFICATION D'UN ÉTAGE
BASSE FRÉQUENCE A TRANSFORMATEUR
EN FONCTION DE LA FRÉQUENCE ET DE
L'AMPLITUDE, par R. WATRIN.

ANALYSES.

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

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

L'ONDE ELECTRIQUE

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

ABONNEMENT D'UN AN		Etienne CHIRON	PRIX
France.....	60 fr.	EDITEUR	DU NUMÉRO : 6 fr.
Etranger	tarif faible	40, rue de Seine - PARIS	Tél. : LITTRÉ 47-49
	tarif fort....	CHEQUES POSTAUX : PARIS 55-35	

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, Clamart (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.

LES PARASITES INDUSTRIELS ET LA RÉCEPTION RADIO-ÉLECTRIQUE (1)

par LEDUC

SOMMAIRE. — Après avoir mis en évidence la nécessité d'une protection légale de l'usager de la radiophonie contre les parasites, l'auteur résume les résultats d'expériences effectuées au Laboratoire Central d'Electricité, en vue d'étudier des dispositifs antiparasites simples et efficaces. Ces expériences qui n'ont porté que sur un nombre restreint d'appareils produisant des parasites, n'ont pas la prétention de donner des solutions radicales et définitives; elles montrent nettement que la gêne apportée par certains troubles peut être supprimée sans entraîner de gros frais.

La dernière partie de l'article contient quelques considérations sur les conditions à remplir par les postes d'émission et aussi sur la possibilité d'un recours à la loi pour le propriétaire d'un récepteur radiophonique gêné dans ses réceptions.

Le problème de la protection des réceptions radiophoniques contre les perturbations de toutes natures intéresse, au plus haut point, les amateurs de radiophonie, et si nous voulons qu'un jour ce problème trouve sa solution complète, il est indispensable que tous ceux qui désirent que notre pays ait, non seulement une industrie de la T. S. F. prospère, mais aussi tienne la tête dans le domaine scientifique de la radioélectricité, se groupent et créent un mouvement d'opinion qui permette d'obtenir des pouvoirs publics les protections légales et techniques efficaces permettant l'atténuation, la plus grande possible, des perturbations radiophoniques.

En cette séance qu'un grand savant a bien voulu présider, nous ne pouvons mieux nous adresser qu'à l'auditoire qui veut bien nous écouter, puisque ce soir se trouvent réunis les membres de la Société française des Electriciens, élite du monde de l'électricité et ceux de la Société Centrale de T. S. F., émanation de tous les groupements importants de la radio française, soit scientifiques, soit d'amateurs dont les adhérents se comptent par milliers, et nous sommes certains que vous voudrez bien nous apporter votre précieux concours en l'occurrence.

D'ailleurs, les radio-communications dans toutes leurs applications, et spécialement la radiophonie prenant, à l'heure actuelle, une importance sans cesse croissante dans l'activité générale d'un

(1) Communication faite à la S.A.T.S.F., séance du 5 juin 1930.

pays, on peut espérer que tous jugeront indispensable de faciliter cette diffusion de la pensée par tous les moyens; en particulier, en s'appuyant sur les éléments susceptibles de contribuer à son développement et en s'efforçant, d'autre part, de diminuer l'importance de tout ce qui peut l'entraver, comme les perturbations radiophoniques désignées communément sous le nom général de « parasites ».

Au début de la T. S. F., cette question n'avait pas présenté la même acuité, car on se limitait alors à la transmission de services d'Etat ou de certains services publics ou privés; ces communications étaient généralement émises à l'aide de postes à très grande puissance et destinées à des stations de réception comportant du personnel spécialisé. Il n'en va pas de même aujourd'hui où les émissions peuvent être reçues par tous. Il suffit de se rappeler le nombre d'auditeurs déclaré dans les différents pays du monde, nombre qui représente une notable proportion de l'ensemble de la population de chaque pays (au Danemark le nombre d'appareils récepteurs régulièrement déclarés représente plus de 7 0/0 de la population).

Aussi, on ne saurait être surpris de voir que la plupart des nations étudient, avec le plus grand soin, le problème posé par les perturbations radiophoniques et imposent, ou tendent à imposer, des dispositifs susceptibles d'atténuer les bruits parasites.

D'autre part, pour créer un mouvement d'opinion, des publicités assez ingénieuses montrent au grand public le rôle désagréable joué par certains appareils perturbateurs. C'est ainsi qu'en Allemagne, nous avons eu l'occasion de voir, lors de la dernière exposition de T. S. F. à Berlin, tout un stand réalisé par les soins de la Reich Rundfunk, organisme d'Etat de la radiodiffusion, concernant les parasites et dans lequel étaient présentés des appareils avec leurs dispositifs antiparasites, de manière à frapper vivement l'imagination du grand public. En outre, des brochures succinctes étaient mises à la disposition des visiteurs.

En France, le Syndicat professionnel des Industries radio-électriques n'est pas resté indifférent à cette question et dès sa fondation, le 7 avril 1924, elle a été mise à son ordre du jour.

Le 26 juin 1925, M. Lucien Lévy a présenté une étude dont un résumé fut remis, à toutes fins utiles, au Ministre du Commerce. Cette étude fut reprise le 20 janvier 1927 et nous avons eu l'occasion d'établir un projet de rapport dans lequel nous avons passé en revue les principaux troubles, susceptibles d'être rencontrés dans les

réceptions radiophoniques, ainsi que les remèdes éventuels qui peuvent y être apportés, mais nous avons estimé que pour arriver au but cherché, c'est-à-dire atténuer, d'une façon plus ou moins prononcée, certaines causes de perturbations et obtenir les sanctions légales permettant d'imposer les dispositifs antiparasites, il était nécessaire de s'appuyer sur des résultats d'essais réalisés en France et conduits avec la plus grande compétence et la plus grande impartialité, et nous avons proposé que ces essais soient faits au Laboratoire Central d'Electricité, répondant, à notre avis, aux conditions ci-dessus.

Ces conclusions furent adoptées par le Syndicat professionnel des industries radio-électriques et par l'Union des Syndicats de l'électricité qui a bien voulu constituer une commission spéciale, pour laquelle nous venons de déposer un rapport.

Deux points de vue sont à considérer pour l'élimination, ou tout au moins l'atténuation, des perturbations radiophoniques : l'un d'ordre technique, doit examiner comment on peut réduire l'influence perturbatrice, l'autre, d'ordre juridique, doit voir de quelle manière on peut obtenir une protection légale, permettant d'envisager éventuellement les sanctions.

Nous nous étendrons plus particulièrement sur la partie technique, renvoyant, pour plus de détails sur la partie juridique, à notre rapport qui paraîtra incessamment.

La suppression des perturbations dans les réceptions radiophoniques est l'une des conditions nécessaires à toute bonne réception et si, dans certains cas, on ne peut arriver à cette suppression, on doit examiner, tout au moins, quels sont les moyens les plus efficaces permettant l'atténuation la plus grande des divers troubles rencontrés.

En principe, il faut qu'en chaque lieu d'écoute, le rapport, rapport qu'on pourrait appeler « rapport antiparasite » de l'énergie reçue émanant du poste d'émission à celle provenant du brouillage soit le plus grand possible. Il faut donc agir en sens contraire sur ces deux facteurs pour arriver au résultat cherché.

En ce qui concerne le premier facteur, de nombreuses conférences internationales ont eu à s'occuper de la puissance des postes émetteurs et la tendance actuelle très nette est de voir s'élever cette puissance dans des proportions relativement très grandes.

D'autre part, les longueurs d'onde choisies sont loin d'être indifférentes; l'énergie locale reçue dépendant beaucoup, pour une même puissance de la longueur d'onde sur laquelle est faite l'émis-

sion et variant d'ailleurs, suivant les saisons et les heures de la journée, cette dernière influence se faisant sentir particulièrement sur les petites longueurs d'ondes.

Certains auteurs estiment que le champ électrique, au point d'utilisation, doit être de l'ordre de 6 millivolts par mètre pour obtenir une bonne réception. Ce chiffre est loin d'être atteint en moyenne, mais avec un champ de 2 millivolts par mètre, on peut déjà obtenir de très bonnes réceptions. Dans une première approximation, on estime que la surface desservie est proportionnelle à la puissance d'émission (la portée croissant comme la racine carrée de la puissance émise). En partant de cette donnée et des considérations indiquées plus haut, on a trouvé qu'en France les postes devraient avoir une puissance de 440 kilowatts-antenne.

M. Michaud, dans son rapport concernant les conditions techniques de la réception, présenté au Congrès national de la radiodiffusion, pense, ce qui est également notre avis, que :

« Des postes d'une telle puissance auraient, au point de vue de la réception, deux inconvénients :

« Le premier résulte de ce que, quand on augmente la puissance d'un poste au delà d'une certaine valeur, le faisceau réfléchi par la haute atmosphère gêne la réception. Il y a donc un plafond à ne pas dépasser, qui est de l'ordre de 20 kilowatts pour les ondes de 200 mètres, et qui va en s'élevant rapidement au fur et à mesure que la longueur d'onde augmente. Il atteint 75 kilowatts pour les ondes de 500 mètres.

« Le second inconvénient est que les émissions par postes uniques produiraient une répartition très irrégulière de l'énergie radioélectrique.

« Pour éviter les deux inconvénients précédents, la meilleure solution consisterait à employer des postes de puissance moyenne, répartis sur tout le territoire, travaillant simultanément sur la même longueur d'onde et reliés à un même auditorium par des lignes téléphoniques. Ces lignes devraient être prévues pour laisser passer toutes les fréquences acoustiques. Il faudrait établir en France un réseau téléphonique spécialement destiné à la radiophonie. Un réseau de ce genre existe déjà en Allemagne.

« Chacun des postes pourrait d'ailleurs fonctionner indépendamment comme poste régional, mais à des heures déterminées, sous puissance réduite et avec une longueur d'onde particulière pour éviter les brouillages ».

Le deuxième facteur concerne les parasites eux-mêmes et doit donc

être rendu le plus petit possible, et à notre avis, la classification des parasites pourrait se faire de la manière suivante :

- 1° Parasites d'origine atmosphérique ;
- 2° Parasites d'ordre industriel ;
- 3° Interférences produites par des postes émetteurs ou récepteurs de T. S. F. ou de téléphonie sans fil ;
- 4° Causes diverses.

1° Parasites d'origine atmosphérique.

Ces parasites proviennent non seulement des orages et des décharges atmosphériques, mais également de toute perturbation créant des variations d'état électrique créatrices d'oscillations (affectant généralement le caractère d'ondes électromagnétiques) : c'est ainsi qu'on pourrait citer les phénomènes suivants susceptibles d'engendrer des parasites de la nature examinée : aurores boréales, charges statiques en particulier le long des lignes de transport d'énergie (lever et coucher du soleil, etc...)

Il est difficile de se débarrasser complètement des parasites atmosphériques, qui agissent habituellement par chocs et sans que, par suite, leur longueur d'onde propre intervienne, le collecteur d'onde oscillant librement sur sa propre période.

Ces parasites paraissent toutefois moins gênants lorsqu'on émet sur de plus petites longueurs d'onde et l'idée vient immédiatement à l'esprit, pour atténuer leur effet nuisible, de préconiser l'emploi d'ondes courtes pour la radiodiffusion ; ces ondes, malheureusement, présentent, par ailleurs, d'autres inconvénients. Toutefois, dans certains pays tropicaux, l'usage d'ondes inférieures à 40 mètres paraît indispensable.

Beaucoup de systèmes protecteurs ont été étudiés sans qu'aucun n'apparaisse comme suffisant à l'heure actuelle, tout au moins dans le cas de la radiotéléphonie.

L'emploi du cadre comme collecteur d'ondes au lieu d'antenne est préférable, particulièrement en supprimant l'usage d'une terre.

En outre, dans le cas de l'antenne, il faut la choisir courte et peu élevée, et si possible, assez amortie.

2° Parasites industriels.

Nous avons, dans un précédent travail, divisé cette classe en catégories suivantes ;

- a) Lignes de distribution d'énergie électrique :

b) Lignes et appareils de transmission télégraphique et téléphonique :

c) Tramways (traction électrique) ;

d) Ascenseurs ;

e) Installations médicales et chirurgicales.

f) Enseignes lumineuses électriques (au néon en particulier) ;

g) Moteurs industriels divers et sous-stations de redressement à mercure ;

h) Appareils de recharge d'accumulateurs, redresseurs, convertisseurs ;

i) Utilisation du secteur électrique comme antenne de réception.

Cette classification a servi, dans l'ensemble, de programme pour les travaux qui ont été effectués au Laboratoire central d'électricité, et dont nous allons vous faire un résumé. Toutefois, il est bien évident que les résultats très encourageants obtenus grâce à ces essais n'ont tout de même, qu'une valeur limitée et on ne saurait en conclure que les remèdes envisagés pourraient convenir, dans tous les cas, pour tous les appareils. Tels qu'ils sont ils permettent d'entrevoir des solutions satisfaisantes peu coûteuses, et ne dépassant pas, le plus souvent, comme prix de revient, une centaine de francs.

D'une manière générale, d'après leur nature, les perturbations provoquées par les différentes machines, dispositifs et installations électriques peuvent être classées en trois catégories :

1° Perturbations continues ;

2° Perturbations discontinues ;

3° Ensemble des deux perturbations précédentes.

1° *Perturbations continues*. — Ce genre de perturbations est généralement dû au fonctionnement des machines électriques : génératrices et moteurs à courant continu et alternatif. L'importance du parasite entendu au poste récepteur dépend, entre autres, de l'état de la partie tournante de la machine, de sa puissance, ainsi que de la disposition des conducteurs d'amenée du courant. Ces perturbations prennent, quelquefois, une très grande importance qui, généralement, va en croissant avec l'usure de la machine, ce qui est particulièrement le cas pour les collecteurs qui peuvent provoquer des étincelles importantes et créer ainsi des troubles très gênants.

2° *Perturbations discontinues*. — Ce sont généralement les appareils à étincelles qui provoquent ces perturbations (appareils téléphoniques, appareils médicaux, etc...). Ces appareils engendrent généralement des ondes de plus ou moins haute fréquence, qui sont elles-mêmes plus ou moins amorties. Ces vibrations électriques sont rayonnées de

deux manières, soit directement par l'appareil, soit en se propageant le long des fils ayant servi à l'amenée du courant.

3° *Ensemble des deux perturbations précédentes.* — Un certain nombre d'appareils peuvent engendrer ces deux sortes de perturbations. On peut citer parmi eux les enseignes lumineuses commandées, soit par des moteurs électriques, soit par des commutateurs tournants.

La nature de ces parasites est assez complexe, car non seulement les appareils émettent des perturbations par leur fonctionnement propre, mais les différentes parties qui le constituent sont également des sources de perturbations (enroulements, capacité par rapport à la terre, etc.). Comme d'autre part, ces appareils se trouvent reliés au réseau, les troubles qu'ils sont susceptibles d'apporter peuvent devenir considérables, d'autant plus que la self et la capacité propres du circuit d'alimentation favorisent la production de certaines fréquences privilégiées et c'est pour cela que, dans certains cas, les appareils sont beaucoup plus gênants que dans d'autres, les perturbations pouvant provenir des caractéristiques propres du circuit d'alimentation.

Il apparaît désirable d'agir plus particulièrement sur l'appareil perturbateur lui-même, il est néanmoins bien entendu qu'il y a le plus grand intérêt à avoir des installations très soignées, présentant, entre autres, des sections plutôt fortes qu'il n'est besoin et de prévoir, si possible, les lignes d'arrivée sous circuit gainé plomb ou acier.

A l'heure actuelle, les essais du Laboratoire central d'électricité, que nous avons suivis, peuvent être considérés comme terminés. Ils ont eu lieu sous la haute direction de M. Paul Janet, membre de l'Institut, Directeur du L. C. E., et ont été effectivement poursuivis par M. Jouaust, Sous-Directeur du L. C. E., bien connu pour ses travaux scientifiques, en particulier dans le domaine de la radioélectricité, assisté de M. Strelkoff, Ingénieur. En outre, le Comité central des Sociétés de T. S. F. de France a suivi ces expériences.

Les rapports relatifs aux différents essais effectués au L. C. E. ont été remis au S. P. I. R. aux dates suivantes :

4 janvier 1929, 11 février 1929, 16 mars 1929, 25 avril 1929, 22 juillet 1929, 28 novembre 1929 et 26 février 1930.

Ils se rapportent aux actions perturbatrices dues aux tubes à néon, aux appareils téléphoniques et sonneries électriques, aux troubles apportés par les redresseurs à lame vibrante, et les contacteurs tournants, par le fonctionnement des moteurs et généra-

teurs à courant continu et alternatif, par les ascenseurs, les lignes de transport de force à haute tension, les appareils d'électricité médicale et enfin par les tramways électriques.

Certaines perturbations dont il avait été question dans le projet de rapport établi par nos soins, n'ont pu être étudiées au L. C. E. Nous en dirons un mot tout à l'heure.

De nombreuses maisons ont bien voulu prêter du matériel pour nous faciliter les essais et nous profitons de l'occasion qui nous est offerte ce soir, pour les remercier à nouveau.

Les appareils de réception utilisés par le L. C. E. ont été les suivants :

- 1° un appareil Mégadyne à 4 lampes Lemouzy,
- 2° un appareil changeur de fréquence Sfer 28 à 6 lampes,
- 3° un appareil à réaction 2BF. G.M.R. (4 lampes).

Ces appareils étaient alimentés, soit au moyen de batteries de piles et d'accumulateurs, soit pour l'alimentation de la plaque au moyen d'un redresseur.

L'appareil mégadyne ne permettait que la réception sur antenne. On utilisait une antenne unifilaire de 30 mètres de long.

L'appareil Sfer était employé pour la réception sur cadre. Le cadre utilisé comportait 20 spires et avait 60 centimètres de hauteur et 20 centimètres de largeur.

L'appréciation à l'oreille du trouble ne présentant pas des garanties de précision suffisantes, on s'est servi, au cours des essais, d'un voltmètre amplificateur Abraham Bloch prêté obligeamment par les ateliers Carpentier.

1° Elimination des parasites provoqués par le fonctionnement des tubes à gaz.

Les essais qui ont été effectués ont porté sur deux tubes au néon et deux tubes à vapeur de mercure, mis à la disposition du L. C. E. par les Etablissements Néon Publicité.

Les troubles provoqués par le fonctionnement de ces tubes consistent en des craquements violents irréguliers entendus très fortement lorsque l'appareil de réception est placé au voisinage.

Après de nombreuses expériences, le L. C. E. est arrivé à une élimination satisfaisante de ces parasites en prévoyant un grillage métallique (ouvert du côté extérieur pour ne pas gêner l'effet lumineux du tube) formant écran relié à la terre en plusieurs points par des connexions aussi courtes et de la plus forte section possible.

Il est intéressant de remarquer que la plupart de ces tubes lumineux sont montés sur des bâtis métalliques auxquels on pourrait donner une forme appropriée leur permettant de servir d'écran de protection et réduire ainsi à presque rien la dépense nécessitée par

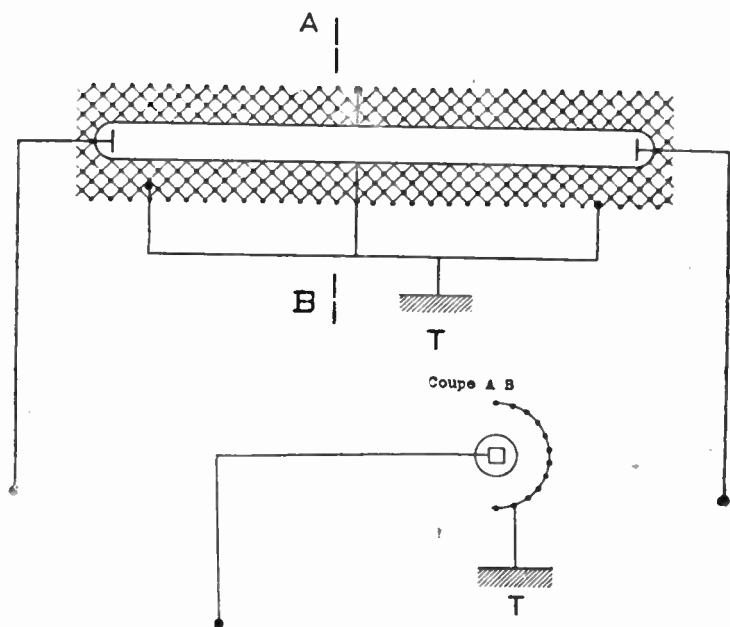


Fig. 4. — Tube au néon.

le dispositif antiparasite. Il suffit de mettre ces bâtis franchement à la terre et de les prévoir en métal bon conducteur pour les courants de haute fréquence.

2° *Élimination des troubles provoqués par le fonctionnement des appareils téléphoniques et par les sonneries électriques.*

L'essai a porté sur l'installation téléphonique du L. C. E. qui, en réalité, gênait très peu l'audition.

Néanmoins, en installant le poste de réception avec son cadre sur la table du standard, on a pu, dans ces conditions très défavorables, entendre un bruit parasite provenant du fonctionnement du relais d'appel.

Ce relais, constitué par une lame vibrante donne lieu à la production d'étincelles qui sont le siège de courants à haute fréquence.

Pour éliminer ce bruit parasite, il faut tenir compte des considérations suivantes : les perturbations provoquées par le fonctionnement du relais peuvent être divisées en deux parties :

- 1^{re} troubles rayonnés par la ligne d'appel en correspondance,
- 2^{re} troubles rayonnés par le relais lui-même.

Pour éliminer les troubles rayonnés par la ligne d'appel, un condensateur de forte capacité, d'au moins $4\mu\text{F}$, placé aux bornes du relais d'appel suffit. Ce condensateur formant un véritable court-circuit pour le passage des courants de haute fréquence, le rayonnement direct du relais n'étant pas diminué par ce condensateur, il a été nécessaire de prévoir un blindage métallique de cet appareil, blindage qui a été relié à la terre, car ce relais se trouve à proximité de nombreux circuits engendrant des perturbations le long de toute l'installation.

Avec les deux dispositifs ci-dessus, on a pu réduire à néant les perturbations provoquées par ce relais d'appel.

Les sonneries électriques apportent des perturbations analogues à celles produites par le fonctionnement des relais d'appel.

Toutefois, le L. C. E. pour se rendre mieux compte de l'influence des différentes parties de l'installation de la sonnerie, a constitué un circuit comprenant une pile, une ligne d'alimentation de 15 mètres et une sonnette. La ligne a été constituée par des fils souples isolés.

Le fonctionnement de cet ensemble donne lieu à un bruit très fort, même pour la réception des postes de Paris.

En plaçant l'appareil de réception à une distance de 15 mètres de la sonnette, pour éviter le rayonnement direct de cette dernière, on a changé les conducteurs isolés par des conducteurs sous plomb, reliés en plusieurs points à la terre. L'effet perturbateur a été fortement diminué, mais la réception des postes lointains restait encore troublée. En shuntant les bornes de rupture de la sonnette par un condensateur de 4 à 6 microfarads pour arrêter la propagation des courants de haute fréquence le long de la ligne, aucune gêne n'a été constatée même pour l'écoute des postes étrangers.

En approchant progressivement l'appareil de réception vers la sonnette le long de la ligne, le bruit réapparaît, et lorsque l'appareil est placé à 2 mètres de la sonnette, les troubles couvrent presque complètement l'audition des postes lointains. En recouvrant la sonnette par un grillage métallique, ce dernier bruit provenant uniquement de la sonnette, ou plutôt de ses enroulements, disparaît à peu près entièrement,

3° *Elimination des parasites provoqués par le fonctionnement des contacteurs tournants.*

Ces appareils sont destinés à commander automatiquement l'ouverture et la fermeture du courant, en particulier pour la publicité lumineuse.

Les troubles provoqués par le fonctionnement de ces appareils se rapportent à la troisième catégorie, donnant lieu à l'ensemble des deux perturbations différentes produites par :

- a) le fonctionnement du moteur de commande,
- b) le fonctionnement de l'interrupteur tournant.

L'appareil étudié au L. C. E., a été prêté gracieusement par les Etablissements Paz et Silva.

Le bruit du fonctionnement du moteur est aisément supprimé par deux condensateurs.

Pour éliminer le bruit dû au fonctionnement de l'interrupteur tournant, il ne suffit pas de shunter par des condensateurs les bornes de rupture, il est tout à fait indispensable d'utiliser les conducteurs d'amenée du courant sous plomb reliés en plusieurs points à la terre. Seulement, en réalisant ces trois conditions :

- 1° Shuntage du moteur par un condensateur de 2 MF, environ;
- 2° Shuntage des bornes de rupture par un condensateur de 2 ou 4 MF ;

3° L'emploi des conducteurs sous plomb reliés à la terre, on peut obtenir des résultats suffisants pour que l'audition même des postes lointains, ne soit pas troublée.

4° *Redresseurs à lame vibrante.*

Un redresseur à lame vibrante, type Lendel, a été mis à la disposition du L. C. E. par les Etablissements Ferrix.

Le schéma de l'appareil est indiqué sur la figure 2; il est destiné à la recharge des accumulateurs de 4 et 40 V.

Par son principe même, le fonctionnement de cet appareil crée des ruptures et des établissements de courant donnant lieu à des étincelles et, par conséquent, à des troubles assez importants.

Le réglage de la distance entre la lame mobile et les deux vis fixes connectées directement aux bornes de la tension à redresser, peut diminuer ces troubles dans une certaine mesure. D'autre part, les éléments de l'appareil doivent être prévus de façon que les ruptures et les établissements du courant se produisent au moment où la valeur

du courant passe par le zéro. Pratiquement, ce réglage est difficile à obtenir et une fois obtenu il peut se dérégler à nouveau, très rapidement.

Le seul moyen efficace pour éliminer les perturbations dans la réception radiophonique est de disposer aux bornes de rupture, des condensateurs de 0,5 à 3 μ F.

Ces derniers présentant un véritable court-circuit pour le passage des courants de haute fréquence, les empêchent de se propager dans

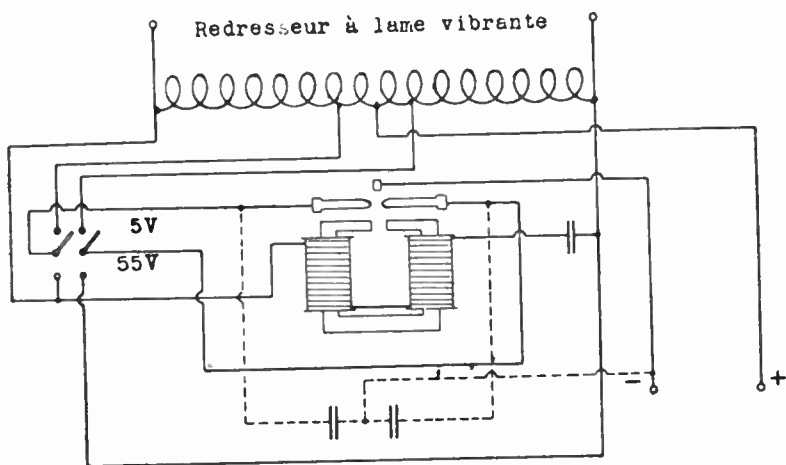


Fig. 2.

la ligne et les perturbations importantes provoquées sans le dispositif des condensateurs deviennent pratiquement négligeables lorsqu'on met ces appareils.

Il faut remarquer que le dispositif des condensateurs n'évite pas le rayonnement direct de l'appareil et les troubles dus à ce rayonnement, peuvent être perceptibles dans un rayon de 3 à 5 mètres.

3° Élimination des parasites provoqués par le fonctionnement des générateurs et moteurs à courant continu et alternatif.

Les troubles provoqués par le fonctionnement des générateurs et moteurs à courant continu et alternatif sont, en général, les plus faciles à éliminer par le dispositif classique de deux condensateurs montés en série, dont les armatures libres seront reliées aux bornes de la machine et l'armature commune à la masse de la machine.

Dans la réalisation pratique de l'élimination de ces troubles, il faut tenir compte des considérations suivantes :

Il ne suffit pas, dans beaucoup de cas et en particulier dans celui des anciennes machines, de ne mettre des condensateurs qu'aux bornes des balais ou des bagues.

Les condensateurs ont pour effet de livrer un passage facile aux courants de haute fréquence, donc, si l'on ne met les condensateurs qu'aux bornes des balais par exemple, les courants de haute fréquence ne se propagent plus dans la ligne, mais passent toujours dans l'induit de la machine. L'enroulement d'excitation étant au voisinage de l'enroulement de l'induit, devient aussi le siège d'une f. c. m. de haute fréquence.

Les courants induits de haute fréquence dans les enroulements de l'inducteur, ont le passage libre dans la ligne d'excitation, qui peut

Groupe convertisseur

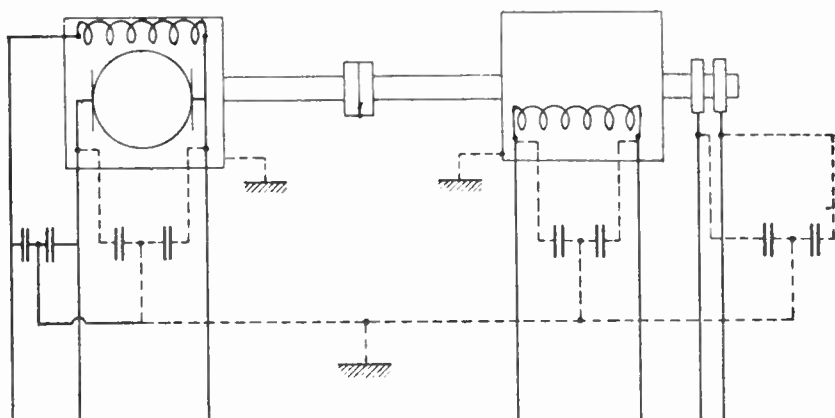


Fig. 3.

se trouver à proximité de la ligne d'alimentation d'induit et les troubles provoqués par le fonctionnement de la machine, quoique réduits, peuvent encore rester gênants pour l'audition des postes étrangers.

Dans ce cas, il est absolument nécessaire de mettre le même dispositif de deux condensateurs avec le milieu à la masse, aux bornes de l'excitation de la machine. Les milieux de deux paires de condensateurs peuvent être reliés ensemble à la masse de la machine, et la masse reliée à une bonne terre, comme le montre la figure 3.

6° *Installation d'ascenseur.*

L'étude de l'influence des moteurs d'ascenseurs a été faite au moyen d'un appareil mis à la disposition du L. C. E. par les Etablissements Houplain.

Cet appareil comprenait :

1° un moteur monophasé à collecteur 220 V. 30 A.

2° un tableau de commande monté sur marbre.

Les troubles provoqués par le fonctionnement d'un ascenseur peuvent être considérés comme l'ensemble de deux perturbations :

1° continues dues au fonctionnement du moteur ;

2° discontinues dues au fonctionnement du disjoncteur.

Les premières, les plus importantes et les plus gênantes, parce qu'elles sont entendues pendant toute la durée de la marche du moteur, s'éliminent facilement à l'aide du dispositif des condensateurs.

Les troubles provoqués par la fermeture ou par l'ouverture du courant d'alimentation du moteur sont caractérisés par des craquements assez violents, mais très rares, correspondant au démarrage et à l'arrêt du moteur. L'intensité du courant absorbé par le moteur est de l'ordre de 15 ampères. Pour éliminer le craquement dû à la rupture et à l'établissement de ce courant, on a constitué un circuit séparé du moteur. Malheureusement, ni condensateurs aux bornes de rupture, ni blindage du tableau de commande, ni emploi de conducteurs extérieurs sous plomb n'ont donné de résultats plus ou moins efficaces, et d'après les essais du L. C. E., on paraît désarmé, pour l'instant, quant à la suppression des craquements qui se produisent au démarrage et à l'arrêt des ascenseurs (ces parasites, heureusement, ne durent qu'une faible partie du temps d'utilisation).

7° *Lignes à haute tension.*

Jusqu'à 70.000 V. aucun trouble n'a été constaté au récepteur placé à 200 mètres de la ligne sous tension et alimenté par le secteur à courant alternatif.

A partir de cette valeur de la tension, on commence à entendre un bruit léger qui croît avec la tension de la ligne. Ce bruit doit provenir des effluves commençant à prendre naissance à partir de cette tension, sans que dans la pratique on puisse donner cette tension comme limite, car cela peut dépendre d'un certain nombre de facteurs, en particulier de l'état hygrométrique de l'atmosphère.

Si les troubles sont apportés par une ligne transport d'énergie sous une tension inférieure à 70.000 V., on est certainement en présence d'un défaut d'isolement qui ne peut être évité qu'en changeant les isolateurs détériorés. A ce sujet, on peut signaler qu'il existe des appareils à lampes permettant de détecter à distance les isolateurs présentant un défaut.

En ce qui concerne les lignes haute tension, certaines précautions, dans le cas de l'emploi de l'antenne, peuvent être prises (antenne perpendiculaire à la ligne haute tension).

8° Élimination des troubles apportés par le fonctionnement des appareils médicaux.

Les appareils médicaux mis à la disposition du L. C. E. comportaient un appareil producteur de rayons ultra-violet, un appareil de diathermie Péricaud et un commutateur tournant pour l'alimentation d'un tube de Coolidge, des Établissements Gaiffe-Gallot et Pilon.

Les essais d'élimination des troubles produits par le fonctionnement des appareils médicaux ont été particulièrement difficiles.

Le fonctionnement des appareils médicaux étudiés est basé sur le principe de la production de courant de haute fréquence, réalisé généralement par les étincelles. Les perturbations provoquées par ces appareils proviennent du rayonnement direct de l'appareil et du rayonnement de la ligne.

Le rayonnement direct peut être évité par l'étouffement d'étincelles à l'aide des condensateurs, mais dans le cas particulier des appareils médicaux, ce moyen supprime en même temps l'effet utile de l'appareil.

On s'est borné, par conséquent, à des essais d'élimination des parasites dus au rayonnement de la ligne.

L'emploi de deux condensateurs aux bornes du primaire du transformateur a donné des résultats très efficaces.

On a pensé, en outre, à éviter le rayonnement direct des appareils par l'emploi de cages de Faraday, pour les appareils producteurs particulièrement de rayons X.

Le L. C. E. n'a pas cru devoir entreprendre une étude plus complète qui aurait été assez longue et très onéreuse, particulièrement en ce qui concerne l'emploi de blindages importants, cette étude pourrait être envisagée car elle doit aboutir, vraisemblablement, à des résultats encourageants si l'on en juge d'après ceux obtenus en Allemagne.

On peut même admettre des dispositifs antiparasites d'un prix assez élevé lorsqu'il s'agit d'installations importantes, tant que ces dispositifs n'interviennent que pour une fraction relativement faible dans les dépenses de premier établissement.

9° Essais d'élimination des parasites dus au fonctionnement des tramways.

Ces essais ont pu être entrepris grâce à l'obligeance de la Société des transports en commun de la région parisienne.

Les expériences préliminaires ont montré que les troubles proviennent de plusieurs causes : moteur du compresseur, moteur de traction et rupture du courant entre la roulette et le fil du trolley. Les plus importants sont produits par la rupture du courant entre la roulette et le fil du trolley. Ces ruptures sont irrégulières et donnent lieu à des craquements très forts.

S'il est facile d'éliminer le bruit dû au fonctionnement des moteurs

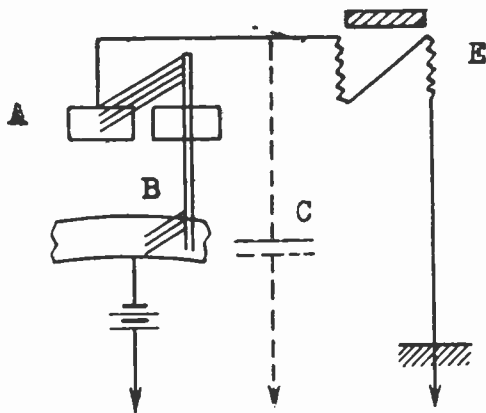


Fig. 4.

de traction et du compresseur au moyen de condensateurs placés à leurs bornes, les craquements dus aux étincelles de rupture sont restés inévitables. Le shuntage du fil du trolley par de fortes capacités n'a donné aucune amélioration malgré de nombreuses expériences et contrairement à l'opinion de certains auteurs.

Par ailleurs, d'essais effectués à l'étranger, il semble résulter que ces perturbations peuvent être notablement atténuées en adoptant du charbon ou du zinc pour les archets ou les roulettes de prise de courant.

sion qui voudront bien actionner, j'espère, les récepteurs que j'aurai l'honneur de vous présenter dans quelques mois.

Il ne me reste qu'à vous remercier, Messieurs, de votre indulgente attention et m'excuser d'avoir limité ce sujet passionnant aux généralités, déjà connues de la plupart d'entre vous, mais qui formeront l'introduction naturelle aux précisions que je ne manquerai pas de vous apporter par la suite.

BARTHÉLÉMY.

NOTE SUR LE CALCUL D'UN DOUBLEUR DE FRÉQUENCE

par **B.-P. ASSÉEF**,

*Ingénieur-Electricien, Chef du Laboratoire Radio des Cours Supérieurs
des Communications électriques à Leningrad.*

I. — INTRODUCTION.

Indépendamment d'un certain nombre de travaux qui exposent la physique des phénomènes, ayant lieu pendant la multiplication de fréquence à l'aide des triodes et qui donnent les relations principales sous une forme assez compliquée (1), nous manquons presque totalement de matériel sur le calcul pratique de cette partie importante d'un transmetteur d'ondes courtes. Pour cette raison, l'auteur suppose que son travail peut présenter un certain intérêt pour les personnes, ayant à s'occuper de la construction pratique des doubleurs de fréquence.

Nous nous proposons de considérer dans ce travail le calcul d'un doubleur de fréquence, l'usage des tripleurs et en général des multiplicateurs de fréquence étant peu répandu, vu leur utilisation insuffisante de la puissance du triode.

II. — COURANT ANODIQUE ET TENSION RÉSUŁTANTE.

Le calcul d'un oscillateur à triodes se conduit ordinairement d'une manière analytique, en remplaçant les caractéristiques réelles par les caractéristiques rectilignes. Du moment qu'on peut appliquer la même méthode au calcul du doubleur, il serait profitable de citer quelques passages sur la méthode du calcul d'un oscillateur à triodes, proposée par l'auteur dans un article antérieur (2).

Nous savons que dans les conditions de travail (circuit anodique chargé), la valeur instantanée du courant anodique est définie par les valeurs instantanées des tensions de plaque et de grille. La courbe, qui indique les variations du courant anodique en fonction

(1) J. Marique *L'Onde électrique*. Vol. 8, janvier 1929, p. 4-19.

(2) B. Asséef. *Telegrafia i telefoniz bez provodov*. Avril 1928, t. IX, Nr 2(47), p. 157-170.

En outre, on diminue notablement les perturbations en employant une articulation à ressort entre la roulette et la perche, de telle manière que la roulette adhère toujours au fil, même si elle n'est plus circulaire.

Le L. C. E. n'ayant pas eu l'occasion d'étudier les bruits parasites

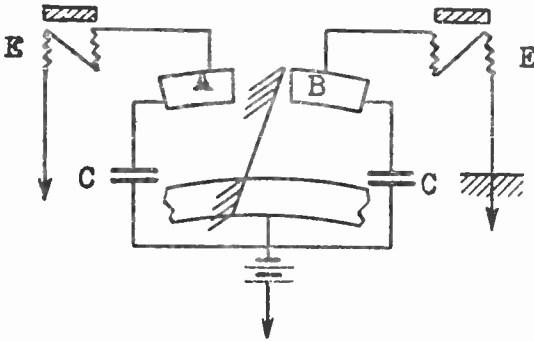


Fig. 5.

provoqués par les appareils télégraphiques, il nous paraît intéressant de dire quelques mots des bruits provoqués par les appareils Baudot, souvent très gênants. Une étude complète a été faite par M. Guillot.

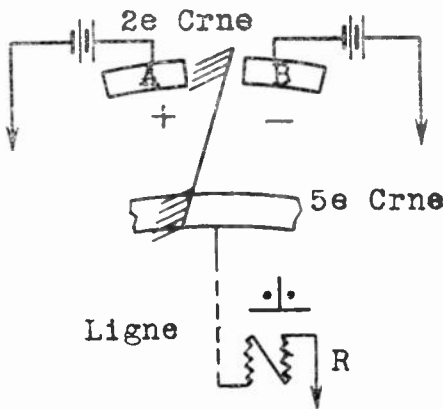


Fig. 6.

dirigeur de Baudot au Central télégraphique et téléphonique d'Avignon, à laquelle nous renvoyons.

Il ne nous a pas encore été possible de vérifier les résultats de ces essais, mais d'après leur auteur, ils donnent satisfaction au moyen d'un dispositif simple comprenant un rhéostat variable progressive-

ment, réglé une fois pour toutes pour un appareil déterminé, d'une résistance totale de 800 ohms, branché entre les prises de courant, et un ensemble constitué par une self induction de l'ordre de 0,2 henry et un condensateur de 0,5 microfarads.

Il y aurait lieu, avant de considérer les résultats de ces essais

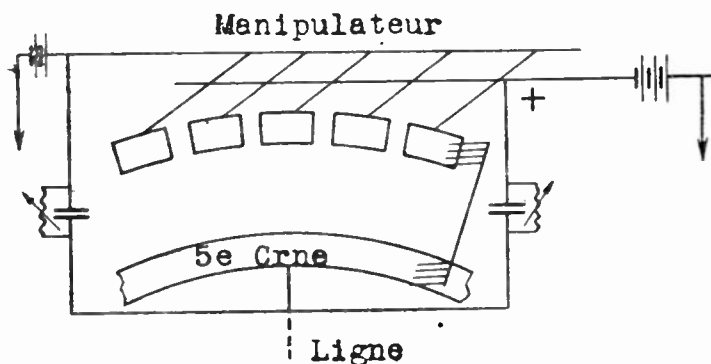


Fig. 7.

comme définitifs, de les répéter, mais tels que, ils paraissent susceptibles d'être retenus par analogie avec ceux du L. C. F.

Il ressort des travaux précédents qu'on peut éliminer d'une manière

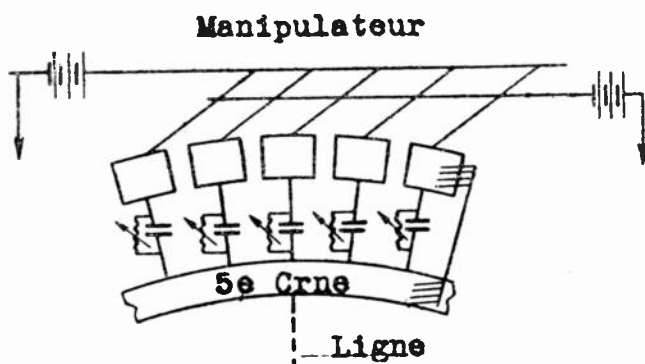


Fig. 8.

satisfaisante les perturbations étudiées par des dispositifs simples, à l'exception de trois cas (parasites provoqués par les démarrages et les arrêts des ascenseurs, les appareils médicaux et les contacts de la roulette et du fil de trolley des tramways), pour lesquels des essais supplémentaires pourraient être entrepris.

Toutefois, les résultats obtenus par le L. C. E., bien que très inté-

ressants, en eux-mêmes, ne peuvent être généralisés, ce qui est, d'ailleurs, l'avis de M. Jouaust. Ces essais n'ont pu porter sur toutes les machines et installations électriques utilisés dans la pratique mais ils donnent, dans l'ensemble, la méthode à suivre dans des conditions analogues.

Les troubles caractéristiques apportés par les différentes machines et installations électriques dépendent, non seulement, des éléments qui constituent ces machines et ces appareils, mais de leur mode d'utilisation et de branchement. Il est presque indispensable, pour se rendre bien compte des perturbations dues au fonctionnement d'un appareil quelconque d'étudier, outre l'appareil lui-même, la ligne d'alimentation de cet appareil, ainsi que les autres lignes en dérivation, voir séparées, mais passant au voisinage.

A notre avis, on pourrait, d'une manière succincte, donner les conseils suivants :

- 1° Emploi de conducteurs de fortes sections ;
- 2° Conducteurs aussi courts que possible ;
- 3° Connexions devant être solidement fixées sur les bornes d'une machine ou d'un appareil.

La valeur de la capacité des condensateurs servant comme moyen de protection ne peut être trouvée que pratiquement. Dans le cas des machines ou des appareils branchés sur les secteurs alternatifs, la valeur des capacités doit être choisie la plus petite possible pour éviter des pertes importantes de courant, si besoin est, on ajoutera dans le circuit un dispositif protecteur constitué par des résistances élevées rendant la valeur de l'intensité du courant de fuite négligeable.

3° Perturbations créées tant par les postes d'émission que par les postes de réception.

Ces perturbations sont d'une toute autre nature que celles que nous venons d'examiner.

En ce qui concerne celles provenant des postes d'émissions, elles dépendent surtout de l'organisation de la radiodiffusion, tant pour les qualités que l'on doit exiger des postes d'émission que de leur puissance, leur longueur d'onde et leur répartition dans le monde.

L'Union Internationale de Radiodiffusion a constitué une commission chargée du contrôle des postes. Néanmoins, il nous paraît intéressant d'en dire un mot car, malheureusement, trop souvent, en France, on oublie les règlements ou, simplement, les vœux qui ont pu être émis. D'après nos renseignements, émanant de mon ami Brailard, le distingué Président de l'Union Internationale de Radio-

diffusion, il n'y a pas de jour où la commission technique ne reçoive de plaintes de l'étranger concernant nos émissions.

Les caractéristiques des postes d'émission ont été indiquées, d'une manière très précise, dans le rapport que M. le Commandant Brénot a bien voulu faire au Congrès national de la radiodiffusion. Il nous paraît intéressant d'en citer les passages suivants qui constituent un programme très net des qualités requises pour un bon poste d'émission :

« La stabilité de l'émission commande la stabilité de réglage du récepteur. Si l'onde varie, l'auditeur est obligé, ou de modifier sans cesse son réglage pour suivre les variations de l'onde émise ou de sacrifier la qualité de sa réception, hypothèses également inadmissibles.

« La stabilité est enfin une des conditions les plus essentielles du fonctionnement simultané de nombreux postes émetteurs...

Pour des raisons analogues, les ondes émises doivent être pures, c'est-à-dire autant que possible, dépourvues d'harmoniques, ondes secondaires en rapports simples avec l'onde fondamentale et qui encombreront l'espace de leurs vibrations perturbatrices ».

De son côté l'Union internationale de radiodiffusion a demandé :

« 1° Que la scintillation de la fréquence ne dépasse pas $1/200.000$ en valeur relative, sous l'effet des plus fortes modulations ;

« 2° Que la modulation reste correcte et sans distorsion, soit que cette dernière provienne d'une mauvaise qualité des appareils électroacoustiques alimentant la station, soit que la modulation soit trop forte ».

Ces points acquis, il est évident que les stations d'émissions doivent être séparées d'un certain nombre de kilocycles entre elles, mais par suite de l'encombrement de l'éther les intervalles entre stations sont baissés souvent au-dessous de 10 kilocycles, alors qu'une vingtaine de kilocycles paraît désirable. Il est vrai qu'en présence du grand nombre des postes en fonctionnement, le Président de la Commission technique de l'Union internationale de radiodiffusion (rapport en date du 19 mars 1930) préconise que les stations soient divisées en deux catégories, l'une comprenant les stations à grande puissance auxquelles seront affectées les ondes exclusives, l'autre comprenant les stations secondaires à portée limitée, auxquelles seront affectées les ondes communes permettant à plusieurs postes d'intérêt local de travailler sur la même longueur d'onde, ce qui est en concordance avec ce que nous avons dit au début en ce qui concerne la puissance des postes.

Au sujet de la puissance des postes et de leur longueur d'onde, nous croyons utile de nous reporter également au rapport présenté

par M. le Commandant Brenot au Congrès national de la radiodiffusion, en faisant nôtre la remarque de l'Union internationale de radiodiffusion :

« Les interférences constatées, soit entre stations de radiodiffusion, soit entre celles-ci et des stations d'autres services, sont beaucoup plus imputables à la mauvaise qualité technique de certaines stations qu'aux grandes puissances mises éventuellement en jeu ».

Nous rappelons, pour mémoire, que dans les emplacements définitifs à attribuer aux stations d'émission, on devra, dans la mesure du possible, les prévoir à une certaine distance des grands centres (au moins 15 km. pour une ville comme Paris).

Une gêne considérable est apportée dans les réceptions par les postes à ondes amorties qui sont, par essence, mal syntonisées et il faut espérer que le Gouvernement prendra des mesures pour la suppression de ces postes et n'attendra pas janvier 1940, date fixée par la Conférence internationale de Washington pour l'interdiction des postes à ondes amorties d'une puissance supérieure à 300 watts.

Enfin, les postes récepteurs à lampes qui sont de véritables petits postes d'émission peuvent interférer entre eux et être une cause de trouble pour les auditions : il serait nécessaire de réglementer les appareils de réception placés dans les agglomérations, en particulier en ce qui concerne les appareils à réaction sur le circuit d'antenne et les appareils à changement de fréquence utilisant l'antenne comme collecteur d'ondes.

4^e Causes diverses

D'autres causes de perturbations pourront apparaître dans l'avenir, il en existe qui sont mal délinées à l'heure actuelle.

D'ores et déjà, il en est qui dépendent de l'installation du poste même et du collecteur d'ondes utilisé et qui, pour les personnes non averties, peuvent rendre désagréable l'emploi de la radiophonie.

D'une manière générale, nous dirons qu'il s'agit d'installations engendrant des mauvais contacts, antennes mal isolées, terres pas franches, etc...

Ainsi qu'on peut le voir en examinant les travaux du L. C. E., une grande amélioration peut être apportée aux troubles occasionnés par certains appareils électriques aux réceptions radiophoniques, au moyen de dispositifs relativement très simples et peu coûteux. Dans ces conditions, il ne doit pas être très difficile d'obtenir une loi imposant ces dispositifs aux constructeurs, installateurs et usagers d'appareils perturbateurs.

Il n'est pas sans intérêt de rappeler, tout d'abord, que dans la plupart des pays, des prescriptions, des règlements, des décrets, voire des lois, ont été prévus tendant à la suppression des perturbations nuisibles à la radiodiffusion. On peut citer entre autres :

L'Allemagne où la nouvelle loi sur les installations téléphoniques prévoit un recours contre les perturbations en résultant et contre les installations perturbatrices au cas où celles-ci sont mises en service lorsque les récepteurs de radiodiffusion existent déjà.

L'Autriche où l'on a essayé d'agir par la persuasion. On peut lire, en effet, dans les statuts de l'électricité la phrase suivante :

« Le bon maintien d'une exploitation libre de perturbations est
« de l'intérêt général des propriétaires de semblables installations,
« l'exécution des mesures de précaution doit avoir lieu suivant les
« circonstances et en évitant, autant que possible, de s'écarter des
« principes techniques les plus rigoureux ».

La Yougoslavie où des sanctions sont prévues dans le Code pénal de 1929, au § 213 ayant trait aux interférences électriques.

L'Italie où l'on paraît avoir été plus loin encore si on se rapporte à la loi du 14 juin 1928 : « Directives pour la radiodiffusion d'exécutions artistiques » qui contient les dispositions sanctionnant cette responsabilité de l'Etat et édicte des mesures qui devraient être étendues et généralisées.

D'autre part, des ordonnances locales ont été prises par différentes municipalités dans plusieurs pays. Il paraît intéressant de citer pour l'Allemagne l'ordonnance de Königsberg de septembre 1928 et pour les Etats-Unis celle de Fairfield du 3 janvier 1928.

En ce qui concerne les perturbations dues aux postes d'émission, des conférences internationales comme celles de Washington, Prague ou La Haye, se sont occupées des interférences d'origine radio-électrique. Certaines dispositions de la Convention de Washington ont visé, en particulier, les troubles que peuvent apporter les stations d'émission elles-mêmes.

En France, il y a lieu de voir sur quels précédents on pourrait s'appuyer en l'absence de jurisprudence. Toutefois, sur ce dernier point, on nous signale un jugement très intéressant rendu par le tribunal civil d'Arras, dans lequel le propriétaire d'un appareil perturbateur (moteur de phonographe) a été condamné à payer à l'usager d'un poste récepteur, une somme de 500 francs à titre de dommages-intérêts et aux dépens.

M^r Cartault, le distingué Conseil juridique du S. P. I. R., a bien voulu nous préciser son point de vue dans une note très

circonscanciée qui prouve qu'on est loin d'être désarmé avec l'arsenal des lois actuelles. Toutefois, ainsi que le demande M^e Cartault, il serait intéressant de voir le droit à toute bonne réception définitivement consacré en France, comme il est déjà dans certains pays étrangers. Il serait donc très intéressant que les pouvoirs publics soient éclairés à ce sujet avant le projet de loi établissant le statut de la radiodiffusion, d'autant plus qu'il est à peu près certain que l'on prévoiera dans ce statut une redevance des « écouteurs usagers ». Cette redevance qui sera, en principe, perçue par l'Etat crée pour lui l'obligation de fournir à l'écouteur l'audition normale des émissions françaises, soit que cette émission soit produite par l'Etat lui-même, ou par les compagnies concessionnaires qui recevront tout ou partie des redevances.

Dans ces conditions, l'Etat devra intervenir et user de son pouvoir législatif pour établir lois et décrets fixant les conditions d'emploi des appareils susceptibles de créer des perturbations aux réceptions radiophoniques et les qualités qui devront être requises pour les différents postes d'émission, voire de réception.

En dehors de la voie légale, et parallèlement à celle-ci, la persuasion peut beaucoup, et c'est là notre conclusion. En effet, les usagers de la radiophonie et les radioclubs peuvent, chacun dans leur sphère, aider puissamment à la création d'un mouvement d'opinion qui finira certainement par convaincre les constructeurs, installateurs et usagers d'appareils perturbateurs, de la nécessité de munir les derniers de dispositifs antiparasites.

Les groupements d'amateurs pourront, éventuellement, prévoir un questionnaire relatif aux appareils perturbateurs, dont le modèle pourra être pris sur celui qu'a proposé aux Etats-Unis le sous-comité des Interférences de l'Inductive Coordination Comity.

Nous sommes convaincus que le jour où les postes d'émission seront répartis d'une manière judicieuse, tant par leur puissance, leur longueur d'onde et leur situation, dans l'ensemble du territoire national, et que l'on aura pu supprimer, tout au moins atténuer d'une manière importante, les perturbations radiophoniques, l'industrie française radioélectrique prendra un nouvel essor et connaîtra la prospérité qu'elle a obtenue dans les autres grandes nations, aux Etats-Unis en particulier, et le nombre des auditeurs formant alors l'immense majorité du pays, la radiodiffusion aura la place prépondérante à laquelle elle a droit dans toutes les manifestations de la pensée.

LEBUC.

PROPRIÉTÉS ÉLECTRIQUES DU CONTACT MÉTAL-SULFURE DE CUIVRE (1).

par J. CAYREL.

SOMMAIRE. — Expériences tendant à prouver que l'ensemble des phénomènes rectifiants observés antérieurement par l'auteur sur des échantillons de Cu^2S artificiel, doit en réalité être attribué au mélange $\text{Cu}^2\text{S} + \text{impureté CuS}$. Ce mélange est doué d'une conductibilité mixte, Cu^2S pur étant un conducteur ionique et CuS un conducteur métallique.

Les belles études publiées par M. Pélabon (2) dans l'*Onde Électrique* (n^{os} de mai et de novembre) sur le redresseur à oxydes de cuivre, confirment les résultats obtenus par l'auteur sur les sulfures dans la mesure où les propriétés des sulfures et oxydes de cuivre sont comparables et malgré les différences profondes qui séparent les cas étudiés, mélange au lieu de système de couches à composition chimique nettement définie.

I. — RAPPEL DE RÉSULTATS AYANT FAIT L'OBJET DE COMMUNICATIONS ANTÉRIEURES.

J'ai signalé dans des notes antérieures (3) les phénomènes complexes auxquels donne lieu le passage d'un courant continu ou alternatif à travers le contact (4) Métal-Sulfure cuivreux. Je rappelle brièvement les principaux résultats concernant la conduction d'un courant *permanent* par le contact Métal — Cu^2S . Convenons pour abrégé l'exposé d'appeler sens α le sens sulfure-métal, sens β le sens métal-sulfure, cohération, toute diminution de la résistance du contact, antiohération, toute augmentation de cette résistance, enfin désignons par R_0 la *résistance du contact à courant nul*, c'est-à-dire pratiquement la résistance du contact pour un courant suffisamment faible pour ne le point modifier.

(1) Procès-Verbal d'une communication faite le 16 janvier 1930 devant la Société des Sciences Physiques et Naturelles de Bordeaux.

(2) M. Pélabon ignorait nécessairement le présent travail lors de la publication de ses articles, car les Procès-Verbaux 1930 de la Société des Sciences Physiques et Naturelles de Bordeaux, sont actuellement sous presse.

(3) C. R. (1926), t. 183, p. 449.

C. R. (1927), t. 185, p. 46.

P. V. de la Société des Sciences Physiques et Naturelles de Bordeaux (1927-1928), p. 40.

(4) L'électrode de contact était formée d'une boucle circulaire du fil métallique étudié et dont le plan était normal à la surface du sulfure : diamètre de la boucle 5 mm ; diamètre du fil 0,5 mm).

A. — Phénomènes principaux.

(Contacts légers, métaux à oxydes isolants).

1. *Sens 1.* — Le courant croît d'abord de façon continue avec la d.d.p. appliquée, puis pour une valeur critique de cette d.d.p. variant suivant les métaux de 0,25 v à 0,50 v, la courbe $i = f_1(v)$ monte verticalement. Il y a *cohération* 1. Cette cohération est généralement *réversible*, car bien que la courbe $i = f_2(v)$ par v décroissants soit située au-dessus de la courbe $i = f_1(v)$ par v croissants (*hystérésis*), on retrouve pour $i = \varepsilon$ le même R_0 qu'avant la cohération.

2. *Sens 2.* — A partir d'une d.d.p. variant de 0,5 v à 1 v le courant i diminue en fonction du temps à v constant. Une augmentation de v provoque une augmentation temporaire de i suivie d'une baisse en fonction du temps qui ramène i à une valeur limite ε et d'autant plus faible que v est plus grand. Il y a *anticohération* 2. Le phénomène est irrégulier et contrarié par la cohération que tend à produire tout courant traversant un contact. Si l'on dépasse pour v une certaine valeur V variable avec la nature du métal, un arc jaillit entre le métal et le sulfure qui se soudent. L'anticohération 2 est généralement *irréversible* et on trouve pour R_0 après suppression du courant 2 anticohérateur, des valeurs énormes de l'ordre de $10^4 \omega$ à $10^6 \omega$, ordinairement *très supérieures* à la résistance déjà très élevée du contact durant l'application de la d.d.p. anticohératrice maxima.

La cohération 1 et l'anticohération 2 expliquent la rectification d'un courant alternatif par le contact Métal — Cu'S, le courant passant mieux du sulfure au métal que du métal au sulfure.

B. — Phénomènes secondaires.

(Contacts appuyés, métaux inoxydables
ou à oxydes non isolants).

En général les *phénomènes principaux* (cohération 1 et anticohération 2) subsistent encore, mais avec certains échantillons de sulfure et pour des d.d.p. inférieures à celles où ils commencent de se manifester, on observe souvent des phénomènes de sens opposé (anti-

cohération α et cohération β) que nous qualifierons de *secondaires*. Les *phénomènes secondaires* sont particulièrement nets avec l'or qui a donné lieu aux observations suivantes :

1. *Sens β* . — Le passage du courant provoque une grande baisse de la résistance du contact (*cohération β*) qui maintient la d.d.p. or-sulfure entre 0,10 v et 0,20 v. Cet effet semble *persister* après suppression du courant β cohérateur.

2° *Sens α* . — Pour une d.d.p. du même ordre de grandeur, un courant α provoque une forte augmentation de la résistance de contact (*anticohération α*).

3° *Anticohération β* . — Ce phénomène qui fait suite à la *cohération β* avec Cu, Al..., lorsque la d.d.p. appliquée au contact dépasse une certaine valeur, est généralement impossible à obtenir avec Au. Toutefois en inversant brusquement le courant *après avoir obtenu la cohération α* , c'est-à-dire pour 0,40 v à 0,50 v il se produisait une *anticohération β* très nette (résistance énorme), mais dont la durée était de l'ordre de la seconde.

II. — SULFURE CUIVREUX et SULFURE CUIVRIQUE.

I. EXPÉRIENCES DIVERSES.

A. — *Modification des propriétés du sulfure cuivreux artificiel* ⁽¹⁾ *chauffé pendant un temps suffisant à une température supérieure à son point de fusion ($t > 1600^\circ$) en milieu oxydant.*

J'ai fait fondre dans un creuset placé dans un four Meker, muni d'un brûleur oxyhydrique du sulfure cuivreux artificiel vendu comme chimiquement pur, qui était avant fusion bon conducteur de l'électricité et présentait nettement les propriétés résumées plus haut sous le titre de phénomènes principaux.

J'ai constaté que, si la température atteinte est suffisamment élevée et sa durée d'application suffisante, le sulfure obtenu après coulage et refroidissement est *très mauvais conducteur de l'électricité et ne donne plus lieu aux phénomènes principaux*. Nous dirons pour abréger que l'action de la température en milieu oxydant a « désensibilisé »

(1) Le sulfure cuivreux naturel (chalcosine), se comporte d'ailleurs de même, mais il est possible en ce qui concerne la chalcosine d'interpréter l'expérience A d'une autre façon.

le sulfure. Il est essentiel de remarquer que la fusion du sulfure n'entraînera pas sa désensibilisation, si le chauffage du sulfure fondu n'a pas été assez énergique ou assez prolongé.

A'. — *Même expérience avec addition de cuivre au sulfure fondu.*

La désensibilisation s'obtient *plus facilement* que par l'action de la chaleur seule.

B. — *Action du soufre bouillant sur le sulfure cuivreux désensibilisé.*

Un fragment de sulfure désensibilisé soumis à l'action du soufre bouillant redevient sensible. Sa conductibilité électrique devient même très supérieure à celle de l'échantillon primitif. En raison de la porosité de Cu^2S l'action du soufre se fait sentir non seulement en surface, mais encore au sein du sulfure au bout de quelques heures. Cette action consiste en une transformation du sulfure *cuivreux* Cu^2S en sulfure *cuivrique* CuS



(procédé de préparation de CuS).

C. — *Action de l'acide azotique sur le sulfure cuivreux désensibilisé.*

Un fragment de sulfure désensibilisé est plongé dans l'acide azotique. Après lavage et séchage on constate que le sulfure est redevenu sensible. Ici encore il y a eu formation superficielle de CuS , l'acide azotique enlevant la moitié du cuivre de Cu^2S .

Le sulfure devient d'un beau bleu sombre semblable à celui de la covelline.

D. — *Propriétés électriques de CuS .* — Des essais effectués sur des échantillons de Covelline ⁽¹⁾ ou de sulfure cuivrique artificiel solide, nous ont montré que :

1° Ce sulfure était très *bon conducteur* ⁽²⁾ de l'électricité.

2° Le contact Métal- CuS présentait les *phénomènes principaux*, la cohérence α étant plus nette qu'avec le Cu^2S sensible, mais l'anticohérence β se produisant au contraire plus difficilement ⁽³⁾ et seulement avec les métaux à oxyde isolant comme Cu, Al,...

3° Le contact Métal- CuS ne donnait pas lieu aux *phénomènes secondaires*.

E. — *Propriétés de Cu^2S désensibilisé.*

1° Sa conductibilité électrique est extrêmement faible par rapport à celle du sulfure sensible.

(1) Sulfure cuivrique naturel cristallisé.

(2) Voir plus bas fin du § 2.

(3) En raison de la grande conductibilité de CuS ,

2° Au lieu des phénomènes présentés par le sulfure sensible, on observe sur le contact Métal-Sulfure, quel que soit le sens du courant, une *baisse de résistance en fonction du temps* (plus considérable et plus rapide quand le métal est positif). Si au cours ou à la fin de cette baisse de résistance on inverse le courant, la résistance *commence par augmenter en fonction du temps, passe par un maximum et diminue ensuite* comme dans le cas du contact vierge. Toutes ces variations sont très lentes et continues; les intensités n'atteignent leur valeur limite qu'au bout de plusieurs minutes.

F. — *Propriétés de Cu²S partiellement désensibilisé.*

1° Sa conductibilité électrique est plus faible qu'avant désensibilisation.

2° Le contact Métal-Sulfure présente les phénomènes principaux et secondaires, mais avec *prédominance des phénomènes secondaires et atténuation des phénomènes principaux* que l'on obtient seulement pour des contacts légers et avec des métaux à oxyde isolant.

2. — INTERPRÉTATION DES EXPÉRIENCES A, A', B, C, D.

Les expériences A, A', B, C, D suggèrent l'interprétation suivante :

La bonne conductibilité du Cu²S artificiel ordinaire et ses propriétés rectifiantes principales sont dues à une impureté de CuS.

La désensibilisation de Cu²S par l'expérience A consisterait à brûler ⁽¹⁾ le CuS mélangé à Cu²S (CuS étant beaucoup plus oxydable et beaucoup moins stable que Cu²S). L'action désensibilisatrice de Cu en excès (expérience A') s'explique aisément par la réaction $\text{CuS} + \text{Cu} = \text{Cu}_2\text{S}$.

Les expériences B et C resensibilisent le Cu²S désensibilisé en reformant du CuS. Enfin l'essai direct de CuS montre que ce corps présente bien la cohération α et l'anticohération β (phénomènes principaux) observées sur Cu²S sensible.

A l'appui de cette interprétation notons que Tubandt, ⁽²⁾ dont les remarquables travaux ont établi que la variété cubique de Cu²S présente à l'état pur une conductibilité purement électrolytique, signale que cette conductibilité d'ailleurs faible ($\rho = 10^7$ ohm-cm. d'après Streintz) est généralement masquée par la forte conductibilité métallique, que confèrent à Cu²S les impuretés CuS et Cu.

(1) Réaction industrielle de la métallurgie du cuivre.

(2) Zeits. f. anorg. und. allg. chem. t. 115 (1921), p. 123.

Je pense que c'est uniquement l'impureté CuS qui est responsable de la conductibilité métallique de Cu²S artificiel, car Cu et Cu²S ne sont pas miscibles, et l'addition de Cu à Cu²S fondu favorise au contraire la disparition de la conductibilité métallique de Cu²S (expérience A').

Le sulfure cuivrique CuS est, en effet, doué d'une conductibilité électrique très élevée ($\rho = 40.10^{-6}$ ohm-cm, d'après les récentes mesures de K. Fischbeck et O. Dorner) (1), et qui d'après les travaux de Fischer (2) doit être considérée comme purement métallique. Si l'on considère que d'après les chiffres cités CuS, est environ 10⁷ fois meilleur conducteur que Cu²S, on conçoit aisément qu'une trace de CuS puisse augmenter considérablement la conductibilité de Cu²S cubique qui devient un *conducteur mixte* à conductibilité électronique prépondérante.

3. — AUTRES EXPÉRIENCES.

G. — Action de l'hydrogène vers 800° sur Cu²S sensible (2).

On sait que l'hydrogène à haute température transforme CuS en Cu²S d'après la réaction :



Si notre interprétation est exacte, il doit y avoir désensibilisation du sulfure par destruction de l'impureté CuS.

L'échantillon de Cu²S artificiel *sensible* était chauffé vers 800° dans un courant d'hydrogène à l'aide d'un four électrique à résistance. Suivant la durée de l'expérience (1 h au minimum), j'ai obtenu avec Cu²S artificiel une désensibilisation partielle ou complète sauf avec les échantillons resensibilisés par l'action de S bouillant et qui contenaient des quantités massives de CuS. N'ont pu également être désensibilisés par l'hydrogène, différents échantillons de chalcosine (Cu²S naturel cristallisé) dont la porosité est beaucoup moins grande que celle du sulfure artificiel. Remarquons d'ailleurs que la forme cristalline de la chalcosine (*orthorhombique*) est différente de celle du sulfure artificiel (*cubique*) et que la chalcosine, *même exempte de CuS*, doit présenter une *conductibilité mixte*, partie ionique, partie électronique, comme le sulfure rhombique d'argent (4) Ag²S dont elle est isomorphe.

(1) Zeits. f. anorg. chem. 181 (1929), 372.

(2) Zeits. f. Elektrochem. Bd 32, n° 13 (1926), 138.

(3) C'est-à-dire suivant notre hypothèse contenant l'impureté CuS.

(4) A. Chrétien, Revue générale des Sciences, 40 (1929), 605.

II. — *Conduction d'un courant intense* ⁽¹⁾ *par un cylindre de Cu²S désensibilisé* ⁽²⁾.

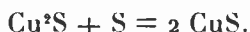
Un crayon de Cu²S désensibilisé vierge, grossièrement cylindrique ($l = 10$ cm. $d = 1$ cm.) est intercalé dans un circuit alimenté par le secteur continu à 110 v et comprenant un rhéostat à lampes et un ampèremètre. Un voltinètre est branché en dérivation sur le cylindre de sulfure. L'établissement du courant dans le circuit est marqué par les phénomènes suivants :

1° L'intensité d'abord faible augmente rapidement et au bout de quelques minutes se stabilise au voisinage de 2^A. Corrélativement la tension aux extrémités du cylindre de sulfure voisine de 100 v au moment de la fermeture du circuit tombe au bout de quelques secondes à 5 volts et au bout de quelques minutes à 1,5 v. *La résistance du sulfure subit donc une énorme diminution du fait du passage du courant.* Cette diminution est irréversible le sulfure demeurant bon conducteur, même pour des courants d'intensité très faible.

2° L'examen du cylindre de sulfure montre que des traînées superficielles de soufre apparaissent du côté anodique et quelques grains de cuivre métallique du côté cathodique.

3° Si on sectionne le cylindre, on constate que la partie *anodique* est celle qui conduit le mieux le courant électrique et présente de façon la plus nette les propriétés rectifiantes principales.

D'une part les résultats précédents qui concernent l'augmentation de la conductibilité du sulfure s'expliquent d'après Tubandt ⁽³⁾ par la formation de dendrites de CuS, prenant naissance à l'anode en vertu de la réaction secondaire :



et se propageant dans toute l'étendue du sulfure dont la faible conductibilité ionique initiale est masquée par une forte conductibilité métallique.

D'autre part ayant attribué à l'impureté CuS, les propriétés rectifiantes principales de Cu²S, nous comprenons aisément pourquoi ces propriétés se manifestent surtout du côté anodique particulièrement riche en CuS.

(1) De l'ordre de l'ampère, tandis que dans toutes les expériences décrites plus haut les intensités utilisées étaient de quelques millampères et ne dépassaient en aucun cas 100 mA.

(2) C'est-à-dire suivant notre hypothèse, privé de l'impureté CuS.

(3) *Loc. cit.*

4. — INTERPRÉTATION DES EXPÉRIENCES⁽¹⁾ E et F D'APRÈS L'EXPÉRIENCE II.

E. — Le sulfure cuivreux exempt de CuS étant très peu conducteur, sa conductibilité est accrue par les dendrites de CuS , résultant du passage du courant et cela quel qu'en soit le sens. Toutefois la résistance du contact est particulièrement diminuée lorsqu'elle est shuntée par les dendrites de CuS prenant naissance sur l'électrode métallique appuyant sur le sulfure, ce qui a lieu *quand le métal est anode*. Enfin l'augmentation de résistance au moment de l'inversion du courant correspondrait à la destruction tout au moins partielle, des dendrites de CuS issus de l'ancienne anode devenue cathode et la baisse de résistance consécutive à la formation de dendrites de CuS , issus de l'ancienne cathode devenue anode.

F. — Ici avant le passage du courant, Cu_2S contient déjà une très faible quantité de CuS qui lui confère une conductibilité métallique appréciable. La *cohération* β serait due à l'enrichissement en CuS bon conducteur de la partie du sulfure en regard de l'électrode de contact.

L'*anticohération* serait due au phénomène inverse
 $(\text{CuS} + \text{Cu} = \text{Cu}_2\text{S})$.

III. — CONCLUSIONS,

1° L'ensemble des phénomènes principaux et secondaires, observés sur des échantillons de Cu_2S artificiel et qui ont fait l'objet de mes publications antérieures paraît devoir être attribué au mélange $\text{Cu}_2\text{S} + \text{impureté CuS}$ qui est doué d'une conductibilité mixte. Cu_2S étant un conducteur ionique et CuS un conducteur électronique.

2° Les *phénomènes principaux*, particulièrement la cohération α , semblent dus à CuS ou peut-être ⁽²⁾ au mélange $\text{CuS} + \text{impureté Cu}_2\text{S}$.

3° Les *phénomènes secondaires* semblent dus à l'électrolyse de Cu_2S et aux réactions secondaires qui accompagnent cette électrolyse. En particulier la *cohération* β est vraisemblablement la conséquence de la formation de dendrites de CuS shuntant la résistance de contact initiale.

(1) Il convient de remarquer que dans ces expériences la résistance du sulfure n'est plus négligeable devant les résistances de contact.

(2) Car je ne saurais affirmer que le CuS expérimenté était exempt de traces de Cu_2S .

IV. — EXAMEN DES CONCLUSIONS PRÉCÉDENTES DU POINT DE VUE DE LA THÉORIE DES PHÉNOMÈNES.

L'électrolyse de Cu_2S rend bien compte des *phénomènes secondaires* ou tout au moins de la *cohération* β .

Par contre les *phénomènes principaux* paraissant dus à CuS , corps à *conductibilité métallique*, il ne semble guère possible de les expliquer par l'électrolyse de CuS , bien qu'une telle hypothèse soit extrêmement séduisante par sa simplicité, la *cohération* α consistant dans un court-circuit du contact par les ions Cu et l'*anticohération* β dans la formation d'une couche de soufre d'épaisseur moléculaire ⁽¹⁾ entre l'électrode de contact et le sulfure ⁽²⁾. Mais n'oublions pas que conductibilité massique et conductibilité de contact sont deux choses différentes et qu'en raison, d'une part de la valeur considérable du champ électrique dans la couche de passage, d'autre part des propriétés particulières des molécules superficielles (manque de certains éléments de symétrie) il est fort possible que, selon l'idée développée par James ⁽³⁾, des corps à conductibilité métallique comme la galène et CuS soient susceptibles d'une micro-électrolyse de surface.

J. CAYREL.

(1) On pourrait aussi expliquer les phénomènes principaux chez CuS par l'électrolyse de traces de Cu_2S contenues dans CuS , ce dernier corps n'ayant d'autre rôle que de donner au sulfure une bonne conductibilité métallique, mais cette hypothèse rend difficilement compte de certains faits.

(2) Cf. R. Turpin. Note sur les redresseurs Sulfotron *Franc-Radio* n° 110, p. 1753.

(3) *Phil. Mag.* 49 (1925), 681.

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

par R WATRIN

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

SOMMAIRE. — 1° Mise en équations du problème de l'amplification d'un transformateur basse fréquence, en négligeant la capacité filament plaque de la lampe associée à son primaire, la capacité répartie du primaire et la capacité entre enroulements — 2° Solution géométrique permettant, connaissant les constantes d'un transformateur, de construire par points la courbe $\frac{V_2}{V_1} = f(\omega)$. — 3° Application. — 4° Solution algébrique, montrant qu'avec les hypothèses faites, la courbe $\frac{V_2}{V_1} = f(\omega)$ a un seul maximum compris entre les valeurs $\omega_p = \sqrt{\frac{1}{L_2 C_2}}$ et $\omega_s = \sqrt{\frac{1}{2\pi L_2 C_2}}$. — 5° Valeurs particulières de $\frac{V_2}{V_1}$ dans le cas des basses fréquences, de $\omega_p = \frac{1}{\sqrt{L_2 C_2}}$ et de $\omega_s = \frac{1}{\sqrt{2\pi L_2 C_2}}$. — 6° Etude du décalage de V_1 et de V_2 . — 7° Amplification en fonction de l'amplitude. — 8° Application numérique à un transformateur de liaison entre deux lampes Métal-Mazda DW 1508 et DW 702.

Considérons un étage amplificateur basse fréquence à transformateur (fig. 1) : Une tension alternative d'amplitude constante V_1 est

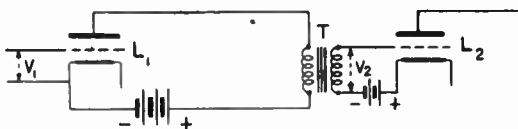


Fig. 1

appliquée entre la grille et le point de potentiel nul de la lampe L_1 ; le transformateur T transmet cette tension à la grille de la lampe L_2 . Désignons par V_2 la tension recueillie entre la grille et le point de potentiel nul de la lampe L_2 ; par définition, on appelle facteur d'amplification de l'étage le rapport $\frac{V_2}{V_1}$.

Nous nous proposons tout d'abord d'étudier comment varie ce rapport, lorsque l'on fait croître de 0 à $+\infty$ la pulsation ω .

Soient :

K le coefficient d'amplification de L_1 ;

φ la résistance interne de L_1 ;

r_1 la résistance du primaire de T ;

L_1 la self-inductance primaire de T ;

R_2 la résistance du secondaire de T ;

L_2 la self-inductance secondaire de T.

L'étude de la fonction amplificatrice de la lampe triode montrant, qu'au point de vue électrique, on peut considérer la lampe comme

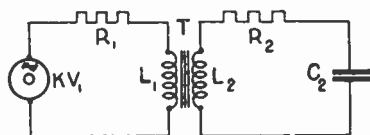


Fig. 2.

un générateur de courant alternatif ayant une force électromotrice KV_1 et une résistance intérieure φ , nous sommes amenés à remplacer le schéma de la fig. 1 par celui de la fig. 2.

La capacité filament - plaque de L_1 , la capacité répartie du primaire de T, ainsi que la capacité entre enroulements sont supposées suffisamment faibles pour pouvoir être négligées.

La polarisation négative de la grille de L_2 empêchant la production de courants de grille dans L_2 , le circuit secondaire ne comporte pas de résistance ohmique extérieure. Il débite simplement sur une charge capacitive constituée par la capacité répartie du secondaire de T et par la capacité filament-grille de L_2 . Soit C_2 la somme de ces deux capacités.

Dans un transformateur parfait, tout le flux produit par le primaire traverse le secondaire et réciproquement. Dans la pratique il n'en est pas ainsi et une partie du flux produit par un enroulement se ferme dans l'air: c'est le flux de fuite. Nous pouvons donc admettre que la self inductance primaire est, non pas L_1 , mais $L_1 - \sigma L_1$ (avec $\sigma \ll 1$) et qu'une autre self inductance σL_1 se trouve en série avec le primaire du transformateur, mais extérieurement. De même la self inductance secondaire sera $L_2 - \sigma' L_2$ et nous aurons en série dans le circuit secondaire une inductance $\sigma' L_2$. On peut admettre que pratiquement $\sigma = \sigma'$, de sorte que l'on arrive au schéma définitif de la fig. 3 où T' est maintenant un transformateur parfait.

Appelons : i_1 le courant instantané dans le circuit primaire.

i_2 le courant instantané dans le circuit secondaire.

M le coefficient d'induction mutuelle des deux enroulements du transformateur.

Puisque T' est parfait $M = \pm(1 - \sigma)\sqrt{L_1 L_2}$.

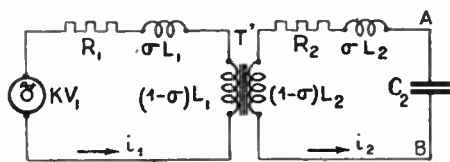


Fig. 3.

Prenons un sens positif sur les deux circuits et appliquons leur la deuxième loi de Kirchhoff :

$$(1) \quad KV_1 = i_1 R_1 + L_1 \frac{di_1}{dt} \pm (1 - \sigma)\sqrt{L_1 L_2} \frac{di_2}{dt}$$

en posant

$$R_1 = \rho + r_1$$

$$(2) \quad V_A - V_B = -V_c = i_2 R_2 + L_2 \frac{di_2}{dt} \pm (1 - \sigma)\sqrt{L_1 L_2} \frac{di_1}{dt}.$$

Solution géométrique.

En portant dans (1) la valeur de $\frac{di_1}{dt}$ tirée de (2) on trouve

$$i_1 = \frac{1}{\pm(1 - \sigma)\sqrt{L_1 L_2} R_1} \left[\pm(1 - \sigma)\sqrt{L_1 L_2} KV_1 + L_1 V_2 + L_1 R_2 i_2 + 2\sigma L_1 L_2 \frac{di_2}{dt} \right]$$

en négligeant le terme en $\sigma^2 (\sigma^2 \neq 25 \times 10^{-6})$.

En dérivant et égalant les deux valeurs de $\frac{di_1}{dt}$, on trouve :

$$R_1 V_2 + L_1 \frac{dV_2}{dt} + R_1 R_2 i_2 + (R_1 L_2 + R_2 L_1) \frac{di_2}{dt} + 2\sigma L_1 L_2 \frac{d^2 i_2}{dt^2} \pm (1 - \sigma)\sqrt{L_1 L_2} K \frac{dV_1}{dt} = 0. \quad (3)$$

Pour interpréter géométriquement cette équation, prenons V_1 pour origine des phases. Alors $\frac{dV_2}{dt}$ sera en avance de $\frac{\pi}{2}$ sur V_2 ,

comme $i_2 = C_2 \frac{dV_2}{dt}$, i_2 le sera également; $\frac{di_2}{dt}$ sera en opposi-

tion de phase avec V_2 et enfin $\frac{d^2 i_2}{dt^2}$ sera en retard de $\frac{\pi}{2}$ sur V_2 .

Portons donc (fig. 4) :

$$\vec{OA} = R_1 V_2$$

$$\vec{AB} = L_1 \omega V_2 \perp \text{à } OA \quad \text{et en avance}$$

$$\vec{BC} = R_1 R_2 C_2 V_2 \omega \quad \text{également}$$

$$\vec{CD} = (R_1 L_2 + R_2 L_1) C_2 \omega^2 V_2 \parallel \text{à } \vec{OA} \quad \text{en sens inverse}$$

$$\vec{DE} = 2\sigma L_1 L_2 C_2 V_2 \omega^3 \perp \text{à } \vec{OA} \quad \text{et en retard.}$$

L'équation (3) montre alors que $\vec{EO}$ donne la phase de $\frac{dV_1}{dt}$ et que sa grandeur est : $\pm (1 - \sigma) \sqrt{L_1 L_2} K \omega V_1$.

En élevant en O une perpendiculaire à $\vec{EO}$ dans le sens des

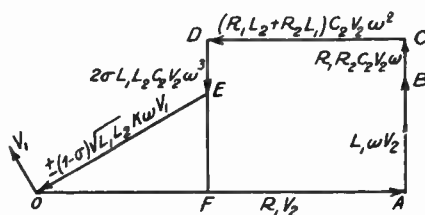


Fig. 4.

retards, nous aurons la direction du vecteur $+V_1$ ou $-V_1$, suivant que nous aurons pris le signe $+$ ou le signe $-$ pour M.

Le fait d'avoir un coefficient d'induction mutuelle positif ou négatif, a donc pour résultat de faire varier de π l'angle de V_1 avec V_2 .

Prolongeons DE jusqu'à sa rencontre F avec OA.

Nous avons :

$$EF = DF - DE = V_2 \omega [L_1 (1 - 2\sigma L_2 C_2 \omega^2) + R_1 R_2 C_2]$$

et

$$OF = OA - FA = V_2 [R_1 - (R_1 L_2 + R_2 L_1) C_2 \omega^2]$$

d'où

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{\pm (1 - \sigma) K m \omega}{\sqrt{[\alpha_1 (1 - L_2 L_2 \omega^2) - \alpha_2 L_2 C_2 \omega^2]^2 + [1 - 2\sigma L_1 L_2 \omega^2 + \alpha_1 \alpha_2 L_2 C_2]^2 \omega^2}},$$

en posant $\frac{R_1}{L_1} = \alpha_1$, $\frac{R_2}{L_2} = \alpha_2$ et en appelant m le rapport de transformation du transformateur ($m^2 = \frac{L_2}{L_1}$).

Cherchons maintenant à construire la courbe $\frac{V_2}{V_1} = f(\omega)$.

Reste à déterminer le point O, correspondant au point D.

Remarquons alors que le produit $OA \times DC = \alpha_1(\alpha_1 + \alpha_2)l_2 C_2$ est constant. Menons donc une droite $\beta\beta' \parallel$ à CA et à une distance de CA égale à cette valeur (fig. 6).

Prenons $CH = 1$, menons $HT \parallel$ à CD ,

$CK = CD$, menons $KL' \parallel$ à CD .

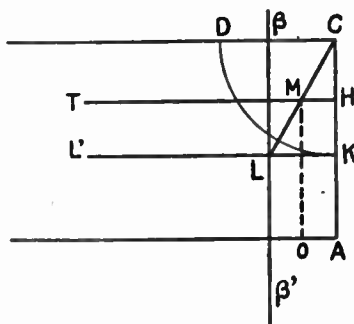


Fig. 6.

KL rencontre $\mathfrak{P}'$ en L. Joignons CL: CL rencontre II T en M.
Les triangles semblables CMII, CLK donnent :

$$\frac{HM}{KL} = \frac{CH}{CK} \quad \text{ou} \quad \frac{HM}{OA \times CD} = \frac{1}{CD},$$

d'où

$$HM = OA.$$

Il suffit donc de rappeler M en O sur OA pour avoir le point O correspondant au point D.

Dans la pratique, le produit $DC \times OA$ étant petit devant CA , on tracera β_2' à une distance de CA égale, par exemple, à 10 fois $DC \times OA$ et on prendra $CH = \frac{1}{10}$. On aura encore :

$$\frac{HM}{10 \times DC \times OA} = \frac{1}{10 \cdot DC} \quad \text{ou} \quad HM = OA.$$

Ayant maintenant E et O, nous connaissons le vecteur $\vec{EO}$ proportionnel à $\frac{V_1}{V_2}$. Pour avoir un vecteur proportionnel à $\frac{V_2}{V_1}$, portons sur OE (fig. 7)

$$ON = DC = (x_1 + x_2)L_2C_3\omega.$$

Joignons EA et menons $NP \parallel EA$. Les triangles semblables OEA, ONP donnent :

$$\frac{OE}{ON} = \frac{OA}{OP} \quad \text{dù} \quad OP = \frac{OA \times ON}{OE},$$

Point courant. — Soit ω_1 la pulsation correspondant à ce point.

Prenons $CD_1 = (\alpha_1 + \alpha_2)L_2C_2\omega_1$.

Ramenons D_1 en K_1 par une rotation autour de C comme centre.

Menons $K_1N \parallel HH'$; cette droite rencontre LL' en M ; CM rencontre HH' en G ; rappelons G en O_1 sur AA' . O_1 correspond à D_1 .

Remarquons de plus que CK_1 est proportionnel à ω et que, par conséquent, en traçant $\alpha x \parallel AC$, αx peut représenter l'abscisse de la courbe $\frac{V_2}{V_1} = f(\omega)$ pour $\omega = \omega_1$.

La parallèle D_1F_1 à AC rencontre UU' en F_1 ; la perpendiculaire CE_1 à F_1C rencontre F_1D_1 en E_1 .

Sur O_1E_1 portons $O_1R_1 = 5 \ CD_1$; par R_1 menons $R_1P_1 \parallel AE_1$; O_1P_1 mesure $\frac{V_2}{V_1}$. En reportant $NQ = O_1P_1$, nous avons en Q le point de la courbe correspondant à $\omega = \omega_1$.

Points remarquables. — 1° Pour $\omega = 0$, $CD = 0$, $AO = \infty$; E se confond avec C et EO est infini, donc $\frac{V_2}{V_1} = 0$ et V_2 est en retard de $\frac{\pi}{2}$ sur V_1 , si $M = + (1 - \epsilon)\sqrt{L_1L_2}$.

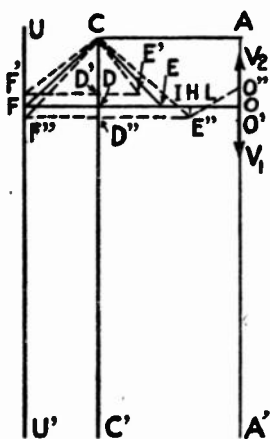


Fig. 9.

2° Quand OE devient perpendiculaire à OA (fig. 9) $OA = CD$ et V_1 est, soit en opposition de phase, soit en phase avec V_2 , suivant que le coefficient d'induction mutuelle est positif ou négatif.

Alors
$$\frac{\alpha_1}{\omega_p} = (\alpha_1 + \alpha_2)L_2C_2\omega_p$$

$$\text{ou} \quad \omega_p^2 = \frac{\alpha_1}{(\alpha_1 + \alpha_2)L_2C_2} \quad (1')$$

$$\text{ou} \quad \omega_p^2 = \frac{1}{L_2C_2} \quad \text{en négligeant le terme } \alpha_2 \text{ devant } \alpha_1 \text{ et}$$

$$\begin{aligned} OE = \pm (1 - \sigma)Km \frac{V_1}{V_2} &= OD - DE \\ &= 1 + \alpha_1\alpha_2L_2C_2 - 2\sigma L_2C_2 \times \frac{1}{L_2C_2} \neq 1 - 2\sigma, \end{aligned}$$

$$\text{d'où} \quad \frac{V_2}{V_1} = \frac{\pm (1 - \sigma)Km}{1 - 2\sigma} \neq \frac{\pm Km}{1 - \sigma}$$

en négligeant les termes en σ^2 .

Il en résulte que, pour la fréquence correspondant à $\omega_p^2 = \frac{1}{L_2C_2}$ l'amplification est supérieure à l'amplification théorique et, d'autant plus que σ est grand, c'est-à-dire, que les fuites sont plus importantes. Pratiquement, dans un bon transformateur σ est de l'ordre de 5×10^{-3} et $\frac{V_2}{V_1} = Km \times 1,005$ soit sensiblement $\frac{V_2}{V_1} = Km$.

Cherchons si cette valeur de ω correspond à un maximum ou à un minimum de OE :

Pour ω plus petit, mais voisin de ω_p , E vient en E' au-dessus et à gauche de E, O vient en O' en dessous de O (puisque CD et AO varient en sens inverse). Donc $O'E' > OE$ et l'amplification est plus faible que pour $\omega = \omega_p$.

Pour ω plus grand, mais voisin de ω_p , E vient en E'', à droite de E et en-dessous de OD; O en O'' au-dessus de O. Soit alors $\Delta\omega$ la variation de ω .

$$\begin{aligned} \text{On a} \quad \Delta DC &= DD'' = HE'' = a \cdot \Delta\omega, \\ \text{avec} \quad a &= (\alpha_1 + \alpha_2)L_2C_2 \end{aligned}$$

$$\Delta OA = OO'' = -\alpha_1 \frac{\Delta\omega}{\omega_p^2} = -a \cdot \Delta\omega,$$

$$\text{d'où} \quad DI'' = (OI'').$$

$$\begin{aligned} \text{Sur la figure 9 nous avons} \quad E''O'' &= \frac{200''}{\sin \alpha} \quad \text{en posant} \quad \widehat{HLE''} = \alpha, \\ EO &= EI + IH + HO. \end{aligned}$$

$$\text{Or} \quad EI = \frac{CE \times \sin \widehat{ECI}}{\sin \widehat{EIC}}$$

$$\text{ou} \quad EI = (b + \epsilon) \sin \widehat{DCE} \quad \text{avec} \quad b = \frac{CE}{\sin \widehat{DEC}}$$

Mais

$$\text{tg } \widehat{DCE} = \frac{DE}{DC} = \frac{2\sigma}{\alpha_1 + \alpha_2} \cdot \omega = c \cdot \omega \quad \text{avec} \quad c = \frac{2\sigma}{\alpha_1 + \alpha_2},$$

d'où

$$\widehat{\Delta DCE} = \cos^2 \widehat{DCE} \cdot c \cdot \Delta\omega = d \cdot \Delta\omega \quad \text{avec} \quad d = c \cdot \cos^2 \widehat{DCE}$$

et $El = (b + \varepsilon)(1 + \varepsilon')d \cdot \Delta\omega.$

D'autre part,

$$Hl = \frac{HE''}{\lg \widehat{E''Hl}} = \frac{OO''}{\lg \widehat{E''Hl}} = OO''(e + \varepsilon'') \quad \text{où} \quad e = \frac{1}{\lg \widehat{DEC}}.$$

$$\text{Enfin} \quad HO = \frac{200''}{\lg \alpha}$$

$$\text{Donc} \quad EO = (b + \varepsilon)(1 + \varepsilon')d \Delta\omega + OO''(e + \varepsilon'') + \frac{200''}{\lg \alpha}$$

$$\text{et} \quad \frac{EO}{E''O''} = \frac{(b + \varepsilon)(1 + \varepsilon')d \cdot \Delta\omega}{2OO''} \cdot \sin \alpha + \frac{(e + \varepsilon'')}{2} \cdot \sin \alpha + \cos \alpha \quad (2')$$

Or, dans le triangle E''Hl, nous avons

$$\sin \alpha = \frac{E''H}{E''L} = a(f + \varepsilon''')\Delta\omega \quad \text{où} \quad f = \frac{2}{EO}$$

d'où

$$\alpha = (1 + \varepsilon_1)a(f + \varepsilon''')\Delta\omega$$

En portant la valeur de $\sin \alpha$ et le développement de $\cos \alpha$ dans (2') on trouve

$$\frac{EO}{E''O''} = 1 + \Delta\omega \left[\frac{(b + \varepsilon)(1 + \varepsilon')(f + \varepsilon''')d}{2} + \frac{(e + \varepsilon'')(f + \varepsilon''')a}{2} \right] - \frac{\Delta\omega^3}{2!} (1 + \varepsilon_1)^2 (f + \varepsilon''')^2 a^2 \dots$$

On peut donc écrire :

$$\frac{EO}{E''O''} = 1 + \beta,$$

β étant un nombre positif et tendant vers 0 avec $\Delta\omega$ (les termes a, b, d, e, f , sont en effet tous positifs).

Donc, $EO > E''O''$ et $\frac{V_2}{V_1}$ croît quand ω dépasse ω_p . Comme

pour $\omega < \omega_p$, $\frac{V_2}{V_1} < \frac{V_{2p}}{V_{1p}}$, que pour $\omega > \omega_p$, $\frac{V_2}{V_1} > \frac{V_{2p}}{V_{1p}}$ la

fonction $\frac{V_2}{V_1}$ est croissante pour $\omega = \omega_p$.

3° Quand E vient sur OA, on a (fig. 10) :

$$DE = CA, \quad \text{soit} \quad \omega_s \approx \frac{1}{2\sigma_1 \cdot 2\sigma_2}$$

et V_2 est en quadrature avant ou arrière avec V_1 suivant que le coefficient d'induction mutuelle est positif ou négatif.

Pour $\omega < \omega_s$, mais voisin de ω_s , E vient en E' au-dessus de DE et à gauche de E; O en O' au-dessous de O.

$$\text{III} = \frac{\text{HE}}{\text{tg } \widehat{\text{EIH}}} \quad \text{ou} \quad \text{III} = e \cdot \Delta\omega,$$

où
$$e = \frac{a}{\text{tg } \widehat{\text{DEC}}}.$$

Donc
$$\text{E'H} = [(b + \varepsilon)(1 + \varepsilon')d + e] \Delta\omega.$$

Enfin dans le triangle rectangle E'O'H

ou
$$\text{tg } \alpha = \frac{\text{E'H}}{\text{EO} - \text{HE} - \text{OO}'},$$

ce qui s'écrit
$$\text{tg } \alpha = \frac{[(b + \varepsilon)(1 + \varepsilon')d + e] \Delta\omega}{\text{EO} - a \Delta\omega - f \Delta\omega},$$

car
$$\text{OO}' = \Delta\text{OA} = \left| \frac{\alpha_1}{\omega_s^2} \cdot \Delta\omega \right| = f \cdot \Delta\omega.$$

On en tire
$$\frac{\text{tg } \alpha}{\Delta\omega} = \frac{(b + \varepsilon)(1 + \varepsilon')d + e}{\text{EO} - (a + f) \Delta\omega}.$$

Quand
$$\Delta\omega \rightarrow 0 \quad \lim \frac{\text{tg } \alpha}{\Delta\omega} = \frac{bd + e}{\text{EO}} = g.$$

Donc tg α est uninfinitement petit du même ordre que $\Delta\omega$ et

$$\alpha = (1 + \varepsilon'')(g + \varepsilon_1) \Delta\omega, \quad \sin \alpha = (1 + \varepsilon_2)(g + \varepsilon_1) \Delta\omega,$$

En développant cos α en série et en portant dans (3') toutes les valeurs connues, on trouve que

$$\frac{\text{EO}}{\text{E'O}'} = 1 + \Delta\omega \frac{g(a + f)(1 + \mu)}{bd + e} \quad \text{où} \quad \mu \rightarrow 0 \quad \text{avec} \quad \Delta\omega.$$

f, a, b, d, e, g, μ étant tous des termes positifs, on peut donc écrire :

$$\frac{\text{EO}}{\text{E'O}'} = 1 + \beta \quad \text{où} \quad \beta > 0,$$

et tend vers 0 avec $\Delta\omega$. Donc $\text{EO} > \text{E'O}'$ et l'amplification augmente quand on donne à ω une valeur voisine de ω_s , mais plus petite que ω_s .

Pour $\omega > \omega_s$ et voisin de ω_s , E vient en E'' au-dessous de DE et à droite de AA'; O vient en O'' au-dessus de O; donc O''E'' > OE et l'amplification diminue. Il en résulte que la fonction $\frac{V_2}{V_1} = f(\omega)$ est décroissante pour $\omega = \omega_s$.

La courbe a donc un ou plusieurs maximums entre ω_p et ω_s .

Son tracé par points permet de vérifier qu'il n'en existe qu'un seul. Cela sera, du reste, démontré directement dans l'étude algébrique.

Pour
$$\omega^2 = \omega_s^2 = \frac{1 + \alpha_1 R_2 C_2}{2\alpha_1 L_2 C_2},$$

$$\text{OE} = \text{AE} - \text{AO} = (\alpha_1 + \alpha_2) L_2 C_2 \omega_s - \frac{\alpha_1}{\omega_s},$$

ou

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

d'où en négligeant $x_1 x_2 L_2 C_2$ devant 1 et x_1 devant $\frac{x_1 + x_2}{2\sigma}$,

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{\pm (1 - \sigma) Km \sqrt{2\sigma}}{(\alpha_1 + \alpha_2) \sqrt{L_2 C_2}} \neq \frac{\pm Km \sqrt{2\sigma}}{(\alpha_1 + \alpha_2) \sqrt{L_2 C_2}}$$

Cette formule montre que si les fuites sont notables et les amortissements α_1, α_2 faibles, l'amplification est alors de beaucoup supérieure à l'amplification théorique; on a ce qu'on appelle la résonance de dispersion.

4) Pour $\omega = +\infty$, O vient en A, D s'éloigne indéfiniment, CF se confond avec CD; CE avec CA et E est rejeté à l'infini, à droite sur CA. Alors $OE = \infty$ et $\frac{V_2}{V_1} = 0$. V_2 et V_1 sont alors en phase ou en opposition de phase suivant que le coefficient d'induction mutuelle est positif ou négatif.

Pour obtenir une bonne reproduction des sons, il n'est nécessaire d'amplifier uniformément que les fréquences comprises entre 50 et 10.000 périodes.

Comme pour $\omega > \omega_0$, l'amplification est rapidement décroissante, il faut tâcher de placer la résonance de dispersion de façon à ce qu'elle corresponde à $f = 10.000$.

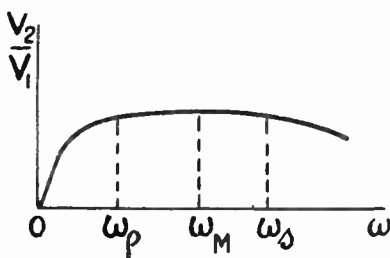


Fig. 11.

En résumé, la courbe $\frac{V_2}{V_1} = f(\omega)$ a l'allure indiquée (fig. 11), et, étant donné un transformateur dont on connaît, $L_1, L_2, r_1, R_2, \sigma$, si on se donne φ de la lampe associée à son primaire et la capacité filament grille de la lampe associée à son secondaire, la méthode précédente permet de la tracer par points.

Application. — Sur la figure 12, nous avons appliqué la méthode

qui vient d'être développée à un transformateur du commerce associé à deux lampes pour lesquelles

$$\rho = 7.500 \text{ ohms}, \quad C_2 = 10^{-10} \text{ F.}$$

D'après le constructeur, les constantes de ce transformateur sont :

$$\tau = 0,005, \quad x_1 = 410, \quad x_2 = 240, \quad R_2 = 60.000\omega, \quad R_1 = 11.500\omega$$

$$L_1 = 28 \text{ H}, \quad L_2 = 250 \text{ H}, \quad m = 3.$$

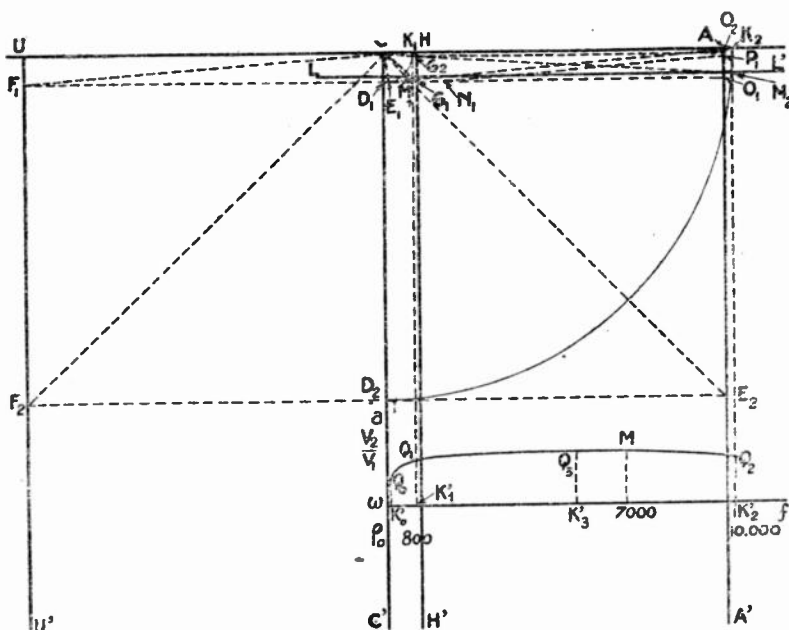


Fig. 12.

Pour tracer la courbe de l'amplification de ce transformateur en fonction de la fréquence, nous avons déterminé graphiquement les points Q_0, Q_1, Q_2, Q_3 correspondant respectivement aux fréquences 50, 800, 10.000, 5.450. Mais pour rendre plus claire la lecture de la figure 12, nous n'y avons indiqué que les constructions relatives aux points Q_1, Q_2 .

Nous avons pris $CA = 1 + 2,46 \times 10^{-3}$ égal à 1 et représenté l'unité par 45 mm.

Nous avons ensuite mené :

$AA', CC' \perp$ à CA ;

$UU' \parallel$ à CC' , à une distance de CC' égale à

$$\frac{650^2 \times 250 \times 10^{-10}}{2 \times 0,005} = 1,055,$$

soit 47, 475 mm;

HH' $\parallel$ à CC', à une distance de CC' égale à $\frac{1}{10}$ soit 1,5 mm.

Enfin, LL' $\parallel$ à CA, à une distance de CA, égale à
 $10 \times 410 \times 250 \times 10^{-16} \times 650 = 0,067$,
 soit 3 mm.

Point correspondant à EO $\perp$ à AO.

Alors
$$D_1C = \frac{(\alpha_1 + \alpha_2)L_2C_2\sqrt{\alpha_1}}{\sqrt{(\alpha_1 + \alpha_2)L_2C_2}} = \sqrt{6,65 \times 10^{-3}},$$

 soit
$$D_1C = 3,6825 \text{ mm.}$$

Nous avons ramené D₁ en K₁, tracé K₁K'₁ d'où M₁, puis CM₁ d'où G₁, rappelé ensuite en O₁.

La parallèle D₁F₁ à CA a donné F₁, d'où F₁C et CE₁.

Sur E₁O₁ nous avons porté O₁N₁ = 10D₁C = 36,625 mm, d'où N₁P₁ et O₁P₁ = 3,025 mm.

Nous avons pris pour axe des fréquences $\omega f \parallel$ à CA, pour axe des $\frac{V_2}{V_1}$, CC'. Enfin, pour avoir des ordonnées suffisantes, nous avons mesuré l'amplification par 2O₁P₁ = 6,05 mm.

D'après l'équation (a) on voit le coefficient de Km dans l'expression de $\frac{V_2}{V_1}$ est :

$$\frac{3,025 \times 0,995 \times 10^{10}}{410 \times 650 \times 45} = 1,005.$$

La fréquence correspondante est

$$f = \frac{1}{6,28} \sqrt{\frac{410}{650 \times 250}} \cdot 10^3 = 800.$$

Point correspondant à la position de E sur AA'.

Alors :

$$\omega_s^2 = \frac{1}{2\sigma L_2 C_2} = \frac{10^{12}}{259} \quad \text{et} \quad f = \frac{1}{6,28} \sqrt{\frac{10^{12}}{259}} \neq 10.000,$$

et
$$D_2C = \frac{(\alpha_1 + \alpha_2)L_2C_2 \times 45}{\sqrt{2\sigma L_2 C_2}} = 46,125 \text{ mm.}$$

En répétant les mêmes constructions que précédemment on trouve $E_2O_2 = 45,75 \text{ mm.}$ La construction habituelle donnant O₂P₂ n'est plus applicable, mais

$$E_2O_2 = Km(1 - \tau) \frac{V_1}{V_2}$$

d'où l'amplification correspondante

$$\frac{0,995 \times 45}{45,75} \neq 0,98 \quad \text{et} \quad K'_2 Q_2 = \frac{6,05 \times 0,98}{1,005} = 5,9 \text{ mm.}$$

Point correspondant à : $f = 50$.

Alors $D_0 C = 650 \times 250 \times 10^{-10} \times 314 \times 45 = 0,23 \text{ mm.}$

Les constructions habituelles non tracées sur la figure 12, donnent

$$O_0 P_0 = 1,81 \text{ mm} \quad \text{et} \quad K'_0 Q_0 = 3,625 \text{ mm.}$$

L'amplification correspondante est

$$\frac{1,81 \times 0,995 \times 10^{10}}{10 \times 410 \times 650 \times 250 \times 45} = 0,6.$$

Point courant quelconque :

Pour $D_3 C = 25 \text{ mm.}$ on trouve $K'_3 Q_3 = 6,65 \text{ mm.}$

En joignant par un trait continu Q_0, Q_1, Q_2, Q_3 , nous obtenons la courbe représentative de $\frac{V_2}{V_1}$ en fonction de f .

Nous constatons que l'ordonnée maxima est de 6,775 mm, et que l'abscisse correspondante mesure 31,75 mm.

L'amplification correspondante est $\frac{1,005 \times 6,875}{6,05} = 1,141$ et la fréquence $\frac{800 \times 31,75}{3,6625} \neq 7.000$

Le maximum correspondant donc à une amplification supérieure de 14 o/o seulement à l'amplification théorique. Comme, d'autre part, le transformateur pris en exemple rend suffisamment bien les basses, et que les amplifications correspondant aux résonances

$$\left(\omega_p^2 = \frac{1}{L_2 C_2} \quad \text{et} \quad \omega_s^2 = \frac{1}{2\sigma L_2 C_2} \right).$$

sont sensiblement égales à l'amplification théorique, on peut conclure qu'il est très bon.

(A suivre)

R. WATRIN.

