

L'ONDE ÉLECTRIQUE

RADIOÉLECTRICITÉ ET SES APPLICATIONS
SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES

BULLETIN DE LA
SOCIÉTÉ DES RADIOÉLECTRICIENS

Sur la stabilisation de la fréquence dans les oscillateurs à triode, par E. DIVOIRE et P. BAUDOUX.

Les conférences internationales radiotélégraphique et télégraphique de Madrid et de Lucerne, par E. PICAULT. (*Suite et fin.*)

Multiplication d'une fréquence par des nombres fractionnaires simples, par G. LONGO.

Société des Radioélectriciens.

Analyses.

ÉTIENNE CHIRON, Éditeur, 40, rue de Seine, PARIS VI.

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

L'ONDE ÉLECTRIQUE

Revue mensuelle publiée par la Société des Radioélectriciens

(Ancienne Société des Amis de la T. S. F.)

ABONNEMENT D'UN AN		Etienne CHIRON	PRIX
France.....	60 fr.	ÉDITEUR	DU NUMÉRO : 6 fr.
Etranger	{tarif faible. 70 fr.	40, rue de Seine-PARIS	Tél. : DANTON 47-5
	{tarif fort.. 80 fr.		
		CHÈQUES POSTAUX : PARIS 53-35	

SOCIÉTÉ DES RADIOÉLECTRICIENS

Adresser la correspondance administrative et technique au

Secrétariat de la S. R. E.

14, avenue Pierre-Larousse
Malakoff (Seine)

Paiement des cotisations à

M. COLMANT, trésorier

4, rue Alfred, Clamart (Seine)
Compte de chèques postaux n° 697-38

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

CHANGEMENTS D'ADRESSE : Joindre 2 francs par revue à toute demande

EXTRAIT DES STATUTS

ARTICLE PREMIER. — La Société des Radioélectriciens 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 1.000 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, au 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 de 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 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 membre réside à adhérer à la Convention 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.

SUR LA STABILISATION DE LA FRÉQUENCE DANS LES OSCILLATEURS A TRIODE

par

E. DIVOIRE

et

P. BAUDOUX

*Ingénieur A. I. Br. et Radio E. S. E.
Professeur à l'École Polytechnique
de Bruxelles.*

*Ingénieur A. I. Br.
Assistant au Laboratoire de radioélectricité
de l'École polytechnique de Bruxelles.*

SOMMAIRE

Les auteurs, étudiant les diverses causes d'instabilité de la fréquence des oscillateurs à triode, exposent d'abord la théorie mathématique du problème; ensuite, dans une partie expérimentale, ils vérifient les conclusions tirées du calcul au sujet de l'influence des divers facteurs entrant en jeu et, en particulier, ils montrent qu'il est possible de réduire les variations de fréquence résultant des variations de la tension d'alimentation à des valeurs de l'ordre de quelques 10^{-6} , en annulant la réactance du circuit de grille.

Introduction. — Le problème de la stabilisation des émetteurs a pris une telle importance, depuis ces dernières années, qu'à l'heure actuelle, il préoccupe le constructeur et l'exploitant autant, si pas davantage, que celui du rendement.

Le présent article n'a pas pour but l'étude des divers dispositifs, pour la plupart d'ordre électromécanique (tels que quartz, diapason, etc...), par lesquels on arrive à imposer une grande stabilité à un oscillateur à triode pour une fréquence bien déterminée.

Le problème qui a retenu notre attention est celui de la stabilisation de la triode oscillante par des moyens purement électriques, c'est-à-dire par un choix judicieux des constantes des circuits. C'est le problème qui intéresse l'émetteur de construction simple et de puissance relativement faible, ne comportant pas de maître oscillateur, ainsi que l'hétérodyne de laboratoire.

Parmi les causes d'instabilité mises en évidence par les expérimentateurs ayant étudié la question, les unes peuvent se rattacher à des variations dans les circuits d'utilisation ou dans les caracté-

ristiques géométriques de la lampe, les autres à des variations des paramètres de celle-ci. Nous nous limiterons uniquement à cette dernière étude. Celle-ci a déjà sollicité l'attention de nombreux chercheurs¹; les résultats de leurs travaux sont connus et, si nous avons songé à exposer les nôtres, entrepris afin de vérifier certaines observations fortuites, c'est uniquement dans le but de montrer quelques faits qui nous ont paru intéressants et dignes de recherches ultérieures. En outre, nous avons tenté, dans notre exposé mathématique, de tenir mieux compte des diverses données du problème que ne l'avaient fait certains de nos devanciers.

Généralités. — Lorsqu'on étudie mathématiquement un oscillateur à triode, on fait couramment les hypothèses simplificatrices suivantes, soit isolément, soit simultanément :

on suppose que la triode oscille dans des conditions très voisines de la limite d'entretien;

on néglige l'influence du courant de grille;

on néglige une ou plusieurs résistances ohmiques que l'on suppose très faibles devant les réactances des circuits auxquels elles appartiennent.

La première de ces hypothèses, en particulier, tend à considérer toutes les variations de courants et de potentiels comme des fonctions purement sinusoïdales, ce qui permet de faire usage, dans l'étude mathématique, du calcul symbolique et de la représentation vectorielle; en outre, on peut admettre souvent que le courant de grille est toujours nul.

Ces hypothèses, justifiées dans de nombreux cas, sont plus arbitraires lorsqu'on étudie la manière dont varie la fréquence en fonction des différentes variables indépendantes du système oscillant. Le fonctionnement s'éloigne alors *nécessairement* de la limite d'entretien.

Supposons d'abord, pour simplifier, qu'il n'y ait qu'une seule variable indépendante x .

La pulsation de l'oscillation, que nous nommerons ω , est une fonction de cette variable :

$$\omega = \omega(x) \tag{1}$$

1. Voir bibliographie à la fin de cet article.

La limite d'entretien est représentée par une équation de la forme :

$$f'(x) = 0 \quad (2)$$

Rappelons que la limite d'entretien sépare les oscillations amorties (à décrement positif) des oscillations croissantes (à décrement négatif). La pulsation ω garde donc son sens de part et d'autre de la limite d'entretien.

Les oscillations croissantes sont stabilisées par les parties courbées des caractéristiques des triodes.

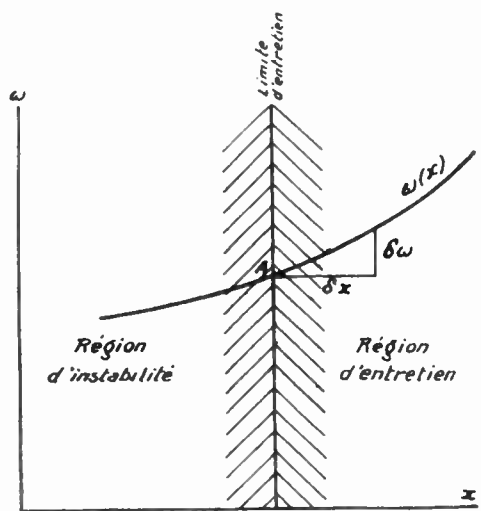


Fig. 1.

Dans les axes coordonnés (x, ω) l'équation (1) est représentée par une courbe, tandis que l'équation (2) est figurée par un système de droites parallèles à l'axe des ω .

Considérons une de ces droites; elle divise le plan en deux régions telles que dans l'une, l'oscillation est croissante, donc, grâce au fonctionnement de la triode, stable, et dans l'autre elle est amortie, donc instable, pour autant qu'on ne rencontre pas d'autre droite du système (2).

On voit donc que si, partant du point A, représentant le fonctionnement à la limite d'entretien, on donne à x un accroissement δx , il n'est en général pas permis de dire que l'on reste dans le voisinage de la limite d'entretien.

Ce raisonnement est susceptible d'être immédiatement généralisé pour un nombre quelconque de variables.

Soient $x_1, \dots, x_n$ les n variables indépendantes du système; l'équation (1) deviendra :

$$\omega = \omega(x_1, \dots, x_n), \quad (1')$$

et la limite d'entretien s'écrira :

$$f'(x_1, \dots, x_n) = 0. \quad (2')$$

Si l'on prend $x_1, \dots, x_n, \omega$, comme coordonnées d'un espace à $(n + 1)$ dimensions, l'équation (1') sera représentée, dans cet espace, par une variété à n dimensions ou hypersurface, tandis que la condition (2') sera représentée par une variété cylindrique à n dimensions.

Si l'on donne aux variables x_i des accroissements $\Delta x_1, \dots, \Delta x_n$, la variation de ω sera :

$$\Delta \omega = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{\partial \omega}{\partial x_i} \Delta x_i. \quad (3)$$

Il est clair que, dans cette variation, on ne pourra dire *rigoureusement* que l'on se tient au voisinage de la limite d'entretien que si les accroissements élémentaires Δx_i satisfont à la condition :

$$\sum_{i=1}^{i=n} \frac{\partial}{\partial x_i} \Delta x_i = 0. \quad (4)$$

En général, cette condition ne sera pas satisfaite.

La plupart des auteurs qui ont étudié le problème de la stabilité de fréquence ont néanmoins utilisé les équations commodées donnant ω à la limite d'entretien, mais cette hypothèse masque une grande partie du phénomène et autorise des réserves quant aux résultats qu'elle permet d'obtenir, vu l'insuffisance de sa justification.

De même, le fait de laisser de côté le courant de grille ne permet pas d'étudier les moyens de stabilisation qui sont les plus énergiques : à savoir ceux qui agissent précisément dans le circuit de grille.

Il est incontestable que l'introduction du courant de grille dans les calculs n'est pas aisée. Nous avons été réduits, pour le faire, à supposer constante la résistance filament-grille, mais cette hypothèse paraît moins arbitraire que d'admettre qu'elle est infinie.

Variables considérées. — Il est surtout intéressant, au point de vue pratique, d'étudier les variations de ω en fonction des tensions d'alimentation (tension de chauffage, tension anodique) de la lampe oscillatrice. Ces tensions sont, en effet, les seules à pouvoir varier, dans des proportions sensibles, dans un émetteur où on se préoccupe de la stabilité en fréquence. L'effet de leur variation est de modifier les caractéristiques de la triode, c'est-à-dire, en dernière analyse, la résistance interne, puisque le coefficient d'amplification est une caractéristique géométrique de la lampe et peut être considéré comme constant dans de très larges limites.

Dans l'étude mathématique, nous considérerons donc une seule variable indépendante, la résistance interne de la lampe. Nous considérerons comme paramètres, toutes les autres caractéristiques du système.

D'autre part, nous admettons que les caractéristiques statiques de la triode sont rectilignes; dans ces conditions, il importe peu que celles-ci soient ou ne soient pas indéfinies et que le courant de plaque ne soit pas purement sinusoïdal mais composé de fractions de sinusoïdes et de fractions constantes (variations trapézoïdale, rectangulaire, etc...). En tout état de cause, l'influence de la variation de la résistance interne sur la fréquence s'exerce pendant que le point de fonctionnement parcourt les portions de caractéristiques rectilignes et les expressions relatives à la variation de fréquence que l'on déduira dans la suite, pour un fonctionnement de ce genre, garderont leur validité entière, même si la valeur de ω trouvée dans le calcul ne correspond pas exactement à la pulsation réelle du courant dans le circuit oscillant.

1. — ÉTUDE MATHÉMATIQUE.

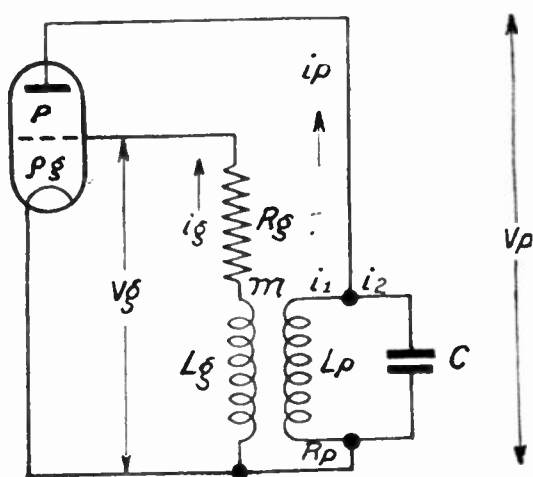
Nous ferons l'étude mathématique de la stabilité par étapes successives, en essayant de serrer la réalité de plus en plus près. Nous commencerons donc en abordant le problème de façon simple, puis, nous restreindrons progressivement le nombre des hypothèses simplificatrices.

Nous adoptons pour notre étude, tant mathématique qu'expérimentale, le montage classique comportant un circuit oscillant

inséré dans le circuit de plaque et couplé inductivement au circuit de grille.

1. — A la limite d'entretien, la pulsation est donnée par la formule :

$$\omega = \sqrt{\frac{1 + \frac{R}{\rho}}{\mathcal{L}C}}$$



SCHEMA DU MONTAGE ETUDIE

Fig. 2.

R , $\mathcal{L}$, C , étant respectivement la résistance ohmique, l'inductance et la capacité du circuit oscillant;

ρ étant la résistance interne de la lampe.

La stabilité à la limite d'entretien est donnée par :

$$\frac{\partial \omega}{\partial \rho} = - \frac{R}{2\rho^2 \sqrt{\mathcal{L}C \left(1 + \frac{R}{\rho}\right)}}$$

Elle est d'autant plus grande que $\frac{\partial \omega}{\partial \rho}$ est plus petit.

On voit immédiatement que la *stabilité augmente* si R diminue, si ρ augmente, ou si $\sqrt{\mathcal{L}C}$ augmente, c'est-à-dire si la fréquence diminue.

2. En dehors de la limite d'entretien et lorsqu'on néglige le courant de grille, la pulsation est donnée par la formule connue :

$$\omega = \frac{1}{2\mathcal{L}} \sqrt{4 \frac{\mathcal{L}}{\mathcal{C}} \left(1 + \frac{\mathcal{R}}{\varphi}\right) - \left(\mathcal{R} + \frac{\mathcal{L}^2 - k\mathcal{M}}{\mathcal{C}\varphi}\right)^2}$$

où k est le coefficient d'amplification de la triode, et $\mathcal{M}$ le coefficient d'induction mutuelle entre le circuit de plaque et le circuit de grille.

⚡ On en déduit, en dérivant par rapport à φ :

$$\frac{\partial \omega}{\partial \varphi} = \frac{1}{2\mathcal{L}} \frac{-2 \frac{\mathcal{L}}{\mathcal{C}} \frac{\mathcal{R}}{\varphi^2} + \left[\mathcal{R} + \frac{\mathcal{L}^2 - k\mathcal{M}}{\mathcal{C}\varphi}\right] \left[\frac{\mathcal{L}^2 - k\mathcal{M}}{\mathcal{C}\varphi^2\mathcal{L}}\right]}{\sqrt{4 \frac{\mathcal{L}}{\mathcal{C}} \left(1 + \frac{\mathcal{R}}{\varphi}\right) - \left(\mathcal{R} + \frac{\mathcal{L}^2 - k\mathcal{M}}{\mathcal{C}\varphi}\right)^2}}$$

ou encore, en posant :

$$\frac{\mathcal{R}}{\varphi} = r$$

$$\frac{\mathcal{L}}{\mathcal{C}\mathcal{R}\varphi} = l$$

$$\frac{\mathcal{M}}{\mathcal{L}} = m$$

$$\frac{\partial \omega}{\partial \varphi} = \frac{r}{4\varphi \sqrt{\mathcal{L}\mathcal{C}}} \frac{l(1 - km)^2 - (1 + km)}{\sqrt{(1 + r) - \frac{1}{4}rl\left(\frac{1}{l} + 1 - km\right)^2}}$$

$\frac{\partial \omega}{\partial \varphi}$ sera d'autant plus petit que :

a) φ est plus grand;
 b) $\sqrt{\mathcal{L}\mathcal{C}}$ plus grand. Plus la fréquence d'oscillation sera basse, meilleure sera la stabilité.

c) $r = \frac{\mathcal{R}}{\varphi}$ plus petit;

d) $l = \frac{\mathcal{L}}{\mathcal{C}\mathcal{R}\varphi}$ plus petit. D'où, puisque $\mathcal{R}$ est petit devant φ , il faut que $\frac{\mathcal{L}}{\mathcal{C}}$ soit petit.

e) $m = \frac{\mathcal{M}}{\mathcal{L}}$ et k plus petits.

De ces constatations on peut déjà conclure que, pour obtenir une bonne stabilité, il faut :

- choisir une lampe à faible pente (k petit, ε grand);
- adopter un couplage faible;
- réduire l'amortissement du circuit oscillant;
- constituer le circuit oscillant d'une inductance faible et d'une capacité forte.

En outre on peut agir comme si on augmentait artificiellement la résistance interne de la lampe, en insérant une résistance dans le circuit de plaque, en dehors du circuit oscillant. *C'est un premier moyen de stabilisation artificielle.*

3. — Examinons à présent le cas d'une triode fonctionnant en oscillatrice, en tenant compte du courant de grille. Nous admettons une résistance filament-grille constante, ce qui répond assez à la réalité lorsque la grille est polarisée positivement. Lorsqu'elle est polarisée négativement, il est plus approché de ne pas considérer de courant de grille.

D'une manière générale, dans un oscillateur, la grille parcourt des valeurs de potentiels négatives et positives, le phénomène réel est donc complexe et difficilement réductible au calcul.

Soient :

- v_p la valeur instantanée du potentiel alternatif de plaque;
- i_p — — — — — courant —
- v_g — — — — — potentiel — grille;
- i_g — — — — — courant —
- i_1 — — — — — passant dans L_p ;
- i_2 — — — — — — C;
- L_p l'inductance du circuit oscillant;
- C la capacité —
- L_g l'inductance de grille;
- R_p la résistance du circuit oscillant;
- R_g — — — — — de grille;
- M le coefficient d'induction mutuelle grille-plaque;
- ε la résistance interne de la lampe;
- ε_g la résistance filament-grille de la lampe;
- k le coefficient d'amplification.

On a :

$$i_g = \frac{v_g}{\hat{r}_g} \quad (1)$$

$$v_g = \mathfrak{M} \frac{di_1}{dt} - R_g i_g - \mathfrak{L}_g \frac{di_g}{dt} \quad (2)$$

$$v_p = - \mathfrak{L}_p \frac{di_1}{dt} + \mathfrak{M} \frac{di_g}{dt} - R_p i_1 \quad (3)$$

$$\frac{dv_p}{dt} = - \frac{i_2}{C} \quad (4)$$

$$i_p = i_1 + i_2 \quad (5)$$

$$\hat{r} i_p = v_p + k v_g \quad (6)$$

(3) donne, par dérivation :

$$\frac{dv_p}{dt} = - \mathfrak{L} \frac{d^2 i_1}{dt^2} + \mathfrak{M} \frac{d^2 i_g}{dt^2} - R_p \frac{di_1}{dt}$$

ou, en vertu de (1) :

$$\frac{dv_p}{dt} = - \mathfrak{L} \frac{d^2 i_1}{dt^2} + \frac{\mathfrak{M}}{\hat{r}_g} \frac{d^2 v_g}{dt^2} - R_p \frac{di_1}{dt}$$

(5) et (6) donnent :

$$i_1 + i_2 = \frac{v_p}{\hat{r}} + \frac{k}{\hat{r}} v_g$$

ou, en vertu de (4) :

$$i_1 - C \frac{dv_p}{dt} = \frac{v_p}{\hat{r}} + \frac{k}{\hat{r}} v_g.$$

Introduisant (7) on a :

$$\begin{aligned} i_1 - C \left[- \mathfrak{L} \frac{d^2 i_1}{dt^2} + \frac{\mathfrak{M}}{\hat{r}_g} \frac{d^2 v_g}{dt^2} - R_p \frac{di_1}{dt} \right] &= \frac{v_p}{\hat{r}} + \frac{k}{\hat{r}} v_g = \\ &= \frac{k}{\hat{r}} v_g + \frac{1}{\hat{r}} \left[- \mathfrak{L} \frac{di_1}{dt} + \frac{\mathfrak{M}}{\hat{r}_g} \frac{dv_g}{dt} - R_p i_1 \right]. \end{aligned}$$

En dérivant encore, on obtient :

$$\begin{aligned} C \mathfrak{L}_p \frac{d^3 i_1}{dt^3} + \left(C R_p + \frac{\mathfrak{L}_p^2}{\hat{r}} \right) \frac{d^2 i_1}{dt^2} + \left(1 + \frac{R_p}{\hat{r}} \right) \frac{di_1}{dt} = \\ = \frac{C \mathfrak{M}}{\hat{r}_g} \frac{d^3 v_g}{dt^3} + \frac{\mathfrak{M}}{\hat{r} \hat{r}_g} \frac{d^2 v_g}{dt^2} + \frac{k}{\hat{r}} \frac{dv_g}{dt}. \end{aligned} \quad (8)$$

Mais, par dérivations successives, (2) donne :

$$\begin{aligned}\frac{di_1}{dt} &= \frac{1}{\mathfrak{M}} \left[\nu_g \left(1 + \frac{R_g}{\rho_g} \right) + \frac{\mathcal{L}_g}{\rho_g} \frac{d\nu_g}{dt} \right] \\ \frac{d^2 i_1}{dt^2} &= \frac{1}{\mathfrak{M}} \left[\frac{d\nu_g}{dt} \left(1 + \frac{R_g}{\rho_g} \right) + \frac{\mathcal{L}_g}{\rho_g} \frac{d^2 \nu_g}{dt^2} \right] \\ \frac{d^3 i_1}{dt^3} &= \frac{1}{\mathfrak{M}} \left[\frac{d^2 \nu_g}{dt^2} \left(1 + \frac{R_g}{\rho_g} \right) + \frac{\mathcal{L}_g}{\rho_g} \frac{d^3 \nu_g}{dt^3} \right].\end{aligned}$$

En portant ces valeurs dans (8) on trouve :

$$\begin{aligned}(\mathcal{L}_p \mathcal{L}_g - \mathfrak{M}^2) \frac{d^3 \nu_g}{dt^3} + \left[\frac{\mathcal{L}_p \mathcal{L}_g - \mathfrak{M}^2}{C\hat{\rho}} + R_p \mathcal{L}_g + \rho_g \mathcal{L}_p \left(1 + \frac{R_g}{\hat{\rho}_g} \right) \right] \frac{d^2 \nu_g}{dt^2} + \\ + \left[\frac{\mathcal{L}_p \hat{\rho}_g}{C\hat{\rho}} \left(1 + \frac{R_g}{\hat{\rho}_g} \right) + \frac{\mathcal{L}_g}{C} \left(1 + \frac{R_p}{\hat{\rho}} \right) + R_p \hat{\rho}_g \left(1 + \frac{R_g}{\hat{\rho}_g} \right) - \frac{k\mathfrak{M}\hat{\rho}_g}{C\hat{\rho}} \right] \frac{d\nu_g}{dt} + \\ + \frac{\hat{\rho}_g}{C} \left(1 + \frac{R_p}{C} \right) \left(1 + \frac{R_g}{\hat{\rho}_g} \right) \nu_g = o.\end{aligned}\quad (9)$$

Mais, nous pouvons supposer $R_g \ll \rho_g$ ou, ce qui revient au même, le supposer compris dans ρ_g .

Pour simplifier l'écriture, posons en outre :

$$\mathcal{L}_p \mathcal{L}_g - \mathfrak{M}^2 = \Lambda^2 \quad (10)$$

$$\frac{R_p}{\hat{\rho}} = x. \quad (11)$$

Il reste :

$$\begin{aligned}\frac{d^3 \nu_g}{dt^3} + \left(\frac{1}{C\hat{\rho}} + \frac{\mathcal{L}_g R_p + \mathcal{L}_p \hat{\rho}_g}{\Lambda^2} \right) \frac{d^2 \nu_g}{dt^2} + \\ + \frac{1}{\Lambda^2} \left[\frac{1}{C} \left[\mathcal{L}_g (1 + x) + \frac{\hat{\rho}_g}{\hat{\rho}} (\mathcal{L}_p - k\mathfrak{M}) \right] + \rho_g R_p \right] \frac{d\nu_g}{dt} + \\ + \frac{\hat{\rho}_g}{C\Lambda^2} (1 + x) \nu_g = o.\end{aligned}\quad (12)$$

Posons maintenant :

$$\mathcal{L}_g (1 + x) + \frac{\hat{\rho}_g}{\hat{\rho}} (\mathcal{L}_p - k\mathfrak{M}) = \lambda \quad (13)$$

$$\frac{\mathcal{L}_g R_p + \mathcal{L}_p \hat{\rho}_g}{\Lambda^2} + \frac{1}{C\hat{\rho}} = z \quad (14)$$

$$\frac{1}{C\Lambda^2} = \theta. \quad (15)$$

(12) peut s'écrire :

$$\frac{d^3 v_g}{dt^3} + \xi \frac{d^2 v_g}{dt^2} + \theta (\lambda + CR_p \rho_g) \frac{dv_g}{dt} + \theta \rho_g (1 + \alpha) v_g = 0. \quad (16)$$

Posons encore, pour abréger :

$$\lambda + CR_p \rho_g = \xi \quad (17)$$

$$\rho_g (1 + \alpha) = \tau. \quad (18)$$

Il vient :

$$\frac{d^3 v_g}{dt^3} + \xi \frac{d^2 v_g}{dt^2} + \theta \xi \frac{dv_g}{dt} + \theta \tau v_g = 0. \quad (19)$$

La caractéristique de cette équation est :

$$r^3 + \xi r^2 + \theta \xi r + \theta \tau = 0. \quad (20)$$

En posant :

$$r = s - \frac{1}{3} \xi \quad (21)$$

le discriminant de la caractéristique en s , est :

$$\Delta = \frac{1}{27} \left[\theta \xi - \frac{1}{3} \xi^2 \right] + \frac{1}{4} \left[\frac{2}{27} \xi^3 - \frac{1}{2} \xi \theta \xi + \theta \tau \right]^2. \quad (22)$$

Comme la solution est périodique, deux des racines sont imaginaires conjuguées, et le cas est réductible.

En développant (22), il vient :

$$\Delta = \frac{\theta^2 \xi^2}{9} \left[\frac{1}{3} \frac{\tau}{\theta \xi^2} \xi^3 - \frac{1}{12} \xi^2 - \frac{3}{2} \frac{\tau}{\xi} \xi + \frac{9}{4} \frac{\tau^2}{\xi^2} + \frac{\theta \xi}{3} \right]. \quad (23)$$

Posant :

$$A = \sqrt[3]{-\frac{1}{2} \left[\frac{2}{27} \xi^3 - \frac{1}{3} \xi \theta \xi + \theta \tau \right]} + \sqrt{\Delta} \quad (24)$$

$$B = \sqrt[3]{-\frac{1}{2} \left[\frac{2}{27} \xi^3 - \frac{1}{3} \xi \theta \xi + \theta \tau \right]} - \sqrt{\Delta} \quad (25)$$

on a :

$$\omega = \frac{\sqrt{3}}{2} (A - B). \quad (26)$$

Simplifications. — Afin d'alléger les calculs, nous admettons :

- 1) $\alpha \ll 1$ d'où $\frac{R_p}{\varphi}$ négligeable devant 1 et $\tau \simeq \varphi_g$.
- 2) $\mathcal{L}_g R_p \ll \mathcal{L}_p \varphi_g$ car $R_p \ll \varphi_g$.
- 3) $\frac{\mathcal{L}_p \varphi_g}{\Lambda^2} \gg \frac{1}{C\varphi}$ ce qui est vérifié dans tous les cas normaux.

Donc, ζ se réduit à $\frac{\mathcal{L}_p \varphi_g}{\Lambda^2}$.

$$\text{et} \quad \zeta = C\varphi_g \left(\frac{\mathcal{L}_g}{C\varphi_g} + R_p + \frac{\mathcal{L}_p - k\partial\mathfrak{U}}{C\varphi} \right).$$

D'autre part, remarquons que le terme :

$$\left(\frac{\mathcal{L}_g}{C\varphi_g} + R_g + \frac{\mathcal{L}_p - k\partial\mathfrak{U}}{C\varphi} \right),$$

que nous appellerons β est généralement petit. (Il est nul à la limite d'entretien.)

Comme φ_g est très grand, on négligera les termes indépendants de φ_g devant les termes en φ_g , φ_g^2 , φ_g^3 et le terme en $\beta\varphi_g^2$ devant le terme en φ_g^3 .

On aura :

$$A = \sqrt[3]{-\frac{1}{27} \frac{\mathcal{L}_p^3 \varphi_g^3}{\Lambda^6} + \frac{\varphi_g}{3\Lambda^2} \sqrt{\frac{1}{3} \frac{\mathcal{L}_p^3 \varphi_g^2}{C^2 \Lambda^2} - \frac{\mathcal{L}_p^2 \varphi_g^2}{12} \beta^2}}$$

$$B = \sqrt[3]{-\frac{1}{27} \frac{\mathcal{L}_p^3 \varphi_g^3}{\Lambda^6} - \frac{\varphi_g}{3\Lambda^2} \sqrt{\frac{1}{3} \frac{\mathcal{L}_p^3 \varphi_g^2}{C^2 \Lambda^2} - \frac{\mathcal{L}_p^2 \varphi_g^2}{12} \beta^2}}$$

ou :

$$A = \sqrt[3]{-\frac{1}{27} \frac{\mathcal{L}_p^3 \varphi_g^3}{\Lambda^6} + \frac{\varphi_g^2 \mathcal{L}_p}{3\Lambda^2} \sqrt{\frac{1}{3} \frac{\mathcal{L}_p}{C^2 \Lambda^2} - \frac{1}{12} \left(R_p + \frac{\mathcal{L}_g}{C\varphi_g} + \frac{\mathcal{L}_p - k\partial\mathfrak{U}}{C\varphi} \right)^2}} \quad (28)$$

$$B = \sqrt[3]{-\frac{1}{27} \frac{\mathcal{L}_p^3 \varphi_g^3}{\Lambda^6} - \frac{\varphi_g^2 \mathcal{L}_p}{3\Lambda^2} \sqrt{\frac{1}{3} \frac{\mathcal{L}_p}{C^2 \Lambda^2} - \frac{1}{12} \left(R_p + \frac{\mathcal{L}_g}{C\varphi_g} + \frac{\mathcal{L}_p - k\partial\mathfrak{U}}{C\varphi} \right)^2}} \quad (29)$$

On a donc enfin :

$$\frac{\partial\omega}{\partial\varphi} = \frac{\sqrt{3} \mathcal{L}_p - k\partial\mathfrak{U}}{36 C\varphi^2} \frac{\sqrt[3]{\frac{\varphi_g^2 \mathcal{L}_p}{\Lambda^2} \left(R_p + \frac{\mathcal{L}_g}{C\varphi_g} + \frac{\mathcal{L}_p - k\partial\mathfrak{U}}{C\varphi} \right)}}{\sqrt{\frac{\mathcal{L}_p}{C^2 \Lambda^2} + \frac{1}{4} \left(R_p + \frac{\mathcal{L}_g}{C\varphi_g} + \frac{\mathcal{L}_p - k\partial\mathfrak{U}}{C\varphi} \right)^2}}$$

$$\left[\frac{1}{\left(\sqrt{\frac{\mathfrak{L}_p^2}{C^2 \Lambda^2} + \frac{1}{4} \left(R_p + \frac{\mathfrak{L}_g^2}{C \mathfrak{L}_g} + \frac{\mathfrak{L}_p^2 - k \mathfrak{M}}{C \mathfrak{L}_g} \right)^2} - \frac{1}{3^{3/2}} \frac{\mathfrak{L}_p^2 \mathfrak{L}_g}{\Lambda^4} \right)^{3/2}} - \frac{1}{\left(\sqrt{\frac{\mathfrak{L}_p^2}{C^2 \Lambda^2} + \frac{1}{4} \left(R_p + \frac{\mathfrak{L}_g^2}{C \mathfrak{L}_g} + \frac{\mathfrak{L}_p^2 - k \mathfrak{M}}{C \mathfrak{L}_g} \right)^2} + \frac{1}{3^{3/2}} \frac{\mathfrak{L}_p^2 \mathfrak{L}_g}{\Lambda^4} \right)^{3/2}} \right] \quad (30)$$

Conclusions : De cette expression, on peut tirer les conclusions suivantes :

1) $\frac{\partial \omega}{\partial \mathfrak{L}_g} = 0$ pour $\mathfrak{L}_g = \infty$, aux simplifications près.

Donc la stabilité est meilleure en l'absence de courant de grille

2) $\frac{\partial \omega}{\partial \mathfrak{L}_g} = 0$ (aux simplifications près) pour :

$$R_p + \frac{\mathfrak{L}_g^2}{C \mathfrak{L}_g} + \frac{\mathfrak{L}_p^2 - k \mathfrak{M}}{C \mathfrak{L}_g} = 0,$$

c'est-à-dire à la limite d'entretien. — Donc, la stabilité est d'autant meilleure que l'oscillatrice travaille plus près de la limite d'entretien.

3) $\frac{\partial \omega}{\partial \mathfrak{L}_g}$ diminue, et la stabilité augmente si :

ρ augmente	R_p diminue
$\mathfrak{L}_g$ —	$\mathfrak{L}_p$ —
C —	$\mathfrak{L}_g$ —

Nous retrouvons les mêmes conclusions que par les études plus simples, mais nous en trouvons d'autres, qui font intervenir le circuit de grille : on améliore la stabilité en diminuant l'inductance de grille, en augmentant la résistance filament-grille, ce que l'on peut faire artificiellement en insérant une résistance en série dans le circuit de grille.

C'est un second moyen de stabilisation artificielle.

4. — Si, tenant compte d'un courant de grille, nous nous plaçons assez près de la limite d'entretien pour pouvoir admettre des variations de potentiels et de courants purement sinusoïdales, et admettant en outre que le circuit de grille est constitué, non par une

inductance pure, mais par une impédance Z_g , nous aurions les équations :

$$V_p = (R_1 + j\omega L_p) I_1 \quad (1)$$

$$V_p = - \frac{j}{\omega C} I_2 \quad (2)$$

$$V_g = j \frac{\omega M}{1 + \frac{Z_g}{\rho_g}} \frac{V_p}{R_1 + j\omega L_p} \quad (3)$$

$$I_p = I_1 + I_2 = \frac{1}{\tilde{z}} (V_p + hV_g) \quad (4)$$

Posons :

$$Z_g = R_g + X_g$$

et négligeons $\frac{R_g}{\rho_g}$ devant l'unité.

L'équation (3) s'écrit alors :

$$V_g = j \frac{\omega M}{1 + \frac{X_g}{\rho_g}} \frac{V_p}{R_1 + j\omega L_p} \quad (3')$$

C'est la seule équation où interviennent ρ_g et X_g .

Par conséquent, pour ce qui concerne le circuit de grille, faire $\rho_g = \infty$, autrement dit considérer que le courant de grille est nul, équivaut à faire $X_g = 0$.

Donc, si le circuit de grille est un circuit résonnant sur la pulsation ω , tout se passe en première approximation, comme s'il n'y avait pas de courant de grille.

Or, nous avons vu que la stabilité était meilleure en l'absence du courant de grille.

Nous pouvons donc en inférer que pour améliorer la stabilité on peut aussi constituer un circuit de grille résonnant sur l'oscillation engendrée.

Cela revient à placer un condensateur approprié en série avec l'inductance de grille. Ce condensateur devra évidemment être shunté par une résistance de forte valeur, destinée à décharger la grille et telle qu'au point de vue haute fréquence, sa valeur soit très grande par rapport à la capacitance du condensateur.

On conçoit donc que *plus cette résistance sera grande, plus efficace sera le dispositif de stabilisation.*

C'est le dispositif de stabilisation artificielle du *condensateur shunté*, le plus efficace de tous.

Il est à remarquer que le dispositif est efficace pour des valeurs du condensateur différant sensiblement de la valeur optimum (valeur donnant la résonance).

Cela peut s'expliquer par les remarques suivantes :

1) Si le condensateur est trop faible, la résistance qui le shunte laisse passer une fraction appréciable du courant et agit seule comme un autre moyen de stabilisation (voir plus haut).

2) Si le condensateur est trop fort, Z_g tend vers la limite $R_g + j \omega L_g$, mais s'en approche lentement, de sorte que de fortes variations du condensateur ne conduisent qu'à des variations faibles de Z_g .

3) Le courant de grille est en réalité d'une forme complexe, et accompagné d'harmoniques importants. L'étude expérimentale démontrera que l'on peut effectuer la stabilisation sur un harmonique du courant de grille, donc avec une valeur optimum de condensateur différente.

II. — ÉTUDE EXPÉRIMENTALE.

Dans l'étude expérimentale, nous avons pris comme variables indépendantes, dans le but de faire varier ρ , les tensions de chauffage et d'anode. En fait, nous avons mesuré les variations de fréquence produites par des variations de $\pm 10 \%$ de ces tensions. La triode utilisée était une L. S. 5 Marconi ayant comme paramètres : $k = 5$ et $\varphi = 6.000$ ohms.

Le montage de l'expérience était le suivant (voir fig. 3 et 4). L'oscillateur étudié était amené à interférer avec une hétérodyne spécialement étudiée pour garder une fréquence parfaitement stable, sous des tensions d'alimentation rigoureusement constantes.

La note de battement était reçue, amplifiée en haute fréquence, détectée et amplifiée en basse fréquence.

Si la hauteur de cette note était suffisante, elle était mesurée au moyen d'un pont de mesure des fréquences acoustiques.

Si la hauteur était faible et demandait une mesure très précise,

SCHEMA GENERAL DE L'EXPERIENCE

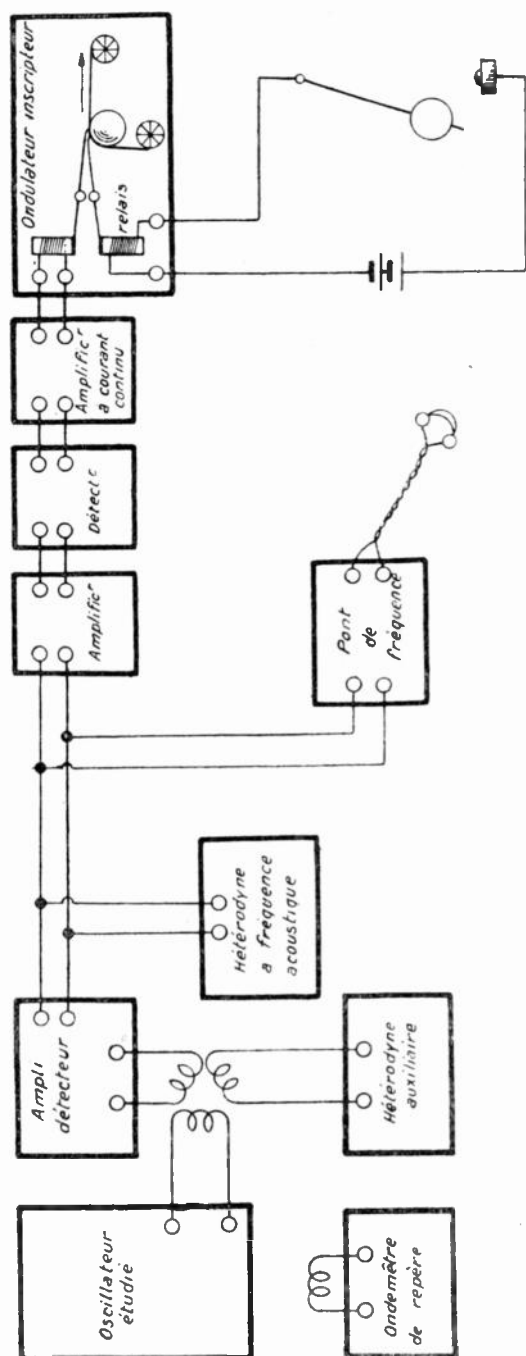


Fig. 3.

la note de battement était elle-même amenée à interférer avec la note d'une hétérodyne à fréquence téléphonique bien stable; ce second battement était, à son tour, détecté et amplifié au moyen d'un amplificateur à courant continu, et enfin enregistré au moyen d'un onduleur-inscripteur, un repère des temps étant marqué par un pendule battant la seconde et s'inscrivant également, par l'intermédiaire d'un contact à mercure, sur la bande enregistrée.

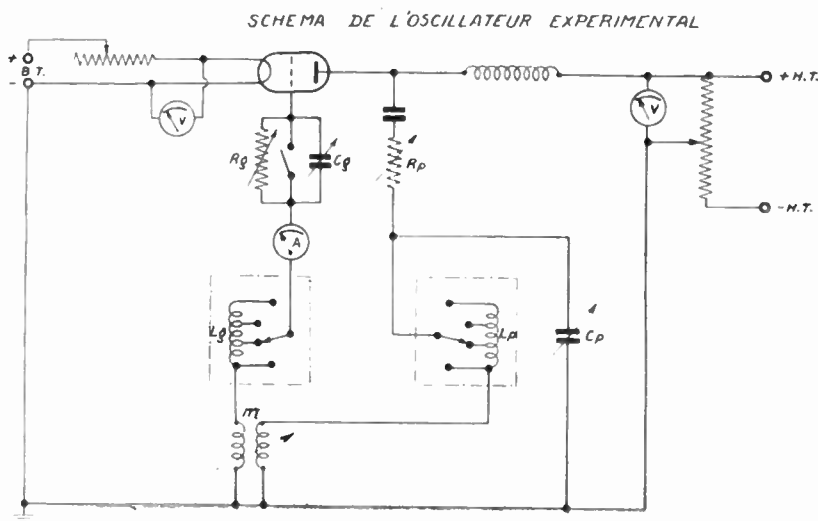


Fig. 4.

1. Action stabilisante de la résistance de plaque R_p . — Cette action, mise clairement en évidence par la théorie est trop connue pour qu'il ait paru nécessaire de faire des mesures nombreuses à ce sujet. Les courbes de la figure 5 montrent clairement l'allure du phénomène.

2. Action du rapport $\frac{L_p}{C_p}$ du circuit oscillant. — La théorie a montré que, à fréquence égale, il y avait avantage à constituer le circuit oscillant d'une faible inductance et d'une forte capacité.

Dans l'expérience, il faut veiller à modifier l'inductance du circuit oscillant, sans affecter le coefficient d'induction mutuelle, M , supposé constant dans la théorie.

C'est pourquoi, comme le schéma (fig. 4) le montre, nous avons

constitué l'inductance du circuit oscillant de deux parties : l'une fixe, couplée au circuit de grille, l'autre variable par plots et, en outre, blindée, afin d'éviter tout couplage entre cette bobine et les autres.

Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau ci-dessous.

Fréquence fondamentale d'oscillation : 644 kc/s

C	L	Δf = écart en fréquence pour	
		- 10 % en haute tension	+ 10 % en haute tension
395 μ F	154 μ H	420 c/s	200 c/s
370	165	560	260 c/s
305	200	720	430 c/s

3. Effet du couplage. — La théorie a montré que plus le couplage était lâche, meilleure était la stabilité.

Les trois valeurs de couplage adoptées pour l'expérience sont données par trois positions des bobines mobiles.

Valeur du couplage	Δf (Ecart en fréquence)			
	Pour une variation de chauffage		Pour une variation de haute tension	
	- 10 %	+ 10 %	- 10 %	+ 10 %
1. Couplage lâche (près de la limite d'accrochage).....	680 c/s	260 c/s	300 c/s	220 c/s
2. Couplage moyen...	7000 c/s	2500 c/s	340 c/s	230 c/s
3. Couplage le plus serré des bobines.....	8000 c/s	5500 c/s	400 c/s	500 c/s

4. Effet de l'inductance de grille L_g . — L'expérience montre qu'une inductance de grille plus forte rend la stabilité moins bonne.

Nous avons encore fait varier l'inductance de grille sans modifier M , en ne déplaçant que la fraction de l'inductance de grille mise sous blindage.

Les résultats sont représentés par les courbes en traits pleins de la figure 6.

5. Effet d'une résistance insérée dans le circuit de grille R_g . — Nous avons indiqué dans la partie théorique comment, en augmen-

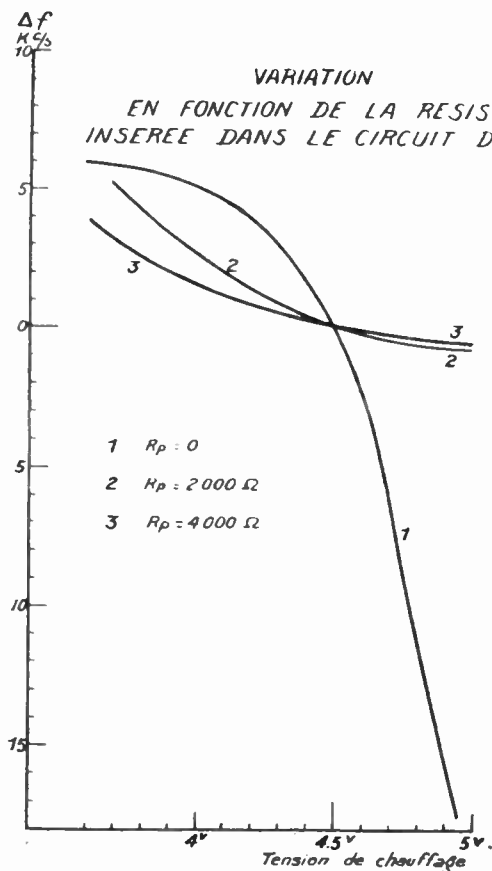


Fig. 5.

tant artificiellement la résistance filament-grille, on pouvait accroître la stabilité. Ce phénomène est mis en évidence par les courbes expérimentales, figure 6.

6. Effet de la fréquence d'oscillation. — C'est un fait bien connu que les oscillateurs à fréquence élevée sont moins stables que les oscillateurs à fréquence basse.

Cela a encore été mis en évidence par nos expériences : il suffit

de comparer les écarts en fréquence que nous avions à mesurer à 430 kc/s, écarts qui, pour être mesurés avec précision nécessitaient un enregistrement, et les écarts obtenus à 600, et surtout à

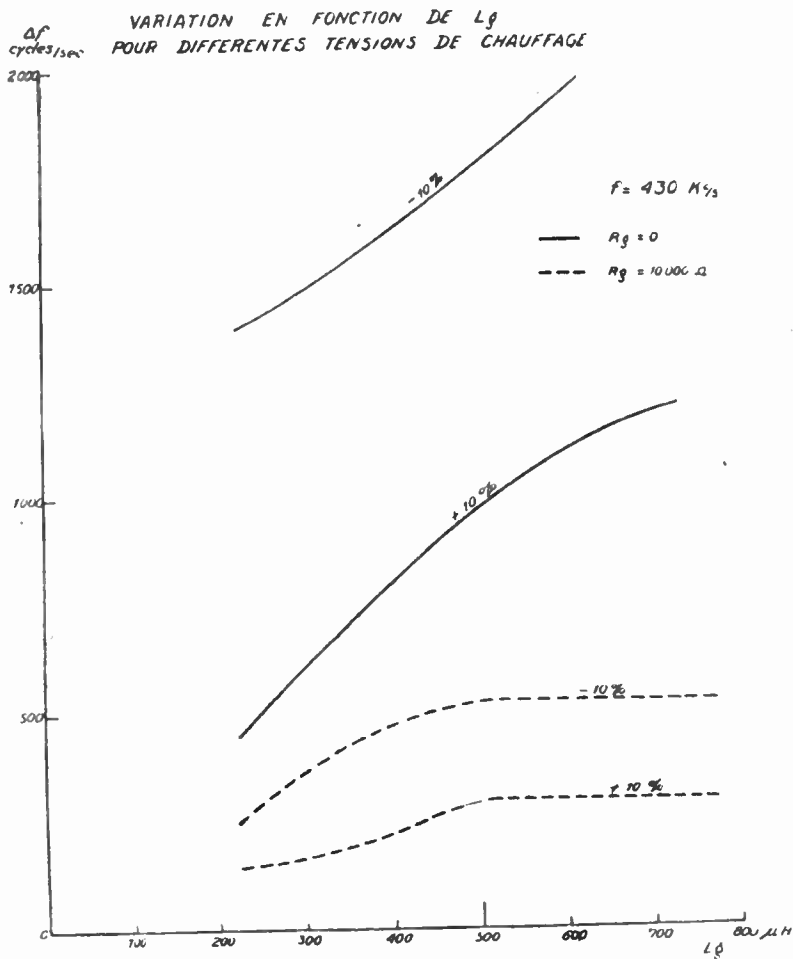


Fig. 6.

1.000 kc/s, écarts beaucoup plus forts, qu'il suffisait de mesurer au pont de fréquences.

7. Effet du condensateur shunté $C_g R_g$. — D'après la théorie, le condensateur inséré dans le circuit de grille doit former avec l'inductance de grille un circuit résonnant sur la fréquence d'oscillation, pour que la stabilité soit la meilleure possible.

La résistance qui shunte le condensateur doit être aussi grande que possible.

Nous avons effectué un essai pour deux fréquences d'oscillation différentes : 430 et 1.000 kc/s.

VARIATION EN FONCTION DE C_g

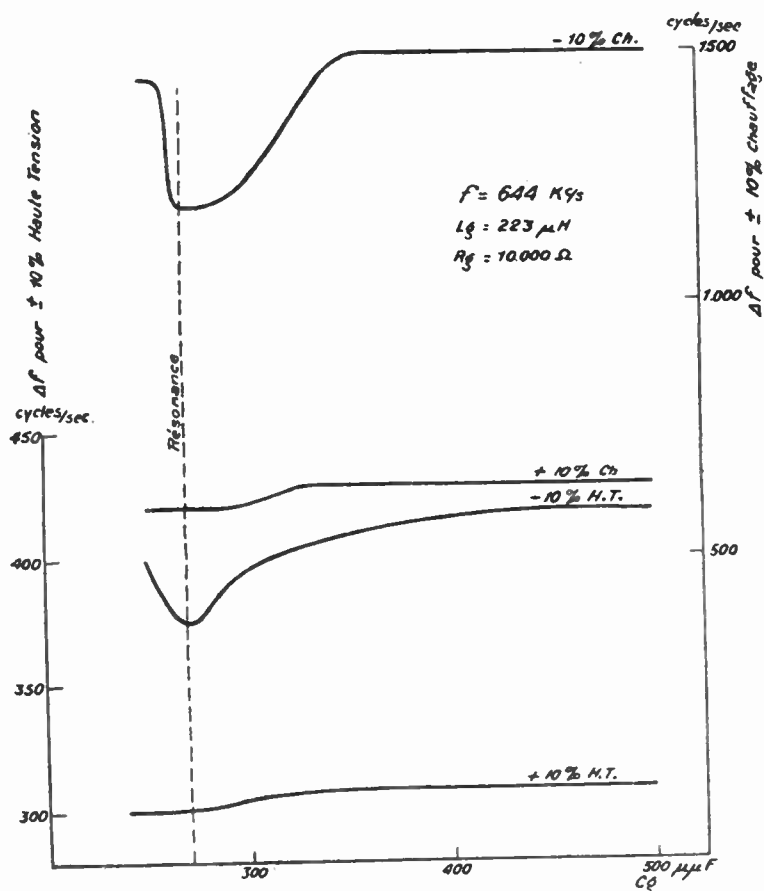


Fig. 7.

Pour chacune d'elles, nous avons adopté plusieurs valeurs d'inductance de grille et plusieurs valeurs de résistance R_g . Nous avons porté, cette fois, en abscisses les valeurs du condensateur C_g et adopté comme paramètres, les variations de chauffage ou de haute tension de $\pm 10\%$.

Dans d'autres courbes, nous avons pris pour abscisses, les

VARIATION EN FONCTION DE C_g

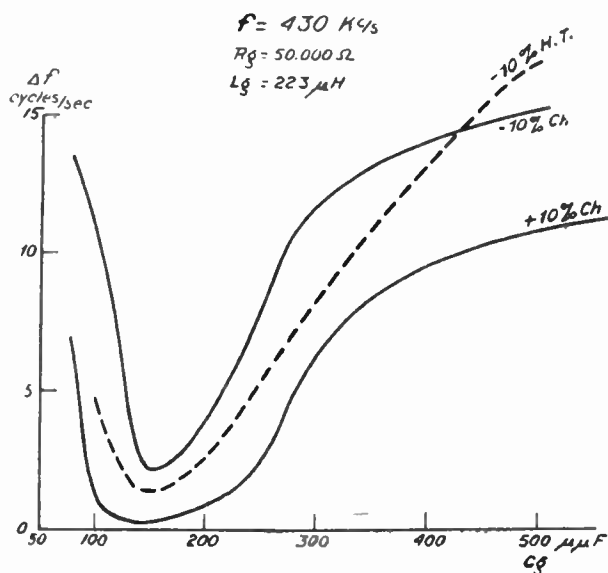


Fig. 8.

VARIATION
EN FONCTION DE LA FRÉQUENCE
DU CIRCUIT DE GRILLE

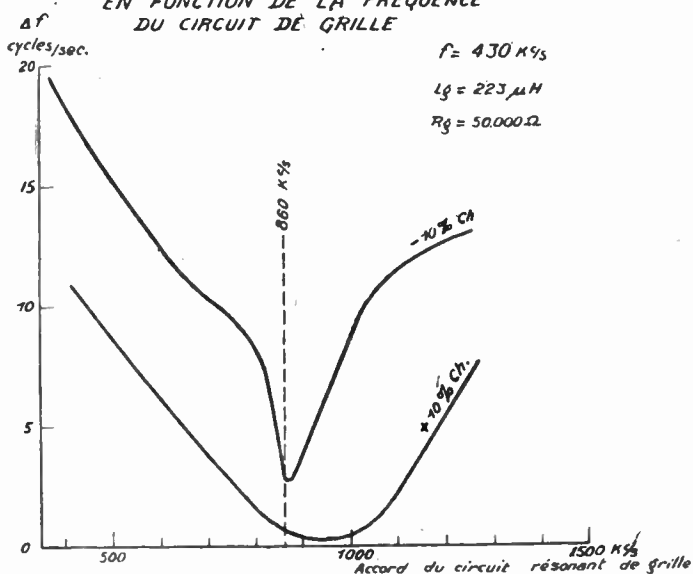


Fig. 9.

valeurs de la fréquence sur laquelle est accordé le circuit résonnant série placé dans le circuit de grille.

VARIATION EN FONCTION DE C_g

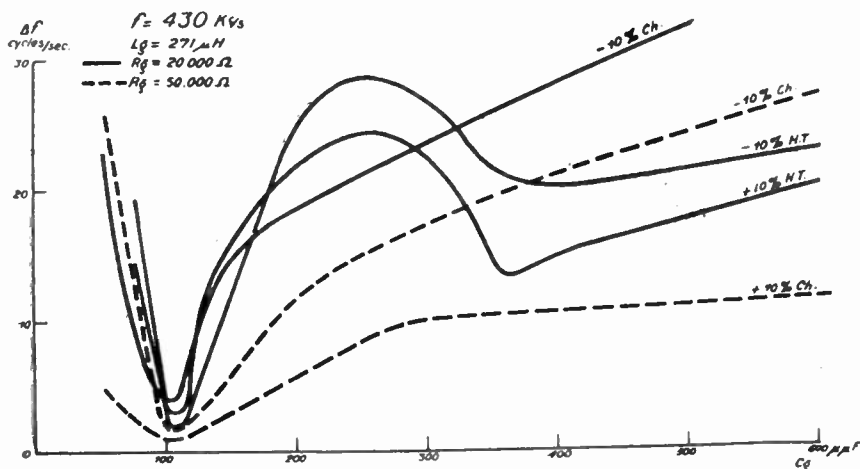


Fig. 10.

Première série d'essais. — Dans ces essais, destinés seulement à nous orienter, nous avons pris une résistance R_g , shuntant le condensateur, de 10.000 ohms, ce qui est une valeur plutôt faible,

VARIATION EN FONCTION DE LA FREQUENCE DU CIRCUIT GRILLE

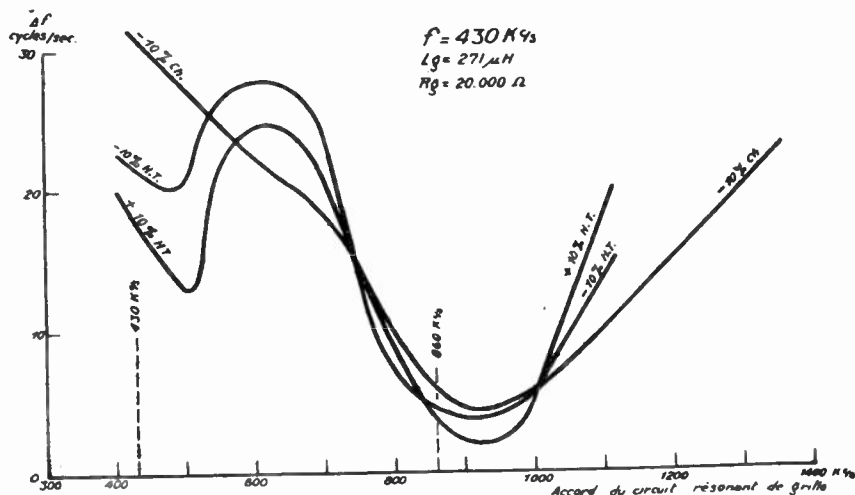


Fig. 11

dans le but d'avoir une instabilité marquée et de dégager plus nettement le phénomène.

On se rendra compte, d'après la figure 7, que cet effet particulier dû à la résonance du circuit de grille est plutôt faible.

En pratique, l'efficacité du système n'est pas fort diminuée si l'on s'écarte quelque peu de la résonance.

Seconde série d'essais. — Une seconde série d'essais a été effectuée à 430 kc/s. Ces essais ont été conduits de manière à rechercher de grandes stabilités.

Nous avons utilisé des inductances de grille valant respectivement 223, 271, 512 μH et des valeurs de résistance de grille variant entre 10.000 et 100.000 ohms.

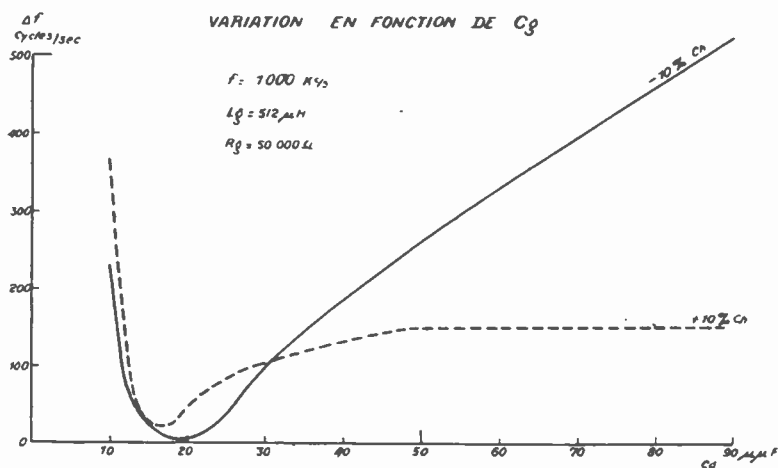


Fig. 12.

Nous avons donné au circuit résonnant de grille des accords très différents, parcourant une gamme étendue de fréquences.

Ces essais sont représentés par les courbes des figures 8 à 11.

On remarque immédiatement que les écarts de fréquences sont nettement plus faibles dans ces mesures que dans les précédentes, grâce à l'adoption d'une fréquence d'oscillation plus faible et de plus grandes valeurs de résistance de shunt.

On constate, en second lieu, que la stabilisation apportée par l'accord du circuit résonnant de grille sur la fréquence d'oscillation ne diffère, en général, guère de la stabilisation apportée pour des accords différents de ce circuit, mais voisins.

Au contraire, on remarque un accroissement marqué de stabilité lorsque le circuit de grille est accordé sur une fréquence exactement double de la fréquence d'oscillation.

Une explication de ce phénomène, dont la cause ne ressort pas bien clairement, pourrait être la suivante : le courant de grille, par suite de sa nature pulsatoire, possède d'importants harmoniques de rangs pairs, et l'accord du circuit de grille sur l'harmonique de rang 2, en particulier, permettrait d'assurer la stabilisation dans les meilleures conditions.

Troisième série d'essais. — Nous avons répété des essais analogues à une fréquence de 1.000 kc/s; pour une telle fréquence, les valeurs de capacité accordant le circuit de grille sur l'harmonique de l'oscillation émise, donc sur 2.000 kc/s, sont très faibles. Si le phénomène observé à 430 kc/s se répète, nous devons trouver des différences considérables de stabilité pour des valeurs de capacité allant de 0 à quelques micromicrofarads.

C'est effectivement ce que les essais ont montré; ils sont représentés par les courbes de la figure 12.

Stabilités obtenues. — Si nous chiffrons la stabilité par la valeur de l'écart relatif en fréquence, pour un écart de 1 % de la tension du chauffage du filament, nous sommes arrivés, par la méthode du condensateur shunté, aux stabilisations optima suivantes :

Constitution du circuit de grille.	Écart en fréquence pour 1 % de variation de la tension de chauffage.
1) à 430 kc/s.	
Résistance de grille de 20.000	
Capacité " " " 150	$1. \times 10^{-6}$
Inductance " " " 223	
Résistance de grille de 50.000	
Capacité " " " 150	$0,27 \times 10^{-6}$
Inductance " " " 223	
Résistance de grille de 100.000	
Capacité " " " 150	$0,115 \times 10^{-6}$
Inductance " " " 223	
2) à 1000 kc/s.	
Résistance de grille de 50.000	
Capacité " " " 15	2×10^{-6}
Inductance " " " 512	

Conclusions. — On peut conclure de cette étude, que pour augmenter la stabilité d'un oscillateur à triode, les moyens suivants peuvent être utilisés :

1. Augmenter la résistance interne de la triode, ou insérer une résistance dans le circuit de plaque;
2. Améliorer le circuit oscillant :
 - a) en diminuant sa résistance ohmique,
 - b) en réduisant son inductance et en augmentant sa capacité;
3. Diminuer le couplage entre les circuits de plaque et de grille;
4. Augmenter la résistance grille-filament de la triode ou insérer une résistance dans le circuit de grille;
5. Diminuer la valeur de l'inductance de grille;
6. Insérer dans le circuit de grille une capacité shuntée par une résistance de valeur aussi élevée que possible;
7. Chercher à accorder le circuit résonnant série ainsi réalisé sur la fréquence émise, ou sur la fréquence double de celle-ci.

Il n'est pas superflu de faire remarquer que plusieurs de ces moyens de stabilisation tendent à réduire la puissance ou le rendement de l'oscillateur.

Des règles générales ne peuvent être énoncées; il appartiendra à l'expérimentateur de faire un choix parmi les moyens proposés, suivant qu'il aura affaire à un poste d'émission ou à un oscillateur de laboratoire. Dans ce dernier cas, il pourra être fait usage de la plupart des dispositions ci-dessus, et des stabilités de l'ordre de 10^{-6} pourront être atteintes pendant des périodes relativement longues.

E. DIVOIRE ET P. BAUDOUX.

Bibliographie.

Les ouvrages et articles suivants, entre autres, ont été consultés :

La lampe à trois électrodes, par C. Gutton.

Stabilisation des oscillations dans un oscillateur à lampes, par J. Mercier (*Onde Electrique*, janvier et février 1933).

Frequency variations of valve oscillators, par D. F. Martyn (*Experimental Wireless*, janvier 1930).

Rapports de MM. N. K. Titov et A. I. Wainberg (Documents du C. C. I. R., Copenhague, 1931).

Constant frequency oscillators, par F. B. Llewellyn (*Proceedings of Institute of Radio Engineers*, décembre 1931).

Frequency stabilisation of radio transmitters, par Kusunose et Ishikawa (*Proceedings of Institute of Radio Engineers*, février 1932).

On the influence of valve resistance in oscillation generators, par N. W. Mac Laghlan (*Experimental Wireless*, mars 1932).

=====

LES CONFÉRENCES INTERNATIONALES RADIOTÉLÉGRAPHIQUE ET TÉLÉGRAPHIQUE DE MADRID ET DE LUCERNE¹

par E. PICAULT

*Ingénieur en Chef des P. T. T., Directeur du Service de la T. S. F.
(suite et fin).*

II. La conférence de Lucerne.

Objet de la conférence. — La Conférence de Lucerne, qui s'est tenue du 15 mai au 19 juin 1933, avait pour but de fixer les fréquences des stations de radiodiffusion de la région européenne et en même temps de poser des règles qui éviteraient aux diverses stations de se brouiller les unes les autres.

Le règlement international des radiocommunications a réservé à la radiodiffusion les bandes de fréquences suivantes, pour l'Europe :

Bandes exclusives : $\left\{ \begin{array}{l} 160-240 \text{ kc/s (longueur d'onde 1875 à 1250 m.)} \\ 550-15000 \text{ kc/s (longueur d'onde 545 à 200 m.)} \end{array} \right.$

Bande commune avec les services non ouverts à la correspondance publique : $\left\{ \begin{array}{l} 240 \text{ à } 255 \text{ kc/s (1250 à 1176 m.)} \end{array} \right.$

Bande commune avec les services aéronautiques : $\left\{ \begin{array}{l} 255 \text{ à } 265 \text{ kc/s (1170 à 1132 m.)} \end{array} \right.$

Dans ces deux dernières bandes la radiodiffusion ne doit pas gêner le service avec lequel la bande est partagée, et, réciproquement, ce service ne doit pas gêner la réception des stations de radiodiffusion qui y travaillent dans la limite de leur territoire national.

1. Voir *l'Onde Électrique*, vol. 13, janvier 1934, p. 5.

En outre, il avait été admis à Madrid que des stations de radiodiffusion pourraient recevoir des fréquences dans les bandes attribuées à d'autres services, en particulier dans la bande de 345 à 365 kc/s réservée aux services aéronautiques, dans les bandes de 385 à 400 kc/s et de 515 à 550 kc/s réservées aux services non ouverts à la correspondance publique, dans la bande de 400 à 460 kc/s réservée aux services mobiles, à la condition expresse que ces stations de radiodiffusion ne gênent pas les services régulièrement autorisés à travailler dans les bandes de fréquence ci-dessus : par exemple des stations de radiodiffusion de puissances limitées, situées suffisamment loin de la mer pourraient être placées dans les bandes de fréquences réservées aux services mobiles maritimes.

Il convient de remarquer que, comme il a été expliqué plus haut, les conditions des divers services dans les bandes de fréquences sont très différentes.

Dans la gamme des ondes de 200 à 500 mètres, qui sont sujettes au fading, le « rayon d'action agréable » de la station de radiodiffusion est limité au rayon du cercle ayant pour centre la station et où le fading ne se fait pas sentir; la portée utile de la station est beaucoup moins étendue que celle des stations qui utilisent des grandes longueurs d'onde. Il est d'ailleurs inutile de songer à compenser ces phénomènes par l'augmentation de la puissance de l'émetteur.

Organisation de la radiodiffusion européenne. — Pour organiser la radiodiffusion, on a posé ce premier principe que le service de radiodiffusion est un service national, chaque station devant desservir seulement le pays dont elle fait partie ou une région de ce pays; on a été amené à distinguer deux catégories de stations : les stations nationales destinées à desservir la totalité du territoire d'un état déterminé et les stations régionales. Les stations nationales utilisent, en principe, des ondes aussi longues que possible; dans le choix de la fréquence d'une station nationale on ne tient pas seulement compte des dimensions du territoire à desservir, mais encore de la nature du sol, de sa conductibilité, de la présence de chaînes de montagnes, etc... La puissance des postes doit être limitée, pour les stations nationales, à la valeur qui permet d'obtenir un bon service national de jour et de nuit et pour les

stations régionales à celle qui permet de desservir la zone de rayon d'action agréable.

L'intensité du champ électrique qui permet d'effectuer le service de radiodiffusion est de l'ordre d'au moins un millivolt par mètre dans toute la zone à desservir.

Ces principes simples soulèvent de sérieuses difficultés d'application, d'abord, parce que les conditions particulières de certains pays (forme irrégulière du territoire à desservir, présence de chaînes de montagnes) en rendent l'application difficile, et aussi parce que certaines administrations ou compagnies ont construit des stations qui ne satisfont pas aux conditions précédentes, par exemple qui sont à proximité des frontières et sont entendues dans les pays voisins.

De plus, dans la gamme d'ondes de 200 à 400 mètres, les postes de radiodiffusion produisent, en dehors de leur rayon d'action agréable, des champs très intenses, qui se propagent à très grande distance, surtout vers 200 mètres, et sont susceptibles de gêner la réception de stations installées dans d'autres pays, parfois très éloignés.

Les dérogations au règlement de Madrid. — La situation de la radiodiffusion européenne est difficile du fait du grand nombre des stations émettrices installées ou projetées; leurs fréquences doivent être écartées d'environ 9 à 10 kc/s, pour que le service soit satisfaisant, en raison de la largeur occupée par la bande des fréquences modulées. Comme il n'est pas possible d'attribuer à chaque station une fréquence exclusive, on a dû chercher à donner la même fréquence à plusieurs stations. Malgré cela, les bandes de fréquences réservées à la radiodiffusion par le Plan de Madrid ne permettent pas d'installer toutes les stations demandées par les divers gouvernements d'Europe et des stations de radiodiffusion ont dû être installées en dérogation, dans les bandes de fréquences attribuées aux autres services, et cela de manière à ne pas gêner lesdits services. Des difficultés nouvelles sont apparues à ce moment : si, en effet, la radiodiffusion demande des champs de l'ordre du millivolt par mètre, les autres services utilisent des champs beaucoup moins intenses; par exemple, les services maritimes et aériens utilisent dans la gamme de 600 à 900 mètres des postes d'une

puissance de quelques centaines de watts et leurs récepteurs travaillent sur des champs qui atteignent 15 à 20 microvolts par mètre; des champs que la radiodiffusion considère comme peu intenses peuvent donc être considérables pour ces autres services. D'autre part, si les navires se trouvent loin de certaines stations de radiodiffusion placées au milieu des terres, il n'en est pas de même des avions qui circulent dans la plupart des contrées européennes, ni des stations côtières. Les services essentiels à la navigation maritime ou aérienne (détresse, radiogoniométrie, radiophares) doivent être sauvegardés d'une manière absolue. Enfin les dérogations n'ont qu'une portée européenne, alors que les navires américains, les communications du Japon, par exemple, ont le droit de ne pas être gênés par les stations de radiodiffusion européennes, comme les délégués de ces pays l'avaient signalé à la conférence de Madrid.

Pour déterminer à quelles conditions des stations de radiodiffusion peuvent être placées, en dérogation dans les bandes d'autres services, et quelles sont les stations de radiodiffusion qui peuvent recevoir la même fréquence, la méthode de travail suivante a été adoptée aux deux Conférences de Madrid et de Lucerne :

On a cherché à établir la loi de la propagation d'une onde radioélectrique de fréquence donnée, c'est-à-dire à déterminer comment varie avec la distance le champ électromagnétique produit par un poste émetteur d'une puissance de 1 kW. On en déduit le champ produit par une station de radiodiffusion, émettant à la fréquence f_0 , à une distance d de ce poste. La connaissance de la courbe de sélectivité des récepteurs des champs utiles pour ces récepteurs, et des champs perturbateurs que ces récepteurs peuvent tolérer, permet de déterminer l'effet que ces postes, émettant à la fréquence f_0 , produisent à la distance d soit sur un récepteur réglé à la fréquence f_0 , soit sur un récepteur réglé à une autre fréquence et qui doit éliminer l'émission de fréquence f_0 .

L'établissement d'une loi de propagation est difficile, car nos connaissances à ce sujet sont encore très incomplètes. L'expérience montre, en effet, que la propagation des ondes n'est pas la même la nuit que le jour, les portées atteintes de nuit étant beaucoup plus grandes que de jour; le champ varie d'un moment à l'autre dans de grandes proportions; enfin la propagation dépend de la

fréquence de l'onde considérée. Aux deux Conférences, on a établi des courbes donnant l'intensité du champ produit jusqu'à 2.000 kilomètres par un poste émetteur de 1 kW. Huit tableaux de courbes avaient été donnés indiquant la « valeur moyenne probable », définie comme la valeur que le champ instantané dépasse pendant 50 % du temps, et le « quasi maximum » défini comme champ que la valeur instantanée dépasse pendant 5 % du temps. Ces deux valeurs étaient indiquées seulement pour la nuit; pour le jour on s'était borné à indiquer les valeurs moyennes probables; les tableaux s'appliquaient respectivement aux longueurs d'onde de 2.000 mètres, 1.000 mètres, 545 mètres, 200 mètres. Au cours de la Conférence de Lucerne, on a d'ailleurs été amené à apporter aux courbes établies à Madrid certaines corrections qui résultaient d'expériences faites depuis la Conférence Madrid ¹.

Les résultats expérimentaux dont on dispose maintenant sont encore insuffisants pour donner la solution de tous les problèmes de propagation. Les études expérimentales devront être poursuivies; les diverses administrations ont d'ailleurs reconnu l'importance de cette question, et des essais systématiques sont en cours dans tous les pays. Certaines organisations internationales, comme l'Union Internationale de Radiodiffusion, ou le Comité International radiomaritime poursuivent également d'une manière très active l'étude de cette question.

La convention de radiodiffusion². — Les documents internationaux établis à Lucerne comprennent une convention européenne de radiodiffusion, un plan de répartition des fréquences, un protocole final contenant une importante réserve; en outre, il sera relié sous la même couverture que ces documents, un texte contenant les diverses déclarations faites par les délégués des pays signataires ³.

La Convention est exécutoire jusqu'à la prochaine Conférence Internationale qui modifiera les documents de Madrid. Cette con-

1. Voir en particulier la communication de M. David sur cette question à la Société des Radioélectriciens, le 15 novembre 1933, qui sera insérée dans un prochain numéro.

2. Il convient d'observer que ce texte est en réalité un accord régional et qu'il n'a pas la portée de la convention de Madrid.

3. Cette disposition a été adoptée en raison de l'impossibilité de se mettre d'accord sur les réserves présentées par les divers pays.

férence est prévue pour 1937, de manière que ses décisions puissent entrer en vigueur au 1^{er} janvier 1939. Au contraire, le plan de répartition des fréquences est applicable jusqu'en 1936, et il sera modifié par une conférence administrative qui se réunira immédiatement après le 15 janvier 1936¹; en outre le plan peut être remanié avant cette date sur demande d'une administration, si cette demande reçoit l'agrément du tiers des administrations adhérentes.

Les fréquences émises par les stations devront être stables. On évitera toute surmodulation.

Les stations de radiodiffusion placées dans la bande de fréquence de 240 à 265 kc/s (1.250 à 1.132 m.), ne devront pas gêner les services aéronautiques, ni être gênées par eux.

Les stations de radiodiffusion dans la bande de 540 à 550 kc/s (556 à 545 m.) ne devront pas gêner les services mobiles dans la bande voisine de 485 à 515 kc/s (619 à 583 m.), qui comprend l'onde de détresse de 600 mètres, sans réciprocité.

En cas d'interférence entre les stations de l'U.R.S.S. qui ont fait l'objet des réserves mentionnées au protocole final de la Conférence de Madrid, et les stations d'autres services, les intéressés seront placés sur un pied d'égalité dans la recherche des solutions à intervenir. Cette dernière condition, qui présente des inconvénients sérieux pour le service maritime, n'a pas été admise par la Grande-Bretagne, et a donné lieu à une importante réserve de plusieurs pays.

Une disposition nouvelle et intéressante de la convention concerne le rôle d'expert attribué à l'Union internationale de radiodiffusion (U.I.R.) pour les questions techniques concernant exclusivement le service de radiodiffusion : l'U.I.R. est utilisée, de préférence, comme expert; elle effectue des mesures et des observations périodiques des caractéristiques techniques des stations de radiodiffusion de la région européenne, dont elle communique le résultat aux administrations; elle peut effectuer des mesures et observations spéciales, à la demande d'une administration, et elle en communique le résultat aux intéressés. Cet article donne donc

1. A cette date, les stations prévues au plan de répartitions de Lucerne ne seront pas encore toutes établies.

le droit à une administration qui est gênée par une station d'un autre pays, de faire constater la gêne et de prévenir officiellement l'administration de qui dépend la station perturbatrice. Par contre, les statuts de l'U.I.R. doivent permettre d'y admettre tous les pays européens avec les mêmes droits.

Le plan de Lucerne contient les dispositions générales relatives à la puissance maximum des stations. Dans le cas où la puissance maximum n'est pas indiquée dans le plan, la puissance non modulée mesurée dans l'antenne est limitée en fonction de la longueur d'onde aux valeurs suivantes :

<i>Longueur d'onde.</i>	<i>Puissance limite.</i>
supérieure à 1.000 mètres.....	150 kW
entre 545 et 275 mètres.....	100 —
entre 272 et 240 mètres.....	60 —
entre 240 et 200 mètres.....	30 —

La puissance ne doit pas dépasser la limite qui permet d'assurer économiquement un bon service national (quelques exceptions sont d'ailleurs prévues aux règles relatives à la limitation de puissance).

La puissance des stations utilisant des ondes communes est limitée à 5 kW, 2 kW, 0,2 kW, suivant qu'il s'agit d'ondes communes nationales, internationales du type 1 ou du type 2. Ces deux types, 1 et 2, d'ondes internationales diffèrent surtout par la stabilité et la puissance, la stabilité de l'onde du type 1 comporte une tolérance de ± 10 périodes/sec., celle du type 2 de ± 50 périodes/sec.

La tolérance de la fréquence de l'onde porteuse admise pour les stations qui utilisent des fréquences exclusives est de ± 50 périodes/seconde; celle des stations qui utilisent une onde partagée est de ± 10 périodes/sec., celle des stations qui utilisent une onde commune nationale est de ± 50 périodes/sec.

On appelle onde exclusive une onde attribuée à une seule station de radiodiffusion : par exemple la fréquence de 208 kc/s (longueur d'onde 1.442 m.) de la station de Minsk (Russie) est une fréquence exclusive; une onde partagée est attribuée à deux ou plusieurs stations désignées au plan; la fréquence de 223 kc/s (1.345 m.) est partagée entre les deux stations de Huizen (Pays-Bas) et Kharkov

(Russie). Deux stations utilisant la même onde ne peuvent pas fonctionner, si les fréquences ne sont pas exactement synchronisées, car dans ce cas il se produit entre les deux ondes porteuses des battements donnant un sifflement continu; c'est ce qui explique la très faible variation de fréquence exigée pour ces stations; de plus, les puissances devraient être fixées d'une manière précise, de manière que chacune des stations ne rayonne pas jusque sur le territoire desservi par l'autre.

Les mêmes considérations s'appliquent aux ondes communes, nationales ou internationales; les stations qui utilisent une onde du type 2, moins stable qu'une onde du type 1 ne peuvent recevoir que des puissances moindres.

Enfin la radiodiffusion visuelle a été introduite à titre exceptionnel.

La liste des stations indique, pour chacune d'entre elles, la fréquence attribuée et, pour certaines, la puissance de jour et celle de nuit. Cette liste est divisée en trois parties; la première s'applique à la bande des ondes longues de 2.000 à 1.000 mètres; elle comprend des stations placées dans les bandes réservées à l'aéronautique et dont la puissance a dû être limitée, aussi bien que des stations placées dans les bandes exclusives de la radiodiffusion. L'écart des fréquences est réduit à 7 ou 8 kc/s; certains postes puissants sont très voisins des frontières, ce qui d'ailleurs a soulevé diverses protestations au cours de la Conférence.

Dans cette bande, comme dans les suivantes, on a utilisé tous les moyens techniques susceptibles d'augmenter le champ produit par les postes dans la direction à desservir et de le réduire dans la direction opposée : l'emploi d'antennes directives a été largement envisagé.

La seconde bande (1.000 à 600 mètres) comprend les stations en dérogation dans les bandes réservées aux services maritimes et aériens. L'onde de sécurité aérienne (900 m.) et l'onde de sécurité maritime (600 m.) sont dégagées des stations de radiodiffusion, de même que la bande des radio-phares et de la radiogoniométrie. Cependant les services maritimes et aériens estimaient que la bande des fréquences réservées à la goniométrie est encadrée de près par deux stations trop puissantes, que la station de « Moscou 3 », d'une puissance de 50 kW et d'une longueur d'onde de 748 mètres

(401 kc/s) peut gêner le trafic sur toutes les côtes européennes, jusqu'à Ouessant et Marseille, et que la station de Budapest, de 120 kW sur l'onde de 549,5 mètres, peut gêner le service maritime sur l'onde de 600 mètres, ce qui réduit l'efficacité des dispositions prévues à Madrid pour protéger les ondes de détresse et de sécurité, en en écartant toutes les émissions de trafic.

La troisième et dernière bande de fréquence de la liste des stations s'étend de 550 mètres à 200 mètres (550 à 1.500 kc/s). Dans cette bande se trouvent toutes les stations régionales et les stations nationales des pays auxquels il a été impossible d'attribuer une onde longue. L'écart entre les fréquences de deux postes d'au moins 9.000 périodes/sec. permet un service satisfaisant.

On remarquera le grand nombre des stations prévues au plan; certaines fréquences doivent rester disponibles pendant un an ou deux, les stations qui les utiliseront étant encore en projet; aussi a-t-on prévu que l'U. I. R. pourra autoriser leur utilisation provisoire par certaines autres stations. Les conférences que l'U. I. R. a tenues à Amsterdam au mois d'octobre dernier, puis à Genève, ont abouti à un tel accord.

Les stations de radiodiffusion sur ondes courtes sont exclues de ce plan car leurs ondes qui se propagent jusqu'aux autres continents échappent à un accord régional.

La région européenne, définie à Madrid, contient la région à l'Ouest du 40° méridien et au Nord du 30° parallèle; elle englobe donc l'Afrique du Nord, l'Égypte, la Palestine, la Syrie et la Turquie; elle comprend également l'Islande.

Une conférence des administrations d'Amérique qui a eu lieu à Mexico, a réglé pour l'Amérique l'attribution des fréquences aux stations de radiodiffusion et à d'autres services dans le cadre du règlement de Madrid, faisant ainsi un travail analogue à celui que les administrations d'Europe ont fait à la conférence de Lucerne. L'accord conclu à Mexico diffère considérablement de celui de Lucerne par sa forme, comme par les services auxquels il s'applique.

E. PICAULT.

Voir ci-après le tableau de la Répartition des bandes de fréquence entre 10 et 60.000 kc/s et un Extrait de la liste des stations européennes de radiodiffusion.

Répartition des bandes de fréquence entre 10 et 60.000 kc/s (30.000 et 5 m.)

(Extrait du règlement des radiocommunications de Madrid)

Fréquences en kilocycles par seconde	Longueurs d'onde en mètres	SERVICES		
		Attribution générale	Accords régionaux	
			Région européenne	Autres régions
10-100	30.000-3.000	Fixes		
100-110	3.000-2.727	a) Fixes, b) Mobiles.		
110-125	2.727-2.400	Mobiles.		
125-150 ¹	2.400-2.000	Mobiles maritimes. (ouverts à la correspondance publique exclusive- ment).		
150-160	2.000-1.875	Mobiles.		
160-285 ⁴	1.875-1.053		160-240 (1875-1250). Radiodiffusion. ³ 240-255 (1250-1176). a) Non ouverts à la correspondance publique. b) Radiodiffusion ^{2,3} 255-265 (1176-1132). a) aéronautiques. b) Radiodiffusion ^{2,3} 265-285 (1132-1053). Aéronautiques.	160-191 (1875-1546). a) Fixes. b) Mobiles. 191-285 (1546-1053) a) Aéronautiques. b) Fixes non ou- verts à la corres- pondance publique c) Mobiles, excepté stations commer- ciales des navires.
285-290 ⁵	1.053-1.034		Aéronautiques.	Radiophares.
290-315 ⁵	1.034-952	Radiophares.	Radiophares mari- times.	
315-320 ⁵	952-938		Radiophares mari- times.	Aéronautiques.
320-325	938-923		Aéronautiques.	a) Aéronautiques. b) Mobiles non ou- verts à la corres- pondance publi- que.
325-345 ⁶	923-870	Aéronautiques.		

1. L'onde de 143 kc/s (2.100 m) est l'onde d'appel des stations mobiles utilisant des ondes longues entretenues.

2. Les administrations européennes s'entendront entre elles pour placer dans la bande de 240 à 265 kc/s (1.250 à 1.132 m) des stations de radiodiffusion qui, du fait de leur position géographique, ne généreront pas les services non ouverts à la correspondance publique et les services aéronautiques. Par ailleurs, ces services s'organiseront pour ne pas brouiller la réception des stations de radiodiffusion ainsi choisies, dans les limites des territoires nationaux de ces stations.

3. Les services ouverts à la correspondance publique ne seront pas admis dans les bandes destinées à la radiodiffusion, compris entre 160 et 265 kc/s (1.875 et 1.132 m), même sous le couvert de l'article 7, paragraphe 1.

4. La bande de fréquences de 160 à 265 kc/s (1.875 à 1.132 m) est également attribuée à l'Australie et à la Nouvelle-Zélande pour la radiodiffusion comme distribution régionale. Les administrations de ces deux pays sont d'accord pour placer les stations, qui émettront dans cette bande, de manière à éviter des brouillages avec les autres services dans les autres régions.

5. Une bande de 30 kc/s de largeur, comprise entre les limites de 285 et 320 kc/s 1.053 et 938 m., est allouée dans chaque région au service des radiophares. Dans la région européenne, cette bande est réservée aux seuls radiophares maritimes.

6. L'onde de 333 kc/s (900 m) est une onde internationale d'appel des services aéronautiques.

Fréquences en kilocycles par seconde	Longueurs d'onde en mètres	SERVICES		
		Attribution générale	Accords régionaux	
			Région européenne	Autres régions
315-365	870-822		Aéronautiques.	a) Aéronautiques. b) Mobiles non ouverts à la correspondance publique.
365-385	822-779	a) Radiogoniométrie. b) Mobiles, à condition de ne pas gêner la radiogoniométrie. Stations côtières employant ondes B exclues.		
385-400	779-750		Non ouverts à la correspondance publique.	Mobiles.
400-460	750-652	Mobiles.		
460-485	652-619	Mobiles A1 et A2 seulement.		
485-515	619-583	Mobiles (détresse, appel, etc.).		
515-550 ⁸	583-515	Non ouverts à la correspondance publique A1 et A2 seulement.		
550-1.500 ⁹	515-200	a) Radiodiffusion. b) Onde de 1.361 Kc/s (220 m) A1, A2 et B pour les services mobiles exclusivement ¹⁰ .		
1.500-1.715 ¹¹⁻¹³	200-171,9		1.500-1.530 (200-196,1). a) Fixes. b) Mobiles A1 et A2 seulement. 1.530-1.630 (196,1-181,0). ¹² Mobiles A1, A2 et A3. ¹² 1.630-1.670 (181,0-179,6). ¹³ Onde d'appel mobile maritime (A3 seulement). ¹³ 1.670-1.715 (179,6-171,9). Mobiles maritimes (A3 seulement).	a) Fixes. b) Mobiles.

7. L'onde de 500 kc/s (600 m) est l'onde internationale d'appel et de détresse. L'emploi de cette onde est défini aux articles 19, 22 et 30.

8. Les administrations européennes s'entendront entre elles pour placer dans la bande de 540 à 550 kc/s (556 à 545 m) des stations de radiodiffusion qui, du fait de leur position géographique, ne gêneront ni les services mobiles dans la bande de 485 à 515 kc/s (619 à 583 m), ni les services non ouverts à la correspondance publique dans la bande de 515 à 550 kc/s (583 à 515 m) ; par ailleurs, les services non ouverts à la correspondance publique s'organiseront pour ne pas brouiller la réception des stations de radiodiffusion ainsi choisies, dans les limites des territoires nationaux de ces stations.

9. Les services mobiles peuvent utiliser la bande de 550 à 1.300 kc/s (545 à 230,8 m), à condition de ne pas brouiller les services d'un pays qui utilise cette même bande exclusivement pour la radiodiffusion.

10. Sur la fréquence de 1.361 kc/s (220 m), les ondes du type B sont interdites entre 1.800 et 2.300 h., heure locale, dans toutes les régions où leur emploi est susceptible de brouiller la radiodiffusion. Toutefois, dans la région de l'Amérique du Nord, les seules ondes du type A1 sont autorisées pendant ces heures.

11. La fréquence de 1.650 kc/s (182 m) est une onde d'appel pour le service mobile de radiotéléphonie avec les stations de navire de faible puissance. Cette fréquence d'appel n'est pas obligatoire et la date à laquelle elle deviendra obligatoire pour chaque pays sera déterminée par réglementation intérieure.

12. En principe, cette bande de fréquences est réservée au service téléphonique avec les stations de navires de faible puissance. Les pays d'Europe, dont les bateaux n'utilisent pas ce type de communication, éviteront, autant que possible, l'usage de la télégraphie dans cette bande dans les régions voisines de celles où ce service téléphonique est exploité.

13. Aucun trafic ne peut se faire dans la bande de 1.630 à 1.670 kc/s (181,0 à 179,6 m). L'appel sur l'onde de 1.650 kc/s (182 m) n'est pas obligatoire ; sa mise en vigueur pour chaque pays sera déterminée par réglementation intérieure.

14. A l'intérieur de l'Europe, les bandes de fréquences de 1.530 à 1.630 kc/s et de 1.670 à 1.715 kc/s (196,1 à 181,0 m et 179,6 à 171,9 m) peuvent être utilisées par les services fixes à courte distance, à condition de ne pas brouiller les services mobiles.

Fréquences en kilocycles par seconde	Longueurs d'onde en mètres	SERVICES		
		Attribution générale	Accords régionaux	
			Région européenne	Autres régions
1.715-2.000	174,9-150		1715-1925 (174,9-155,8). a) Amateurs. b) Fixes. c) Mobiles. 1925-2000 (155,8-150). a) Amateurs. b) Mobiles maritimes (A3 seulement).	a) Amateurs. b) Fixes. c) Mobiles.
2.000-3.500	150-85,71	a) Fixes. b) Mobiles.		
3.500-4.000	85,71-75	a) Amateurs. b) Fixes. c) Mobiles.		
4.000-5.500	75-54,55	a) Fixes. b) Mobiles.		
5.500-5.700	54,55-52,63	Mobiles.		
5.700-6.000	52,63-50	Fixes.		
6.000-6.150	50-48,78	Radiodiffusion.		
6.150-6.675	48,78-44,94	Mobiles.		
6.675-7.000	44,94-42,86	Fixes.		
7.000-7.300	42,86-41,10	Amateurs.		
7.300-8.200	41,10-36,59	Fixes.		
8.200-8.550	36,59-35,09	Mobiles.		
8.550-8.900	35,09-33,71	a) Fixes. b) Mobiles.		
8.900-9.500	33,71-31,58	Fixes		
9.500-9.600	31,58-31,25	Radiodiffusion.		
9.600-11.000	31,25-27,27	Fixes.		
11.000-11.400	27,27-26,32	Mobiles.		
11.400-11.700	26,32-25,64	Fixes.		
11.700-11.900	25,64-25,21	Radiodiffusion.		
11.900-12.300	25,21-24,39	Fixes.		
12.300-12.825	24,39-23,39	Mobiles.		
12.825-13.350	23,39-22,47	a) Fixes. b) Mobiles.		
13.350-14.000	22,47-21,43	Fixes.		
14.000-14.400	21,43-20,83	Amateurs.		
14.400-15.100	20,83-19,87	Fixes.		
15.100-15.350	19,87-19,54	Radiodiffusion.		
15.350-16.400	19,54-18,29	Fixes.		
16.400-17.100	18,29-17,54	Mobiles.		
17.100-17.750	17,54-16,90	a) Fixes. b) Mobiles.		

Fréquences en kilocycles par seconde	Longueurs d'onde en mètres	SERVICES		
		Attribution générale	Accords régionaux	
			Région européenne	Autres régions
17.750-17.800	16,90-16,85	Radiodiffusion.		
17.800-21.450	16,85-13,99	Fixes.		
21.450-21.550	13,99-13,92	Radiodiffusion.		
21.550-22.300	13,92-13,45	Mobiles.		
22.300-24.600	13,45-12,20	a) Fixes. b) Mobiles.		
24.600-25.600	12,20-11,72	Mobiles.		
25.600-26.600	11,72-11,28	Radiodiffusion.		
26.600-28.000	11,28-10,71	Fixes.		
28.000-30.000	10,71-10	a) Amateurs. b) Expériences.		
30.000-56.000	10-5,357	Non réservé.		
56.000-60.000	5,357-5	a) Amateurs. b) Expériences.		

REMARQUE. — Une Conférence européenne, qui aura lieu avant l'entrée en vigueur du présent Règlement, pourra décider exceptionnellement d'annexer à son protocole certaines des dérogations particulières qu'elle aura pu décider dans les bandes régionales et qu'elle estimera devoir y faire figurer. Ces dérogations s'ajouteront à celles qui sont prévues dans les notes relatives au tableau qui précède.

Extrait de la liste des stations européennes de radiodiffusion

Le tableau qui suit donne la liste des stations de radiodiffusion dans les bandes qui ont donné lieu aux plus grandes discussions : longueurs d'ondes longues de radiodiffusion, et longueurs d'onde en dérogation près des bandes des services maritime et aérien.

1° — Bandes de 150 à 300 kc/s (2.000 à 1.000 m.).

Fréquences en kilocycles par seconde	Longueurs d'onde en mètres	STATIONS	PAYS	Puissance en kilowatts antenne maximum		
				Actuelle	de jour	de nuit ¹ .
160 ^A	1875	Brasov.	Roumanie.	1		
167	1796	Radio-Paris:	France.	75		
		Syrie.	Syrie.	0	20	20
175	1714	Moscou I.	U.R.S.S.	500		
183	1639	Ankara.	Turquie.	7		
		Kaunas.	Lithuanie.	7	7	7
		Madrid I.	Espagne.	0		
		Reykjavik.	Islande.	16	30	30
191	1571	Zeesen.				
		(Allemagne centrale)	Allemagne.	60		
200	1500	Daventry				
		(Droitwich).	Grande-Bretagne.	25		
208	1442	Minsk.	U.R.S.S.	100		
216	1389	Motala.	Suède.	30		
223	1345	Huizen.	Pays-Bas.	7		
		Kharkov I.	U.R.S.S.	20		
230	1301	Warszawa I.	Pologne.	120		
238	1261	Kalundborg.	Danemark.	7,5	60	60
		Portugal (Nord) ² .	Portugal.	0	20	20
245	1224	Leningrad. I	U.R.S.S.	100	100	100
253 ^A	1186	Oslo ³ .	Norvège.	60	60	60
262 ^A	1145	Lahti ⁴ .	Finlande.	40	150	60
271 ^A	1107	Moscou. II	U.R.S.S.	100	100	100

A. Station placée dans une bande commune avec un autre service, ou assez voisine des limites d'une bande commune pour gêner cet autre service (indication ajoutée par l'auteur de l'article, alors que les autres notes figurent in extenso au tableau établi à Lucerne).

1. Applicable une heure après le coucher du soleil au lieu de l'émetteur.

2. Devra utiliser une antenne dirigée vers le sud et réduire la puissance pendant la nuit en cas de gêne aux services non ouverts à la correspondance publique d'Espagne et de France.

3. La Norvège fera tout ce qui sera possible pour diminuer le champ vers le sud-est sans amoindrir le service national d'Oslo.

4. Pourra utiliser de nuit une puissance atteignant 150 kW. dans le cas où une antenne dirigée vers le nord sera installée.

2° — Bande de 300 à 500 kc/m (1000 à 600 m.).

Fréquences en kilocycles par seconde	Longueurs d'onde en mètres	STATIONS	PAYS	Puissance en kw antenne maximum		
				actuelle	de jour	de nuit
355	845	Finnmark.	Norvège.	1	10	5
		Rostov-sur-le-Don.	U.R.S.S.	20	20	20
361 ¹	821	Smolensk.	U.R.S.S.	10	10	10
Libre pour la radiogoniométrie.						
392 ¹	765	Ostersund.	Suède.	0,6	10	5
		Slovaquie. ²	Tchécoslovaquie.	0	30	15
401 ¹	748	Genève ³ .	Suisse.	1,3	1,3	0,5
		Moscou. ¹¹¹	U.R.S.S.	100	100	50
413,5 ¹	726	Boden.	Suède.	0,6	10	5
		Voronej.	U.R.S.S.	10	10	10
431 ¹	696	Oulu ⁴ .	Finlande.	2	5	1,5

1) Applicable une heure après le coucher du soleil au lieu de l'émetteur.

2) Devra utiliser une antenne dirigée vers l'est.

3) Sous condition de ne pas gêner les services non ouverts à la correspondance publique.

4) Devra utiliser une antenne dirigée vers le nord. La puissance pourra être augmentée, si l'expérience montre qu'il n'en résulte pas de troubles pour le service maritime.

MULTIPLICATION D'UNE FRÉQUENCE PAR DES NOMBRES FRACTIONNAIRES SIMPLES

par G. LONGO

Ingénieur radio-électricien (E. S. E.)

Nous nous proposons d'exposer le principe d'un procédé pour obtenir, d'une manière stable, des tensions dont les fréquences soient rigoureusement dans des rapports fractionnaires simples avec la fréquence d'une tension donnée.

Soit f la fréquence dont on dispose. Admettons que nous disposions en même temps d'une fréquence f_1 , qui soit avec f dans un rapport fractionnaire convenable : pour fixer les idées, prenons le cas le plus simple en supposant : $f_1 = \frac{2}{3} f$.

Appliquons simultanément les deux tensions, de fréquences f et f_1 , à la grille d'une même lampe, *qui fonctionne en détectrice*.

Le courant de plaque de la lampe contiendra le terme de fréquence $f - f_1 = \frac{1}{3} f$: *isolons convenablement* cette fréquence des autres fréquences qui l'accompagnent et appliquons-la à la grille d'une deuxième lampe qui fonctionne *en doubleuse de fréquence*. On obtiendra ainsi, dans le courant de plaque de cette deuxième lampe, la fréquence $\frac{2}{3} f = f_1$, qui, convenablement isolée, *servira justement à l'excitation de la première lampe*.

Schématiquement, l'ensemble pourra être disposé de la manière suivante (fig. 1) : A_1 est la lampe qui fonctionne en détectrice [on pourra convenablement employer une lampe à grille-écran, l'une des fréquences, par exemple f_1 , étant appliquée à la grille intérieure, et la fréquence f à la grille-écran]; A_2 est la triode qui fonctionne en doubleuse de fréquence. Le circuit oscillant de

plaque de A_1 et le circuit oscillant de grille de A_2 sont accordés sur la fréquence $\frac{1}{3} f$. On peut probablement se limiter à coupler directement entre eux, d'une façon très lâche, les deux circuits; mais si de cette manière on n'éliminait pas suffisamment les autres fréquences, il faudrait coupler les deux circuits par l'intermédiaire d'un troisième circuit accordé, ou par un dispositif analogue. Le

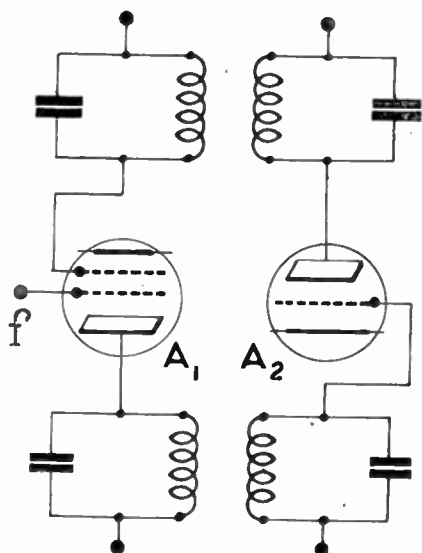


Fig. 1.

circuit oscillant de plaque de A_2 et celui de la grille intérieure de A_1 sont accordés sur la fréquence $\frac{2}{3} f$; le couplage entre les deux circuits est analogue au précédent.

On voit ainsi la possibilité d'établir un système auto-entretenu (ou, si l'on veut, entretenu par l'oscillation de fréquence f), qui donne des oscillations de fréquences $\frac{1}{3} f$ et $\frac{2}{3} f$.

Le système semble devoir être *très stable*, sa stabilité étant comparable à celle d'un doubleur de fréquence; et, en tout cas, bien que, pour des variations notables dans le régime des lampes ou dans les caractéristiques des circuits de couplage, les oscillations puissent s'éteindre, il est facile de reconnaître que, tant qu'elles

existent, leur fréquence est rigoureusement déterminée en fonction de f .

Les amplitudes et les phases des deux tensions données par le système dépendent naturellement des caractéristiques et du régime des lampes, et des caractéristiques des circuits de couplage. On conçoit, en tout cas, la possibilité de régler l'amplitude de ces tensions par le réglage de l'amplitude de la tension d'excitation à fréquence f .

Avec un triplage de la fréquence $f - f_1$ au lieu d'un doublage, on obtiendra, bien entendu, en réglant convenablement les circuits de couplage entre les deux lampes, les deux fréquences $\frac{3}{4} f$ et $\frac{1}{4} f$.

Nous allons maintenant exposer le principe d'un procédé, un peu différent de celui dont on vient de parler, qui permet d'obtenir, dans le cas le plus simple, la demi-somme et la demi-différence de deux fréquences données.

Soient f et f' ces deux fréquences; supposons que nous disposions en même temps de la fréquence $\frac{f' + f}{2}$; comme précédemment, à travers une lampe A_1 , qui fonctionne en détectrice, faisons battre cette fréquence $\frac{f' + f}{2}$ avec la fréquence f ; dans le circuit de plaque de A_1 on aura la fréquence :

$$\frac{f' + f}{2} - f = \frac{f' - f}{2} \text{ (on suppose } f' > f);$$

après l'avoir convenablement filtrée, faisons battre cette fréquence $\frac{f' - f}{2}$ avec f' , à travers une deuxième lampe A_2 semblable à A_1 et qui fonctionne aussi en détectrice; dans le circuit de plaque de A_2 on obtiendra la fréquence :

$$f' - \frac{f' - f}{2} = \frac{f' + f}{2},$$

qui, après filtrage, servira à l'excitation de la lampe A_1 . Le schéma du système pourra donc être tout à fait analogue à celui de la figure 1, seulement la lampe A_2 sera du même type que la lampe A_1 , la grille-écran de A_2 étant excitée à la fréquence f' .

Il est évident que l'on obtiendrait le même résultat si les circuits oscillants entre la plaque de Λ_1 et la grille de Λ_2 étaient accordés sur la fréquence $\frac{f'' + f}{2}$, et les circuits entre la plaque de Λ_2 et la grille de Λ_1 accordés sur la fréquence $\frac{f'' - f}{2}$.

Observons, en particulier, que, si la seule fréquence f est donnée, on peut toujours disposer aussi, par un doublage effectué à part, de la fréquence $2f$: alors le procédé donne les deux fréquences $\frac{3}{2}f$ et $\frac{1}{2}f$. En appliquant une deuxième fois le procédé aux fréquences f et $\frac{1}{2}f$, par exemple, on obtiendrait $\frac{3}{4}f$ et $\frac{1}{4}f$; et ainsi de suite.

Il est facile de voir que, de cette manière, avec un nombre limité de systèmes, chacun de deux lampes (et éventuellement des doublages effectués à part), on peut obtenir une fréquence qui soit, avec la fréquence f , dans un rapport déterminé pratiquement quelconque.

Gustave Longo.



SOCIÉTÉ DES RADIOÉLECTRICIENS

Attribution du Prix de la Société à M. BEAUVAIS.

Dans sa séance du 20 décembre 1933, la Société a décerné son prix à M. Beauvais pour ses « Recherches expérimentales sur la réflexion totale des ondes hertziennes » parues dans les numéros d'avril, mai et juin 1933 de l'*Onde Électrique*.

La séance était présidée par M. Jouaust; il a rappelé tout d'abord les nombreux travaux de M. Beauvais sur les lampes et les amplificateurs, puis il a fait ressortir l'intérêt scientifique de ses nouvelles recherches qui se placent à l'avant-garde des progrès de la radio-électricité, puisqu'elles ont été consacrées au domaine nouveau des ondes les plus courtes que nous sachions produire.

Aux applaudissements de l'assemblée, il lui a remis le prix en lui donnant l'accolade.

Si cette récompense couronne les mérites de l'auteur, la Société peut se féliciter de l'encouragement qu'elle apporte aux chercheurs pour le développement de la contribution française aux études scientifiques de radio-électricité.

Rappelons que le prix, d'une valeur de 5.000 francs, avait été attribué en 1930 à M. Bureau pour ses « Nouvelles recherches sur la propagation des ondes courtes dans l'atmosphère », parues dans les numéros de mars et avril 1930 de l'*Onde Électrique*.

La Société se propose de fonder un nouveau prix, dont l'annonce sera donnée dans l'*Onde Électrique*. Le programme très large des travaux à présenter, restera le même; ils devront se rapporter à la radio-électricité et avoir une réelle valeur scientifique ou technique; ils pourront comporter uniquement des études expérimentales ou d'observations, ou bien, au contraire, être d'ordre purement mathématique.

Séance du 24 janvier 1934

Communication de M. Givélet sur l'« *Orgue électronique* ».

Séance du 21 février 1934

Communication de M. Toulon sur l'« *Application des cellules photoélectriques à la synthèse des sons des instruments de musique* ».

En ouvrant la séance, M. Picault, président, rappelle le deuil qui frappe la Belgique en la personne de S. M. Albert 1^{er}. Il signale l'intérêt que portait au développement de la radiotélégraphie le souverain, qui avait fait installer dans son parc de Laeken l'un des premiers postes puissants à étincelles, destiné à assurer la communication avec le Congo, et propose d'adresser à nos collègues de Belgique, l'expression des condoléances de la Société. Cette proposition est adoptée à l'unanimité.

Liste de nouveaux sociétaires.

MM.

LANDWERLIN Georges, Ingénieur A. et M., « Les Ombrages », avenue La Bruyère, Marly-le-Roi (Seine-et-Oise).

NEUMANN, rue du Fief du Bon Accueil prolongée, Villemomble (Seine).

MULLER André-Emile, Ingénieur Radio E. S. E., 19, avenue Saint-Germain, Bois-Colombes (Seine).

PONT Gérard, Etudiant, 73, rue de la Glacière, Paris (13^e).

DROZ Georges, 144, Boulevard du Montparnasse, Paris (14^e).

ESPINASSE, Ingénieur des P. T. T., 1 bis, avenue Pasteur, Paris (15^e).

LANTHIER René-Léon, Ingénieur E. E. M. I. (École Violet), Vieux-Reng, par Villers-Sire-Nicole (Nord).

MEZEY Nicolas, Ingénieur-électricien (Case Ville 15.219), rue Pépinel, Lausanne (Suisse).

FRANCA Robert, Étudiant pour la Marine. Élève à l'École Centrale de T. S. F., 9, rue Hégésippe-Moreau, Paris (18^e).

LARINIER Benoît, Constructeur Radio, Breveté C. A. M., 27, rue Lécuyer, Aubervilliers (Seine).

POLOSSE Louise-Marcelle, Agent de Laboratoire, 16, au Cros Briançon Sainte-Catherine (Hautes-Alpes).

PAULOUIN Louis, Moulins Saint-Georges, Le Mans (Sarthe).

DE BLAIREVILLE Louis, Électrotechnicien diplômé, 66, rue de la Charrière, La Chaux-de-Fonds (Suisse).

ORY André, Ingénieur des P. T. T., 20, avenue de Wagram, Paris (8^e).

VALLON Louis, Ingénieur, ancien élève de l'École Polytechnique, 73, boulevard Saint-Michel, Paris (5^e).

GIRAUD Jean-Henri-Paul, Commis des Postes et Télégraphes, 20, rue des Herbeaux, Poitiers (Vienne).

MAURICE, Darrell, Agresti, Ingénieur Radio E. S. E., 296, Winchester House, London E. C. 2 (Angleterre).

FEDERSPIEL, Jean, Ingénieur, 35, rue Edgar-Quinet, Malakoff (Seine).

SCHWARTZ, Jean, Ingénieur, 20, avenue Victoria, Paris (1^{er}).

HANFF, Arnold, Ingénieur en chef des P. T. T., Villa Montmorency, 30, avenue des Tilleuls, Paris (16^e).

SUBRA, Jacques-Jérôme-Henri, Ingénieur des P. T. T., 20, rue du Laos, Paris (15^e).

ROELS, Marc-Achille, Ingénieur des constructions civiles, 25, rue de la Station, Beveren-Waes (Belgique).

CADELL, Colin, Officier d'aviation, Foxhall Kirhliston, Edimbourg (Ecosse).

CAMERINI, Pierre, Ingénieur E. E. S., 12, rue du Château, Asnières (Seine).

AGUILLON, Lucien, Ingénieur en chef des P. T. T., Direction du Service des Lignes souterraines à grande distance, 16, rue de la Procession, Paris (15^e).

ZELBSZTEJN, Urjasz, Ingénieur Radio de l'Université de Bordeaux, 5, rue Fizeau, Paris (15^e).

TOURNEUR, Euloge, Chef du centre émetteur radio-colonial, 45, rue du Haut-de-l'Hermitage, Pontoise (Seine-et-Oise).
