

DISPOSITIF D'ÉTUDE DE POLARISATION PAR DIFFRACTION DES ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES CENTIMÉTRIQUES

Par Mme A. MEVEL et J. MEVEL,

Faculté des Sciences de Rennes.

Résumé. — Les auteurs ont construit un appareil semi-automatique qui permet de déterminer l'état de polarisation d'une onde diffractée se propageant dans l'espace libre. Le principe est celui de l'analyseur tournant, la détermination des axes de l'ellipse de polarisation s'effectue à l'aide d'une présentation oscillographique. Après avoir calculé la forme des courbes correspondant aux diverses valeurs de l'ellipticité, on indique le schéma de fonctionnement de l'appareil, puis on décrit, avec plus de détails, les divers éléments originaux qui le constituent. On présente enfin un enregistrement d'oscillogramme obtenu à l'aide de ce dispositif.

Abstract. — A semi-automatic apparatus for measuring polarization of scattered waves in free space was constructed. It is a rotating analyser which permits determination of polarization ellipses by means of an oscillograph. We compute the curves corresponding to various values of ellipticity, then we show the block diagram of the apparatus. We describe in detail the various original components of the system and give a sample of the oscillographic patterns obtained.

Introduction. — L'appareillage que nous allons décrire est destiné à compléter un dispositif d'étude de la diffraction des ondes centimétriques déjà réalisé et publié par l'un de nous [2]. Rappelons que ce montage (fig. 1) comprend un système émet-

teur créant le champ d'ondes planes polarisées rectilignement où l'on dispose les corps diffringents et un système récepteur permettant de mesurer l'intensité et la phase de la radiation présente en tout point du champ.

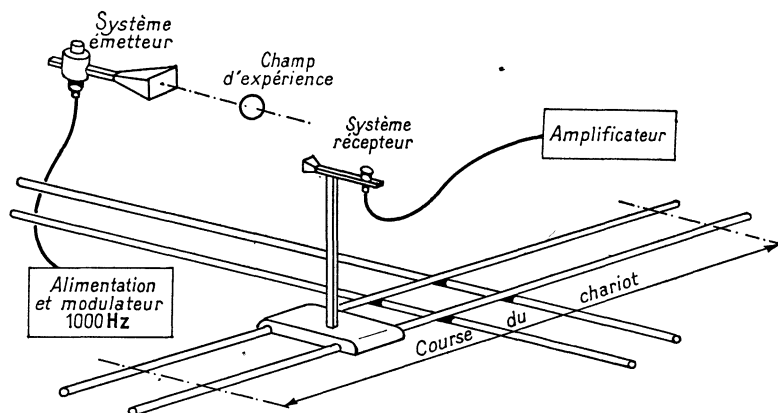


FIG. 1. — Principe d'un appareillage d'étude de la diffraction des ondes centimétriques.

Mais intensité et phase ne caractérisent pas complètement une onde électromagnétique, il est de plus nécessaire de définir son état de polarisation. L'objet de cet article est de décrire un dispositif semi-automatique qui permet de déterminer rapidement l'orientation et la grandeur des axes de l'ellipse caractérisant la polarisation. Quelques études ont déjà été effectuées à ce sujet, citons les travaux de BOHNERT [1] sur les antennes pour ondes elliptiques.

Principe de la méthode. — Rappelons qu'en optique, deux procédés principaux sont utilisés

pour déterminer les ellipses de polarisation : la méthode du maximum et celle de l'analyseur à pénombre. La première consiste à suivre les variations d'éclairement au cours d'une rotation complète d'un nicol analyseur, la seconde, à rétablir l'égalité d'éclairement de deux plages correspondant à la radiation incidente que l'on a fait tourner symétriquement par rapport au plan de l'analyseur.

L'analogie hertzien de l'analyseur à pénombre est l'appareil à deux sondes utilisé par de nombreux auteurs [3]. Très commode pour l'étude des phénomènes qui se passent dans des guides circulaires, ce

dispositif s'adapte mal aux recherches de diffraction du fait de son encombrement et de la nécessité de le munir d'un cercle gradué que l'on doit tourner à la main et qu'il est difficile de ne pas placer dans le champ d'expériences.

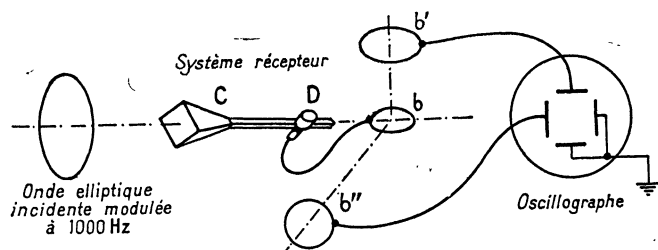


FIG. 2. — Principe de l'analyseur tournant.

Nous avons fixé notre choix sur l'analyseur tournant. L'inconvénient de ce procédé est le manque de précision des pointés angulaires, nous y avons remédié en remplaçant le repérage des extrema par l'estimation de la symétrie du dia-

gramme polaire d'intensités reçues par l'analyseur tournant, au cours de sa rotation. La précision

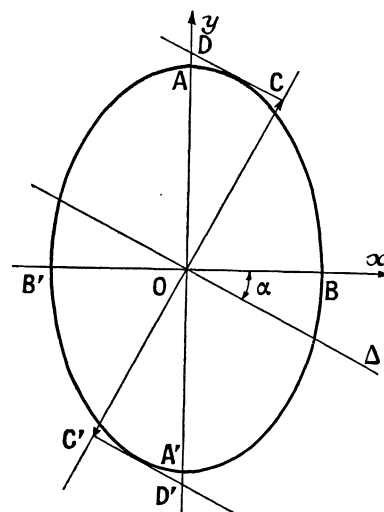


FIG. 3. — Calcul de l'intensité reçue par l'analyseur.

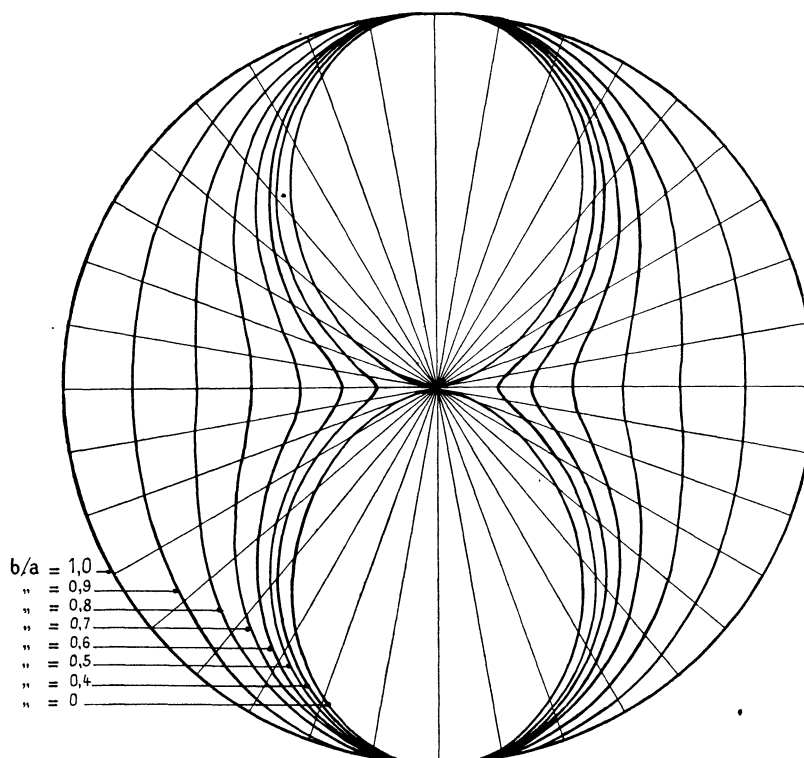


FIG. 4. — Intensité reçue par le cornet en fonction de l'ellipticité (graduation par 10°).

atteint alors, pour une radiation rectiligne, environ le demi-degré. Comme c'est aussi l'ordre de grandeur des erreurs du dispositif électromécanique associé à l'appareil, nous n'avons pas cherché à l'améliorer.

Le principe de la présentation du diagramme polaire sur écran oscillographique est le suivant (fig. 2) : Le cornet C transmet au détecteur D l'énergie hyperfréquence qu'il capte. Mais le guide rectangulaire qui lui est associé ne transmet, dans

les conditions d'emploi, que les ondes polarisées rectilignement dont le champ électrique est parallèle au petit côté du guide. L'ensemble constitue donc un analyseur. Une bobine plate b reliée invariablement au guide, reçoit le courant détecté. Elle tourne en face des deux bobines fixes b' , b'' , rectangulaires entre elles et avec l'axe du cornet. Ces deux dernières sont connectées aux deux paires de plaques d'un oscillographe cathodique.

Le champ à haute fréquence produit par le système émetteur, est modulé à 1 000 Hz par des signaux rectangulaires [2]. En conséquence, la tension apparaissant aux bornes du cristal détecteur est formée de crêteaux dont les composantes alternatives sont transmises par les bobines. A chaque instant, les tensions apparaissant aux bornes de b' et b'' seront proportionnelles aux composantes horizontales et verticales de l'intensité

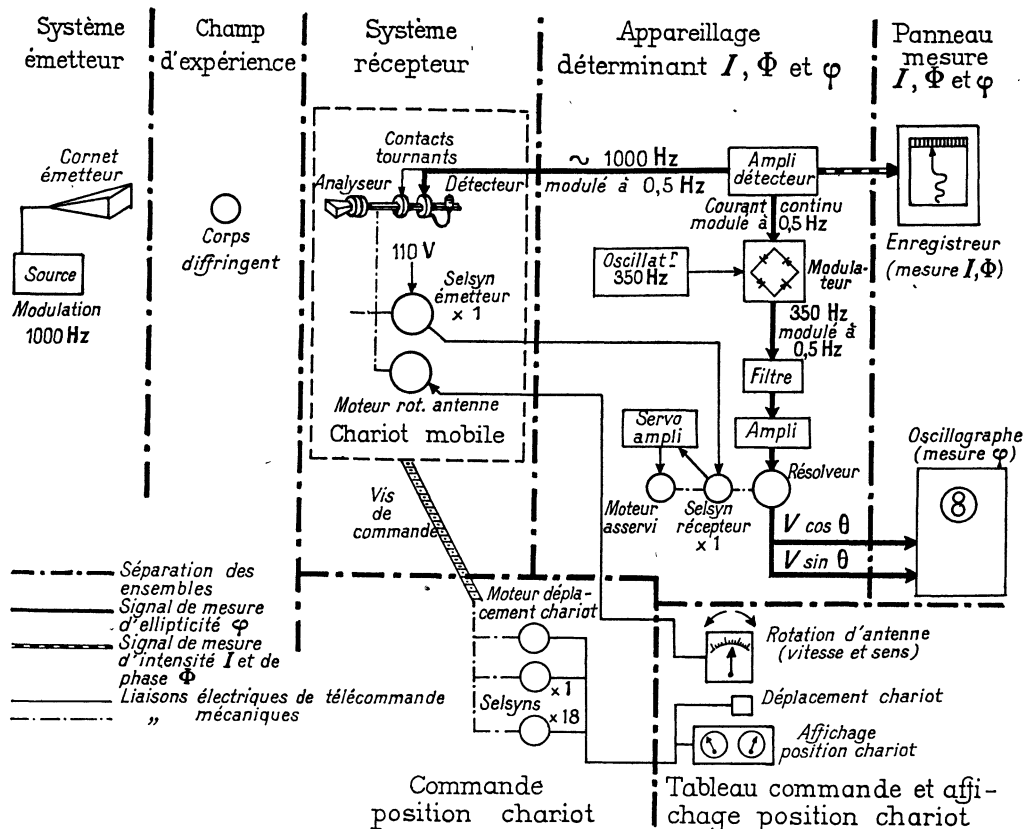


FIG. 5. — Dispositif pour la mesure d'ellipticité de la radiation diffractée.

recueillie par le cornet. Le mouvement du spot sur l'écran sera donc une sinusoïde, qui balaye une aire, dont la frontière représente le diagramme des intensités reçues par le cornet au cours de sa rotation. Comme cette sinusoïde a une fréquence bien supérieure à celle du balayage (2 000 fois environ), l'impression produite sera celle d'une surface continue limitée par une courbe nette (fig. 14).

Relevés oscillographiques correspondant aux diverses ellipticités des radiations. — Une vibration elliptique est caractérisée par la direction des axes de l'ellipse et par leur rapport appelé « ellipticité ».

Supposons — ce qui ne diminue pas la généralité — que le grand axe de l'ellipse soit vertical (fig. 3). Représentons la position du cornet par la trace CC'

sur le plan de l'ellipse de la perpendiculaire au grand côté du guide — c'est-à-dire du vecteur champ électrique qui est reçu par le cornet. L'amplitude de la vibration détectée est, comme on le sait, représentée par la projection de l'ellipse de polarisation sur la trace de l'analyseur.

Soit Δ la perpendiculaire à CC' de coefficient angulaire $m = \tan \alpha$. Les tangentes DC , $D'C'$, à l'ellipse, parallèles à Δ sont représentées par l'équation globale :

$$y = mx \pm \sqrt{b^2 m^2 + a^2}.$$

On en déduit que

$$DD' = 2 \sqrt{b^2 m^2 + a^2}$$

l'amplitude reçue par l'analyseur est alors :

$$CC' = DD' \cos \alpha = 2 \sqrt{b^2 \sin^2 \alpha + a^2 \cos^2 \alpha}$$

ce qui donne pour l'intensité (le détecteur étant quadratique)

$$I = 4(b^2 \sin^2 \alpha + a^2 \cos^2 \alpha).$$

La figure 4 représente la répartition d'intensité pour diverses valeurs de l'ellipticité, le grand axe étant supposé vertical. On constate que la position des axes est très bien définie par les minima correspondant à la direction 0° lorsque $e \leq 0,8$. Ensuite la précision diminue beaucoup. Ceci est vrai quel que soit le procédé d'analyse utilisé (y compris le système à pénombre).

Réalisation du dispositif (fig. 1 et 5). — Pour faciliter la compréhension, les divers éléments ont été groupés en 6 ensembles. En fait, dans le montage réel, les divers groupes s'interpénètrent plus ou moins.

1. **SYSTÈME ÉMETTEUR.** — La source est un klystron QK 291 (fréquence 30 000 MHz, puissance 40 milliwatts). Une tension en créneaux à 1 000 Hz la module à 100 %. Un système de guides et d'éléments de mesure transmet l'énergie du klystron au cornet émetteur qui la rayonne.

2. **CHAMP D'EXPÉRIENCES.** — A 40 centimètres environ en avant du cornet émetteur, le champ obtenu est plan et uniforme dans une région circulaire d'environ 25 cm de diamètre, centrée sur l'axe du système. C'est dans cet espace que l'on dispose les corps diffringents à étudier.

3. **SYSTÈME RÉCEPTEUR.** — Le cornet récepteur est monté sur un chariot qui se déplace sur des glissières rectilignes, placées de manière que la course du cornet soit une droite horizontale perpendiculaire à l'axe du système et le coupant. L'énergie captée par le cornet est dirigée par guides sur un détecteur. La tension continue produite (modulée à 1 000 Hz et surmodulée à 0,5 Hz par la rotation de l'analyseur) est transmise par contacts tournants à l'appareillage de mesure de l'intensité I , de la phase Φ , et de la polarisation φ .

De plus, un selsyn introduit à chaque instant dans le même système la position angulaire du cornet que fait tourner un moteur diphasé.

4 et 5. **APPAREILLAGE DÉTERMINANT I , Φ ET φ ET PANNEAU DE MESURE.** — Ce dispositif comprend deux voies correspondant à la détermination de I , et Φ d'une part, de φ d'autre part.

a) *Appareillage commun aux deux voies.* — L'énergie provenant du système récepteur est transmise à un amplificateur à bande étroite (15 Hz à 3 dB) centrée sur 1 000 Hz, puis détectée. A la sortie de ce dernier, on recueille un signal continu, modulé à 0,5 Hz, variable de 0 à 0,1 volt.

b) *Voie I , Φ .* — Pour déterminer I et Φ , on laisse le cornet immobile et l'on mesure ou enregistre la tension provenant de l'amplificateur [2], ou la tension d'interférence avec un signal de phase connue (Φ). Nous renvoyons pour tous détails à la référence [2].

c) *Voie φ .* — Pour déterminer l'état de polarisation, on fait tourner le cornet et l'on transmet le signal continu sortant de l'amplificateur à un modulateur en anneau. Ce dernier fournit une différence de potentiel alternative de fréquence 350 Hz proportionnelle à la tension continue d'entrée. Après filtrage et amplification, ce signal alternatif est envoyé dans la bobine fixe d'un résolveur dont les bobines mobiles rectangulaires sont reliées aux deux paires de plaques d'un oscillographe cathodique. Sur l'écran à longue rémanence, on voit se dessiner la courbe de polarisation.

Le synchronisme entre les rotations du cornet et du résolveur est obtenu à l'aide d'un servomoteur que nous décrirons plus loin.

6. **COMMANDES DE POSITION DU CHARIOT.** — Le déplacement du chariot est commandé à partir d'un pupitre situé en dehors du champ d'expériences. Une télé-indication par selsyn permet de repérer à tout instant la position du cornet le long de sa trajectoire. De cette manière, on peut effectuer commodément tous les réglages sans jamais risquer de perturber le champ d'expériences.

Description des éléments principaux du système.

— 1. **ANALYSEUR TOURNANT.** — Il est constitué (fig. 6) par un petit cornet relié par guides à une

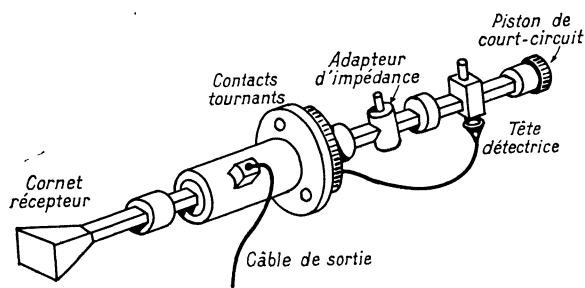


FIG. 6. — Analyseur tournant.

tête détectrice. Un adaptateur d'impédances et un piston de court-circuit de conception classique complètent le dispositif.

L'un des guides intermédiaires de l'analyseur (fig. 7) est monté à l'intérieur de roulements à billes, ce qui permet de faire tourner l'appareil autour de son axe. Ce guide porte également un engrenage d'entraînement et deux bagues dont l'une est reliée à la masse et l'autre isolée. La sortie du détecteur est connectée à ce système de bagues,

deux frotteurs fixes permettent de transmettre les tensions détectées à l'amplificateur.

La matière des contacts a une grande influence sur la tension de bruit qui y apparaît. C'est pour-

quoi nous avons fabriqué les bagues en bronze recouvert d'argent par brasure, les balais sont formés de lames en bronze au béryllium portant des masselottes d'argent, si bien que le contact s'effec-

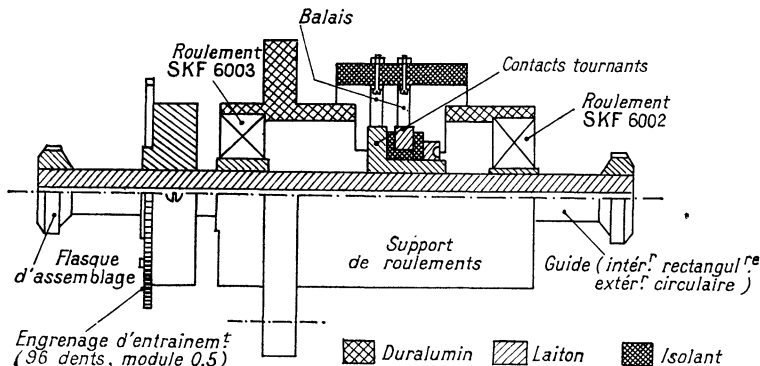


FIG. 7. — Dispositif d'entraînement de l'analyseur tournant.

tue argent sur argent. Dans ces conditions la tension de souffle qui y prend naissance est négligeable.

2. MODULATEUR EN ANNEAU. — La tension continue modulée à 0,5 Hz qui apparaît à la sortie de l'amplificateur détecteur doit être transformée en un signal alternatif pour être transmise par le résolveur. De plus, il est intéressant que le rapport des deux tensions soit constant (modulation linéaire). Comme la fréquence porteuse est basse (350 Hz), on peut utiliser le modulateur en anneau basé sur la variation de résistance d'une diode au germanium en fonction de la tension continue qui

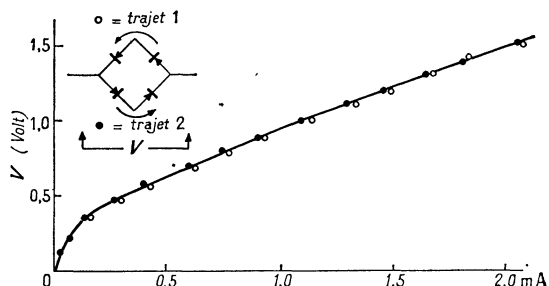


FIG. 8. — Caractéristiques statiques des diodes modulatrices.

lui est appliquée (fig. 8). Constituons avec quatre diodes identiques un circuit en pont (fig. 9) : les transformateurs utilisés ont un rapport unité et les points milieux sont supposés parfaitement équilibrés.

Si les points A et B sont au même potentiel, continu, le circuit constitue un pont de Wheatstone équilibré, aucune tension n'apparaît au transformateur de sortie.

Si nous appliquons une différence de potentiel continue entre A et B, le courant passe dans les enroulements des transformateurs et atteint les

diodes. Deux d'entre elles sont parcourues dans le sens conducteur, les deux autres en sens inverse. Il en résulte que la résistance des deux premières décroît, tandis que celle des deux autres croît. Le pont est alors déséquilibré et une tension apparaît à la sortie. Une inversion du sens de la différence de potentiel entre A et B produit un déphasage de π à la sortie.

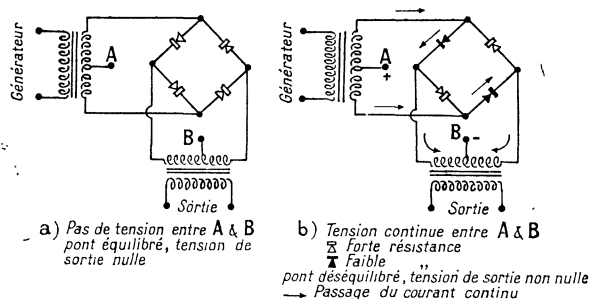


FIG. 9. — Principe du modulateur en anneau.

La linéarité du montage pour les faibles signaux est illustrée par la figure 10 qui représente le gain de conversion du système pour diverses valeurs de la tension alternative d'entrée.

Le dispositif réel est représenté figure 11, avec les portions intéressantes des étages de sortie de l'amplificateur détecteur. On voit que l'entrée du modulateur en anneau s'effectue à l'aide d'une cathode suiveuse différentielle fournissant le signal continu sous basse impédance et permettant d'équilibrer le montage.

La sortie du modulateur est reliée à un filtre passe-bas de fréquence de coupure 400 Hz, qui élimine les harmoniques pouvant résulter de la modulation. La tension sinusoïdale obtenue est amplifiée par un dispositif à gain constant et transmise au résolveur.

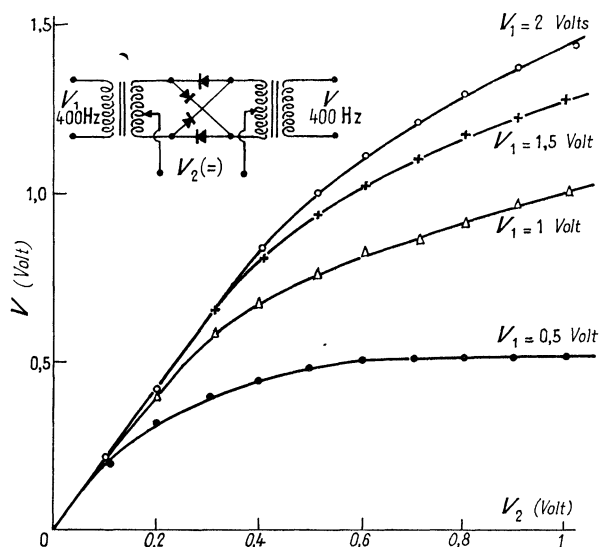


FIG. 10. — Caractéristiques de conversion du modulateur.

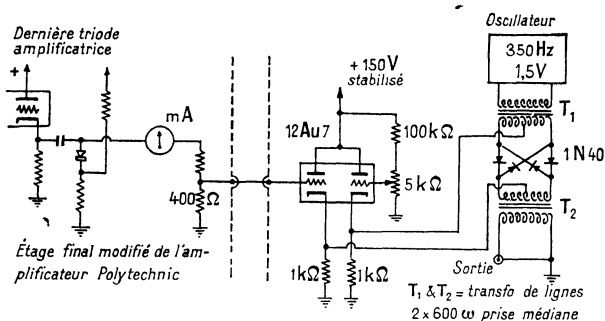


FIG. 11. — Modulateur en anneau.

3. SERVOMÉCANISMES DE ROTATION DU RÉSOLVÉUR. — La rotation d'antenne (fig. 12) est effectuée par un moteur diphasé spécial, dont la vitesse est à peu près proportionnelle aux tensions appliquées. Un potentiomètre permet de la faire varier, et même de l'inverser, cette disposition s'est avérée très commode pour les mesures.

L'engrenage fixé au cornet tournant entraîne, avec un rapport unité, un selsyn émetteur dont les enroulements fixes sont connectés à ceux d'un selsyn récepteur. Ce dernier est relié au rotor du résolveur par des engrenages de rapport 1. Quand les bobines mobiles des deux selsyns sont parallèles, aucune tension n'apparaît aux bornes du rotor du récepteur, si elles font un angle, il apparaît une différence de potentiel dont la grandeur et la phase sont fonction de la grandeur et du sens du décalage.

Ce signal d'erreur est introduit dans un amplificateur dont la sortie est connectée à un moteur diphasé identique à celui qui assure la rotation d'antenne. Le sens des connexions est tel que le signal d'erreur tende à s'annuler. Il en résulte que les axes restent toujours parallèles.

La conception de l'amplificateur relève d'une technique classique (fig. 13). Le filtre situé à l'entrée sert à la stabilisation.

4. AFFICHAGE ET COMMANDE DE LA POSITION DU CHARIOT. — Pour les études de diffraction, il est nécessaire de connaître avec précision la position du chariot le long de sa trajectoire et de pouvoir le guider sans entrer dans le champ d'expériences.

Son déplacement est commandé (fig. 5) par une vis reliée, par des réducteurs de vitesse, à un moteur synchrone que l'on peut faire tourner dans l'un ou

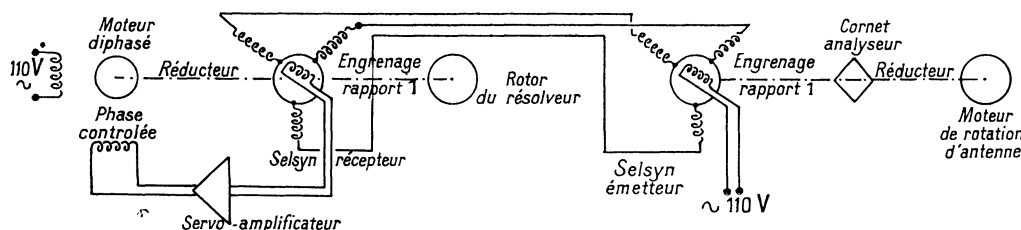


FIG. 12. — Servomécanisme d'entraînement du résolveur.

l'autre sens. Comme nous l'avons montré ailleurs [2], le moteur synchrone permet de rendre, par l'intermédiaire du paramètre temps, les déplacements du papier d'un enregistreur proportionnels à la course du chariot.

L'affichage s'effectue par un système de selsyns. Comme ces appareils sont d'une précision limitée, nous utilisons l'artifice du procédé accrochage-précision, qui consiste à employer deux selsyns

dont l'un fait un tour complet pour la course totale du chariot, et le second 18 tours pour ce même déplacement. Nous n'insistons pas sur les détails de réalisation du procédé qui est classique.

Conclusion. — Nous présentons un oscillogramme (fig. 14) enregistré sur un seul balayage et relatif à l'analyse d'une vibration incidente rectiligne. Dans la pratique, comme nous utilisons un

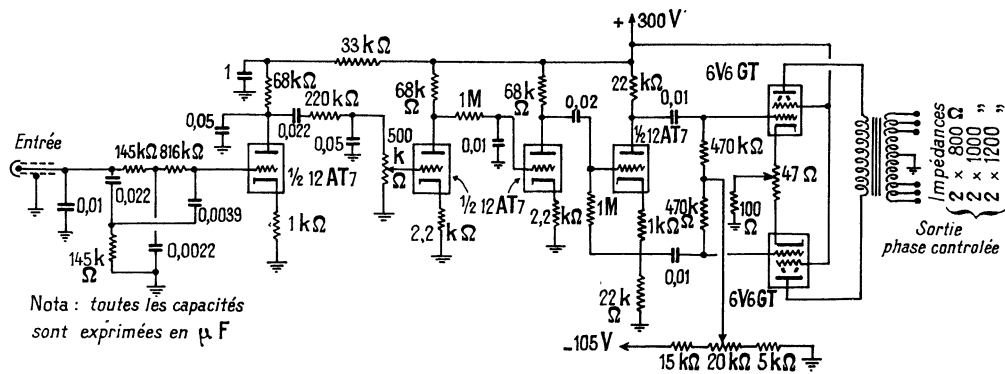


FIG. 13. — Servo-amplificateur.

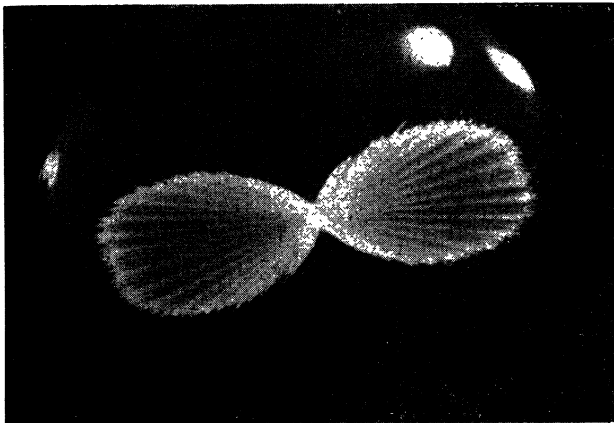


FIG. 14. — Analyse d'une vibration rectiligne.

écran à très longue rémanence (écran à double couche type P7 muni d'un filtre jaune), la figure reste visible pendant une durée de plus de 20 secondes, ce qui permet d'éliminer statistiquement toute trace de souffle.

L'appareil est destiné à des études de diffraction par des corps doués de pouvoir rotatoire, études qui feront l'objet de publications ultérieures.

Manuscrit reçu le 7 juillet 1958.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] BOHNERT (J. I.), « Measurements on elliptically polarized antennas. » *Proc. Inst. Radio Engrs*, 1951, **39**, 549.
- [2] MEVEL (J.), « Un dispositif pour l'étude expérimentale de la diffraction des ondes centimétriques. » *J. Physique Rad.*, 1957, **18**, 45 A.
- [3] SOUTIF-GUICHARD, *C. R. Acad. Sc.*, 1950, **231**, 1460.