

électronique Industrielle

300 Fr.

JUILLET-AOÛT 1955

N° 3

Technical Journal

RCA REVIEW

Proceedings OF THE IRE

Electronic Engineering

ERICSSON Review

Journal of The Franklin Institute

BRITISH INSTITUTION RADIO ENGINEERS

industrial laboratories

ELETRONICA

FUNK-Technik Fernsehen Elektronik

radio mentor

Electronics Digest

Electronica

das elektron

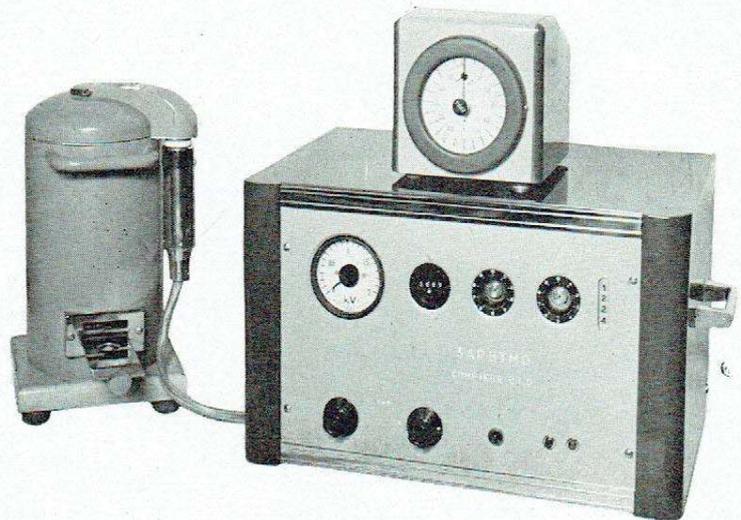
RADIO-ELECTRONICS

TELE-TEC & Electronic Indus

DANS CE NUMÉRO :

- Exposition de Physique
- Cellules photo-électriques
- Détecteurs de métaux (fin)
- Fabrication des tubes électroniques
- Les Stabilisateurs de tension alternative
- Viscosimètre à ultrasons
- Potentiomètre asservi (Suite et fin)
- Amplificateurs magnétiques (Troisième partie)
- Revue de la Presse

A la 52^e EXPOSITION DE PHYSIQUE



Compteur à décades **Saphymo** pour les mesures de radio-activité

Cette année, comme tous les ans, la Sorbonne a abrité l'Exposition de Physique, dont nous regrettons seulement qu'elle soit si peu connue : nous sommes persuadés qu'il y a une foule d'ingénieurs, de techniciens, d'industriels, qui seraient prodigieusement intéressés par ce que l'on peut y voir et qui ignorent même l'existence de cette manifestation. Cette dernière est remarquable en ce sens que chaque exposant est tenu de présenter au moins une nouveauté. En outre, elle a des heures d'ouverture très pratiques, dont le Salon de la Pièce Détachée devrait bien s'inspirer...

Comme plus de 75 % des appareils de physique présentés à l'Exposition sont électroniques, nous serons amenés à décrire presque tout ce que nous avons vu, et nous devrons adopter un ordre de présentation.

Nous commencerons donc par ce qu'il y a d'intéressant dans le domaine des appareils de mesure de tension et intensité, en examinant les systèmes à cadre mobile (il ne s'agit pas alors d'électronique, mais ces appareils sont le complément indispensable des ensembles électroniques).

Nous passerons de là aux ensembles de mesure de fréquence, donc aux divers générateurs qui en sont les compléments ; ensuite nous aborderons le chapitre des oscilloscopes, puis des engins destinés à la mesure des températures, de la lumière et des rayonnements radioactifs ou X.

Après un tour d'horizon des instruments de contrôle industriel, nous analyserons quelques développements de la technique des semi-conducteurs, puis nous donnerons quelques détails sur les pièces détachées d'un emploi intéressant.

Les appareils de mesure sans partie électronique

Dans ce domaine, la tendance est à la tropicalisation : c'est ainsi que nous avons beaucoup apprécié la boîte de contrôle de Guerpillon, du type contrôleur universel à 30 sensibilités, et qui possède un joint hermétique la protégeant des intempéries quand elle est fermée.

La résistance des appareils aux chocs est considérablement augmentée : c'est chez Sefram que nous avons pu admirer les galvanomètres antivibratoires (brevets Schlumberger-Picard), le modèle classique déviant de 100 mm par μA . Il en existe même des modèles dits « oscillographiques » en raison de leurs grandes fréquences de résonance (10 à 60 Hz) et prévus pour être montés à bord de véhicules tels qu'autos ou avions. Voici qui va intéresser ceux qui craignent de mettre un

microampèremètre sensible sur une machine sujette à des vibrations énergiques.

Citons ici, puisqu'il s'agit du même constructeur, le « suiveur de spot ». Il s'agit d'un ensemble comportant un petit chariot, une cellule photoélectrique à sensibilité différentielle et un servomécanisme robuste et simple qui maintient toujours le chariot en coïncidence avec le spot lumineux d'un appareil convertissant celui-ci en enregistreur à réponse rapide (500 mm/s) susceptible de fonctionner même dans une salle fortement éclairée.

Dérivant directement des appareils à cadre, citons les relais ultra-sensibles de Brion Leroux et ceux de Le Bœuf. Ce dernier constructeur présente un modèle dit « balance voltométrique » qui permet de stabiliser une tension en comparant celle-ci à un étalon à travers les relais, les contacts de ce dernier agissant sur un système adéquat de variation de tension.

A notre point de vue, le « clou » des appareils à cadre était le grand enregistreur de La Pyrométrie Industrielle. A première vue, il s'agit d'un enregistreur à servomécanisme classique, quoique soigné (la photographie page 80 donne une idée de la réalisation intérieure). Mais, en le regardant de près, on s'aperçoit que cet appareil comporte de nombreux perfectionnements : d'abord, les éléments de l'amplificateur de servomécanisme sont en double, et on peut passer de l'un à l'autre en cas de panne.



Le « Servotherm » des Laboratoires de Physique Appliquée est un régulateur de température à amplification magnétique.

De plus, dès que l'appareil est mis en route, l'œil est attiré par une gigantesque indication défilante qui apparaît sur le papier du diagramme utilisé comme écran de projection : on voit au centre du papier un chiffre repérant le numéro de la voie mesurée (l'enregistreur a 6 voies), et, en face d'un repère, l'indication projetée de la grandeur que le marqueur va inscrire. Cet enregistreur cumule les fonctions d'un traceur de diagramme classique et d'un appareil lisible à grande distance ; combien d'industriels vont apprécier ce perfectionnement !

Chez Philips industrie nous avons vu une série d'enregistreurs à servomécanismes classiques de belle réalisation, ainsi qu'un appareil réciproque d'un enregistreur : un réalisateur de programme. Il s'agit d'un tambour tournant à vitesse uniforme sur lequel on a appliqué un fil conducteur suivant une certaine courbe choisie arbitrairement à l'avance ; le fil touche un point d'une résistance potentiométrique parallèle aux génératrices du cylindre. Lorsque ce dernier tourne, la variation du potentiel du fil suit une loi préchoisie à laquelle on peut faire correspondre la variation d'une grandeur déterminée, comme la commande de la température d'un four.

L'avantage de ce système sur les méthodes classiques utilisant une came est qu'il permet des variations brusques dans les deux sens.

Pour terminer cette brève revue des appareils à cadre ou assimilés, saluons l'apparition chez Brion Leroux d'un voltmètre pour secteur alternatif dans lequel les 2/3 de l'échelle sont occupés par les valeurs comprises entre 115 et 130 V : cet instrument va enfin nous permettre de connaître les fantaisies du secteur dont la tension est censée être de 117 V.

Voltmètres électroniques

Cet appareil envahit le contrôle industriel : il n'y a plus un seul utilisateur qui considère la mesure d'une tension issue d'une source dont l'impédance se chiffre en centaines ou milliers de mégohms comme une opération délicate.

L'appareil qui nous semble le plus intéressant dans le domaine des tensions continues est le polymesureur de Lemouzy dont le dynamique inventeur, M. Poullain, nous donne maintenant des versions spécialisées pour une fonction donnée.

Rappelons que le principe de base de cet appareil consiste à utiliser un convertisseur d'impédance tripôle (quadripôle ayant une borne d'entrée réunie à une des bornes de sortie) dont l'impédance d'entrée dépasse $10^{10} \Omega$ et dont l'impédance de sortie est prati-

quement nulle. L'emploi judicieux de ce triplot permet de réaliser des mesures d'intensités avec une faible chute de tension, des mesures de résistances très élevées, des intégrations, des mesures de capacité, etc...

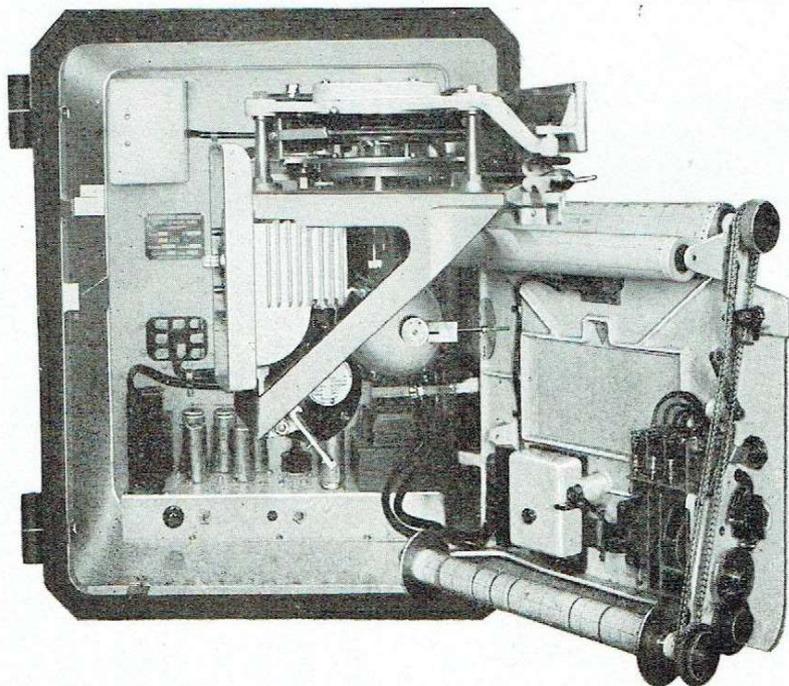
Les appareils spécialisés présentés par **Le-mouzy** sont des versions simplifiées du Polymesureur, se limitant à une des fonctions de celui-ci : nous avons noté par exemple un voltmètre mesurant de 50 mV à 200 V directement (jusqu'à 50 kV avec un réducteur capacitif sans consommation) ; un pico-ampèremètre mesurant de 100 pA à 1 A, et des appareils de mesure de résistance d'isolement qui permettent de mesurer des résistances de plusieurs centaines de millions de mégohms avec une tension continue inférieure à 10 V.

Chez **Larex**, le V.E. (voltmètre électronique) est utilisé pour mesurer les charges ioniques spatiales si importantes pour notre santé.

Chez **Biolyon**, les V.E. sont spécialisés dans les mesures chimiques (cette maison fabrique elle-même ses électrodes de pH-mètre). Nous y avons admiré surtout un modèle de petite taille, permettant la mesure successive sur le même appareil, par commutation, du pH d'une solution et de son potentiel d'oxydo-réduction, appelé aussi rH. Sur cet appareil, on peut utiliser une « bande étalée » pour la lecture du pH à 1/100 d'unité près (soit à 0,6 mV près !), cela en n'importe quel point de la gamme grâce à l'emploi d'un « décaleur d'origine ». Indiquons aussi que cette même maison fabrique des tampons de pH garantis à mieux que 1/100 d'unité et stables dans le temps, notamment un tampon à pH 7,00 et un autre à pH 4,63 ; bonne nouvelle pour ceux qui on des doutes quant à l'étalonnage de leur pH-mètre.

Un voltmètre électronique à modulateur (condensateur vibrant) était présenté par **Bruel & Kjaer** : c'est l'appareil de la firme anglaise « Electronic Instruments » qui peut mesurer de 10 mV à 1V avec une résistance d'entrée pouvant atteindre $10^{10} \Omega$, ce qui bat pratiquement tous les records.

Egalement chez **Tacussel** se trouvait une gamme d'intéressants V.E., spécialisés dans les mesures physico-chimiques.



L'enregistreur à six voies de la **Pyrométrie Industrielle** possède une fenêtre à travers laquelle est projetée sur la bande une échelle défilante visible de loin ainsi que l'indication du canal considéré.

Mesures de fréquences

Commençons par les fréquences absolues, c'est-à-dire par les appareils qui mesurent la fréquence au sens strict : ils comptent les périodes en une seconde.

C'est au stand **Rochar** que nous avons vu le second « clou » de l'exposition, un appareil qui nous a enchanté, car il replace les réalisations françaises au premier plan des appareils internationaux : il s'agit du fréquencesmètre 25 MHz type A 561.

Comme tous les fréquencesmètres de ce constructeur, il comporte un interrupteur électronique mettant la tension dont on veut mesurer la fréquence en communication avec un ensemble de comptage à décades pendant une seconde exactement. Mais il s'agit ici de fréquences qui peuvent atteindre 25 MHz (un modèle 100 MHz est en préparation) ; or les décades pratiques sont en général limitées à une cadence de comptage de 1 MHz. On pourrait aller plus loin, mais ce serait alors extrêmement complexe.

Aussi le A 561 comporte-t-il un système de battement qui, sélectionnant les harmoniques d'un quartz de 1 MHz, ramène la fréquence à mesurer à une valeur inférieure à 1 MHz.

Mais — et c'est là que l'appareil se révèle sensationnel — l'utilisateur n'a pas à choisir lui-même l'harmonique en question : tout est automatique ; un ensemble de circuits annexes provoque la rotation d'un commutateur du type « pas à pas », ce qui supprime toute ambiguïté de lecture (on pourrait, sans ce dispositif, faire battre du 14 MHz avec du 13 875 kHz, et obtenir du 125 kHz, en conclure que la fréquence est de 14 125 kHz).

Le nombre de mégahertz est affiché derrière un voyant et les six autres chiffres, résultant du comptage, sont lus sur les tubes à néon des décades, de telle sorte qu'il suffit d'appliquer à l'entrée de l'appareil (entrée 1 M Ω , 40 pF ou sur coaxial 50, 75 ou 100 Ω) une tension alternative de forme quelconque, dont la tension est comprise entre 0,02 V et 5 V, et tout le système se met en route, indi-



Le Sonomètre 1555-A de **General Radio**, importé par **Radiophon**, est alimenté par piles et mesure les bruits de 40 à 8 000 Hz entre 40 — et 136 dB, à ± 1 dB. —

quant au bout de six secondes au plus la fréquence de la tension en périodes par seconde, par un nombre compris entre 0 et 24 999 999.

Tout cela dans un ensemble qui ne mesure que 48x53x40 cm : c'est un joli tour de force qui a été réalisé là.

Les fréquencesmètres de **Rochar** peuvent aussi être utilisés en périodemètres ; cette fois, il ne s'agit plus de compter les périodes d'une tension de fréquence inconnue pendant une seconde, mais de compter le nombre d'impulsions à fréquence connue qui passent dans un interrupteur électronique pendant l'intervalle de temps inconnu séparant deux signaux. Le dernier modèle va permettre de faire cette mesure à 0,04 μ s près.

Une application très spectaculaire des périodemètres était donnée dans ce stand par une mesure de **g** (accélération de la pesanteur). Une bille était suspendue en haut d'une règle de 1 m exactement par un électroaimant ; en coupant le courant dans ce dernier, on provoque la chute de la bille et le début du comptage. L'arrivée de la bille en bas de la règle, sur un contact, provoque l'arrêt du comptage. On peut ainsi connaître en centièmes de milliseconde la durée de la chute, et en déduire la valeur de **g**.

L'utilisation des compteurs pour la mesure des fréquences et, par application immédiate, des vitesses, est fort intéressante. Nous en avons vu une autre démonstration réalisée à titre de manipulation par le **Conservatoire des Arts & Métiers**. Nous la citons pour dire à quel point nous avons apprécié cet enseignement vivant de l'électronique appliquée dans cet Etablissement.

Un autre type de mesure de fréquence était présenté par le **C.N.R.S.** : il s'agit du stroboscope musical. Imaginez un tambour qui porte des successions de pistes sur lesquelles sont tracées des plages noires alternant avec des plages blanches, ce tambour étant entraîné

par un moteur synchrone et éclairé par la lumière d'une lampe à néon excitée par la tension de sortie d'un amplificateur. A l'entrée de celui-ci se trouve un microphone.

Si la période du son émis devant le microphone est égale au temps que met une plage blanche à succéder à une autre sur une des pistes du tambour, cette piste paraît immobile. La piste paraissant immobile correspond à la fréquence du son émis devant le microphone.

Fréquencemètres plus classiques

L'amplificateur sélectif présenté par A.O.I.P. servait à mesurer la vitesse de rotation d'un axe; en fixant sur cet axe un alternateur et en cherchant le réglage de l'amplificateur qui correspond au maximum de gain, on mesure la fréquence.

S'il s'agit de la fréquence de résonance d'un circuit oscillant, alors l'appareil de mesure indiqué pour cet usage est l'oscillateur à absorption, plus connu sous le nom de « grid dip ». En dehors du modèle bien connu de Ferisol, nous en avons vu un chez Philips Industrie, minuscule, très maniable, entièrement en matière plastique, le capot de protection contenant les différentes bobines. La lecture du courant grille se fait sur un tube à néon allongé dans lequel la longueur et l'intensité de la plage lumineuse sont fonction de ce courant, ce qui permet d'apprécier très aisément le maximum d'absorption. Ce remarquable instrument couvre la gamme de 2,5 à 260 MHz. Nous en avons vu un modèle similaire chez Radiometer.



Le « Métalloradar » type L d'Ultrasonic utilise les ultrasons pour la détection des défauts internes dans les pièces mécaniques.

Les générateurs

Du nouveau surtout en hyperfréquences: nous avons admiré le matériel 8 mm de la Radio Industrie: il n'est pas courant de fabriquer des guides d'ondes pour ces gammes de fréquence. Nous avons affaire à un domaine où les tolérances mécaniques sont de l'ordre du micron et où les cavités des magnétrons se mesurent en dixièmes de millimètres. Il faut croire qu'on y arrive, puisque nous avons vu une ligne de mesure dont le taux d'ondes stationnaires ne dépassait pas 1,01.

Les équipements de mesure en 3 cm sont très complets maintenant chez Philips Industrie, et nous y avons vu en particulier un ondemètre dont la graduation en fréquences est linéaire et permet de lire à 0,5 MHz près (rappelons qu'il s'agit de fréquences de l'ordre de 10 000 MHz). La ligne de mesure associée a un taux d'ondes stationnaires inférieur à 1,005. Dans ce même stand, on présentait une nouveauté intéressante: le système directif à ferrite. Il s'agit d'un guide dans lequel on a placé une ferrite (genre Ferroxcube) dans un champ magnétique créé par un aimant en Ferroxdure; un tel guide ne laisse passer les ondes hyperfréquence que dans un seul sens.

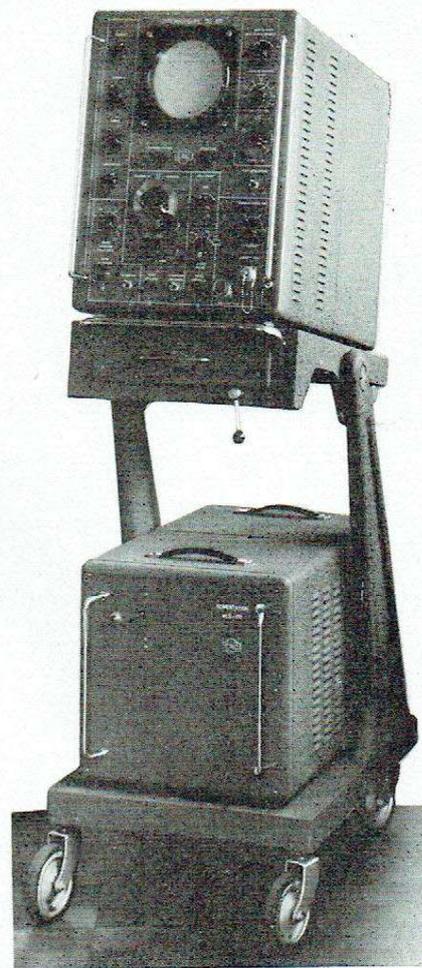
Nous avons vu une démonstration analogue au stand C.N.R.S.; à côté, une démonstration de l'utilisation de l'effet Faraday, qui semble très analogue comme résultat, mais qui est basé cette fois sur la rotation du plan de polarisation d'une onde hyperfréquence dans une ferrite soumise à un champ magnétique, dans des conditions différentes du système unidirectionnel cité plus haut.

Dans certains cas, on peut obtenir une rotation du plan de polarisation des ondes hyperfréquence par traversée d'un gaz ionisé soumis à un champ magnétique, ce que l'on pouvait vérifier sur un bel ensemble expérimental présenté par la C.F.T.H.

Redescendons à la gamme que les radaristes appellent « basse fréquence » (en-dessous de 500 MHz) en citant le nouveau générateur 30 kHz-30 MHz de Jacques Pérès, le générateur économique de signaux rectangulaires de Philips Industrie (de 25 Hz à 1 MHz, temps de montée du signal 0,025 us), l'amplificateur pour générateur B.F. de Philips Industrie (puissance de sortie de 5 W, gain constant à $\pm 5/0/0$ de 10 Hz à 1,5 MHz) et la gamme complète d'appareils de Ferisol, de Radiophon, de Bruel et Kjaer... Chez ce dernier, nous avons noté un audiomètre à cartes; il s'agit d'un appareil destiné à relever la courbe de sensibilité auditive d'une personne, dans le but de déterminer quel est l'appareil de prothèse auditive qui lui convient le mieux. Cet audiomètre comporte un générateur B.F. dont le bouton de commande de fréquence entraîne une règle sur une carte amovible circulaire sur laquelle on peut ainsi pointer pour chaque fréquence le nombre de décibels d'affaiblissement de l'ouïe de la personne examinée. Une fois le relevé terminé, on a un diagramme en coordonnées polaires représentant la courbe de l'acuité auditive du sujet, sans avoir pour cela à recourir à un appareil enregistreur toujours très coûteux et encombrant.

Les ultra-sons

Les vibrations inaudibles continuent leur brillante carrière industrielle. Elles sont surtout appliquées à la détection des défauts dans les solides. C'est ainsi que nous avons pu admirer à l'I.R.S.I.D. un ensemble de comptage des défauts d'une pièce utilisant les ultrasons et permettant de contrôler en 15 s une pièce de 1,80 m de diamètre; nous avons vu aussi les systèmes de contrôle appelés (hélas!) « Métalloradar » chez Ultrasonic.



Le Synchroscope OC 611 de C.R.C. possède un tube de 130 mm, un amplificateur H distribué transmettant plus de 100 MHz, une sensibilité de 40 mV/cm et une base de temps déclenchée dont la vitesse maximum d'inscription est de 1 m/μs.

On applique aussi les ultrasons à la mesure du module d'élasticité d'un corps, en se ramenant à la mesure de la vitesse de propagation des ondes ultrasonores dans une éprouvette de ce corps. C'est là le principe de la très intéressante expérience présentée par le C.E.A. Un barreau est suspendu horizontalement, et excité par des ondes ultrasonores produites par un Ionophone et transmises par l'air. Une pointe de graphite, sur le côté opposé du barreau, permet de détecter le maximum d'amplitude des oscillations de celui-ci, donc sa fréquence de résonance.

Dans un but moins noble, on retrouve aussi les ultrasons pour... le nettoyage (Jacques Pérès et Réalisations Ultrasoniques).

Mais une application extrêmement intéressante de ces vibrations mécaniques de petite amplitude et de grande fréquence commence à faire parler d'elle: le perçage par ultrasons. Nous en avons vu une démonstration extrêmement spectaculaire chez Jacques Pérès; on utilise un « transducer » à magnétostriction alimenté par un générateur de 20 kHz, et dans lequel la vibration d'un paquet de tôles au nickel est transmise par un adaptateur à l'outil perforant. Celui-ci est en métal quelconque, mouillé d'une pâte d'abrasif et d'eau; et il pénètre lentement mais sûrement dans du verre, de la céramique, du carbure de tungstène même, en y perçant un trou qui

peut avoir une forme quelconque, contrairement à ce que donne une perceuse à mèche rotative.

Il y a certainement beaucoup d'avenir dans cette technique.

Oscilloscopes

Nous avons rencontré d'intéressants modèles chez Ribet-Desjardins et chez C.R.C.

Un nouveau venu intéressant est le modèle T 8 de Leres. En effet, ce remarquable instrument a un amplificateur vertical dont le temps de montée est de 1/100 de μ s, cet amplificateur passant de la fréquence 0 (continu) à 20 MHz avec une sensibilité de 0,2 V/cm.

Il comporte un commutateur électronique incorporé, un étalement de balayage permettant de dilater la trace sur plus de 5 fois le diamètre du tube, des marqueurs incorporés permettant de repérer des intervalles de temps



Une toute nouvelle création : le fréquencesmètre H.F. A-561 de Rochar Electronique, affichant en lecture directe la fréquence de tout signal compris entre 10 kHz et 25 MHz.

de 1000, 100, 10, 1, 0,1 et 0,01 μ s. C'est un des plus beaux oscilloscopes électroniques nouveaux que nous ayons vus dans cette exposition.

Nous précisons bien « électroniques », car nous sommes plein d'admiration pour l'oscillographe à six voies à inscription mécanique de la Compagnie des Compteurs : les ingénieurs de cette maison ont réussi ce tour de force de faire une inscription mécanique sur film de 35 mm noirci avec une amplitude de plusieurs millimètres pour chaque trace, et une bande passante de 0 à 700 Hz à 0,5 dB. Le film gravé passe ensuite dans une lanterne de projection qui fait apparaître les courbes, fines et bien visibles, sur un écran frontal.

Dans le domaine des oscilloscopes plus classiques, signalons que ceux de Philips Industrie comportent enfin des amplificateurs transmettant la composante continue ; leurs possibilités d'application sont énormément élargies.

Lumière et rayons invisibles

Les progrès des cellules photo-électriques sont immenses. Plus personne ne s'étonne de voir maintenant l'énergie lumineuse transformée en énergie électrique par des cellules à couches d'arrêt (Westinghouse) et faisant tourner des moteurs. Cette année, on demande

à ces moteurs de remonter le ressort d'une pendule : celle-ci marchera tant que le soleil brillera (réserve de marche dans l'obscurité : un an !). D'autres cellules chargent des accumulateurs.

Dans le domaine de la lumière, signalons les poudres phosphorographiques de R.B.V. : excitées à l'ultra-violet, elles voient leur phosphorescence momentanément avivée, puis ranimée par l'action des rayons infra-rouges. Une curieuse application de cette propriété est le négatoscope qui permet de voir directement en positif une photo dont on possède le négatif.

Si l'on veut mesurer les rayons alpha, bêta, gamma et X, on n'a que l'embarras du choix. Les appareils de protection foisonnent, les plus intéressants étant les styldosimètres (chambre électromètre individuelle) de Philips Industrie et de Saphymo. Nous avons admiré les chambres de contrôle de Massiot dans lesquelles une chambre d'ionisation, dont la capacité n'est que 3 pF, peut garder sa charge pendant plusieurs mois, la perte étant de 30 0/0 à 60 0/0 : cela représente un isolement de plus de $10^{10} \Omega$!

Les gammamètres et gammaphones (contrôle au casque) abondent : les modèles les plus intéressants sont ceux de Saphymo, Philips Industrie, Progrélec (modèle à magnéto), R.B.V. (alimentation H.T. du tube compteur par un oscillateur à transistor), de C.E.R.E. et de Radiometer.

De tout un peu...

La Télévision Industrielle s'applique curieusement au microscope : nous en avons vu une belle démonstration au stand C.F.T.H.

J.-P. CEHMICHEN, Ingénieur à la C.F.T.H.

Le prix des Transistors

Le transistor constitue actuellement une pièce assez coûteuse. En effet, les modèles ordinaires sont vendus en France aux environs de 2.000 francs, alors que les transistors de puissance dépassent facilement le double de ce prix. L'idée nous est venue de faire une enquête dans les principaux pays où ces pièces sont fabriquées afin de déterminer s'il existe de grosses différences de prix.

Nous avons, à cette fin, interrogé nos confrères Claus Reuber, Rédacteur en Chef de la revue allemande « Radio Mentor », H.-F. Smith, Rédacteur en Chef de la revue anglaise « The Wireless World » et notre ami Hugo Gernsback qui dirige la revue américaine « Radio Electronics ». Nous avons ainsi appris que dans le monde entier les prix des transistors se tiennent sensiblement au même niveau. Pour le transistor ordinaire, le prix varie en effet entre 1 000 et 2 000 francs.

Tout en répondant à notre question, notre ami Hugo Gernsback nous a fait parvenir en avance les épreuves de son éditorial du numéro de juillet de « Radio Electronics », consacré à la même question et dont nous résumons ci-dessous les points essentiels.

Au début, les transistors fabriqués pièce par pièce coûtaient aux Etats-Unis 35 dollars pièce, soit environ 10 000 francs. Les méthodes actuelles de production en série ont permis de faire tomber ce prix à 3 dollars. Et il existe même une compagnie qui vend ses transistors par quantité aux constructeurs à 75 cents (moins de 300 francs) pièce. Il s'agit cependant d'éléments qui sont rejetés comme ne respectant pas les tolérances des modèles normaux.

Actuellement, aux Etats-Unis, 18 fabricants produisent des transistors dont 17 utilisent le germanium alors qu'un novateur fait appel au silicium. Il n'est pas impossible, dit Hugo Gernsback, que d'autres semi-conducteurs ou peut-être des combinaisons de semi-conducteurs puissent être utilisés dans l'avenir.

La transmission de position par numération binaire permet d'envoyer des positions à grande distance par ligne téléphonique avec une bande passante très faible et une sécurité totale (Belin).

Les stabilisateurs de tension alternatives font appel, soit aux amplificateurs magnétiques (Brion Leroux), soit aux propriétés des résistances non linéaires (Ferrix).

Les jauges de contraintes s'habillent de vernis phénoliques à l'O.N.E.R.A. (elles résistent alors à 150° C) ou de bakélite chez Philips Industrie et supportent ainsi 200° C.

On peut mesurer les variations de poids, de quelques fractions de milligrammes, d'un creuset dans un four, et les enregistrer avec la servobalance électronique de Electrosynthèse, dans laquelle un servomécanisme ramène automatiquement l'équilibre approximatif, le déséquilibre étant lu par variation de la capacité d'un condensateur.

L'appareil photographique à cellule de Kerr comme obturateur (Laboratoire Central de l'Armement) permet de prendre des vues avec un temps de pose de 0,25 μ s (détails sur l'explosion d'une barre de T.N.T. !).

Les cellules photoélectriques à multiplication pour compteurs de radiations à scintillateur commencent à se développer en France (L.E.P.).

La place nous manque pour décrire tout ce que nous avons vu d'intéressant, mais nous espérons avoir documenté à mieux nos lecteurs par ce court compte-rendu, et nous les convions tous à venir regarder de très près les stands de la 53^e Exposition de Physique (en 1956).

Quelle est la durée d'un transistor ? On sait que le tube électronique peut, d'après les estimations actuelles, durer en moyenne 5 000 heures. En ce qui concerne le transistor, la Western Electric Co. croit qu'il peut durer 770 000 heures, soit 88 ans. Nous ne savons pas quelle est la base d'une telle estimation. Il est très probable qu'il s'agit d'une extrapolation des phénomènes de vieillissement observés sur une période relativement longue. Quoi qu'il en soit, cela prouve que le transistor est d'ores et déjà un élément de construction digne de confiance.

Le prix actuel du transistor est dû non pas tellement au coût élevé de la fabrication, mais à la nécessité d'effectuer des contrôles et des mesures relativement longs. Il est infiniment probable que là aussi des méthodes simplifiées pourront être trouvées et que le prix du transistor baissera sensiblement. Hugo Gernsback rappelle à juste titre que vers 1920 le tube électronique coûtait 14 dollars pièce, soit, au taux actuel, 5 000 francs environ. N'empêche qu'aujourd'hui, lorsqu'un fabricant le vend aux constructeurs par quantité, le prix descend à 33 cents, soit 120 francs environ.

Si l'on peut vendre à ce prix un ensemble relativement complexe comme le tube électronique, on doit à plus forte raison pouvoir baisser le prix d'un ensemble aussi simple qu'un transistor. Dans un avenir pas trop lointain, le transistor sera vendu au prix de 50 cents au détail, soit 175 francs environ. Et la baisse pourra aller sans aucun doute plus loin.

En conclusion, Hugo Gernsback convie les techniciens et surtout les jeunes à se familiariser le plus tôt possible avec la technique spéciale des transistors car nous assisterons bientôt à un véritable « boom » des semi-conducteurs.

Les cellules photo-électriques dans l'industrie

Tout appareil électronique doit avoir ses « organes sensoriels » qui lui permettent de traduire en signaux électriques les phénomènes qu'il est chargé de contrôler ou de commander.

Notre sens le plus important étant la vue, il est à prévoir que les instruments photo-sensibles joueront un très grand rôle dans les appareils électroniques à usage industriel : et, en fait, le nombre de ces appareils qui utilisent des cellules photo-électriques est considérable.

Les possibilités des organes photo-électriques étant en général mal connues et surtout sous-estimées, nous espérons rendre service aux lecteurs d'« Electronique Industrielle » en présentant ici une revue des possibilités de ces cellules vues sous l'angle industriel.

Les différents engins photo-sensibles

Les phénomènes électriques affectés par la lumière et susceptibles, de ce fait, d'être utilisés pour la détecter ou la mesurer sont très nombreux ; aussi existe-t-il beaucoup de variétés de systèmes photo-sensibles.

Pour les passer en revue sans trop en oublier, indiquons que la lumière peut agir :

1°) Sur l'émission électronique de plusieurs métaux ;

2°) Sur la résistance de certains semi-conducteurs, surtout au point de jonction de deux semi-conducteurs différents ou entre un semi-conducteur et un conducteur ;

3°) Sur le potentiel d'ionisation des gaz ;

4°) Sur les vitesses de certaines réactions chimiques, en particulier la combinaison du chlore et de l'hydrogène, ou la décomposition des sels d'argent (heureusement pour les photographes !)

5°) Sur la température des corps qu'elle frappe quand il y a absorption de l'énergie véhiculée par le rayonnement lumineux ;

6°) Sur le trajet d'un flux électronique (effet Compton, très faible, non encore utilisé pratiquement à notre connaissance) ;

7°) Par l'apparition de charges élec-

triques : c'est le phénomène de la « matérialisation du photon », celui-ci se dédoublant en un électron négatif et un électron positif.

En dehors de ces deux dernières actions, tous les procédés sont utilisés dans l'industrie. On emploie essentiellement l'action de la lumière sur les métaux photo-émissoirs (d'où s'échappent des électrons quand ils sont éclairés) ou sur les semi-conducteurs. On emploie moins, mais cependant d'une façon notable, l'action photo-chimique et la photo-ionisation.

Les cellules photo-électriques

à cathodes émissives.

Bien qu'avec l'avènement des photodiodes à germanium, la situation puisse changer énormément au cours des années à venir, jusqu'à présent, les organes photo-sensibles les plus employés dans l'industrie ont été les cellules classiques à **cathodes photo-émissoires**.

Rappelons que ce sont des ampoules contenant une cathode (qui peut être une plaque métallique ou un dépôt sur verre) et une anode collectrice d'électrons. Il existe deux types : les cellules à vide, dans lesquelles l'ampoule a été aussi parfaitement débarrassée de tout gaz résiduel qu'on le peut, et les cellules à gaz, dans

lesquelles une petite quantité d'un gaz rare a été introduite pour que l'ionisation augmente la valeur du courant électronique, toujours assez faible.

Dans l'industrie, les **cellules à gaz** doivent toujours être employées avec la plus grande prudence : elles sont fragiles (électriquement), nécessitent des tensions d'alimentation parfaitement adaptées et stabilisées, et leurs caractéristiques varient avec la température et leur âge.

Les **cellules à vide** sont infiniment plus souples d'emploi ; elles sont à recommander pour les emplois industriels, mais, malheureusement, il y en a moins de variétés que de modèles à gaz.

A titre d'exemple de cellule à vide classique, nous citerons la 929, fabriquée depuis peu en France (Mazda, Visseaux) et très courante depuis une vingtaine d'années aux U.S.A. Nous donnerons en appendice ses caractéristiques.

Si la sensibilité de la cellule à vide semble insuffisante, la meilleure solution consiste à employer le **photo-multiplicateur**, ou cellule à multiplication d'électrons. Comme exemple de ce type, nous citerons la célèbre 931 A, malheureusement fabriquée seulement aux U.S.A., mais universellement utilisée.

Précisons tout de suite à l'usage des utilisateurs de photo-multiplicateurs que la 931 A n'est nullement un tube « de labo-

● Différentes catégories de cellules

● Le curieux relais photo-chimique

● Utilisations concrètes des cellules

Un tableau des principales cellules utilisées dans l'industrie paraîtra dans un prochain numéro.

ratoire » : à condition de respecter certaines règles (d'ailleurs très simples) d'utilisation, elle peut être employée avec une sécurité absolue, et son prix n'est nullement prohibitif.

L'utilisation d'une cellule à multiplication est très facile; cette pièce permet de résoudre de nombreux problèmes, en particulier celui de l'amplification du courant photo-électrique : même dans le cas de flux lumineux très faibles, le niveau de sortie de ces cellules est élevé, et la sortie peut se faire à basse impédance, ce qui simplifie de nombreux problèmes de liaison cellule-alimentation.

Comme exemple de cellule à gaz, nous citerons la 927 D (Mazda, Visseaux), dont nous donnons ci-après quelques caractéristiques, tout en recommandant vivement aux réalisateurs d'appareils à usage industriel de n'utiliser des cellules à gaz que s'ils y sont rigoureusement obligés.

Les semi-conducteurs photo-sensibles

Dans ce domaine, la place d'honneur revient, et de loin, à la photodiode de jonction au germanium : pour un flux lumineux déterminé, son courant est d'environ 200 à 300 fois plus élevé que celui des meilleures cellules à gaz; elle est microscopique, admet un courant maximum élevé (plus de 2 mA sous 4 V) et a une réponse extrêmement rapide aux variations brusques de lumière.

Si l'on désire une sensibilité plus élevée, au détriment de la rapidité de réponse, on peut faire appel aux photo-résistances au sulfure de cadmium, qui tolèrent des courants assez élevés et atteignent des sensibilités remarquables, mais sont d'autant plus lentes à répondre aux variations de lumière qu'elles sont plus sensibles. Il y a cependant de bons compromis entre la sensibilité et la vitesse de réponse, et certains modèles arrivent très bien à actionner un relais directement pour permettre le comptage d'objets avec une installation réduite au minimum.

On utilise encore, mais de moins en moins, les photo-résistances au sélénium; par contre, il y a des emplois pour les photo-piles au sélénium : ici, nous avons affaire à des éléments qui, contrairement aux photo-résistances et aux cellules à cathode émissive, fournissent du courant, ce qui peut être intéressant pour certains usages : ce sont elles qui équipent les posémètres des photographes.

Les réactions photochimiques

Nous ne citerons dans ce domaine qu'un appareil très ingénieux, le photo-relais, que nous nous étonnons de ne pas voir plus utilisé.

Imaginons (fig. 1) un tube en U, fermé à l'une de ses extrémités à travers laquelle passe un fil de platine D.

Le tube contient du mercure à la partie inférieure C et, à gauche, une solution d'acide chlorhydrique dans l'eau B.

Initialement, cette solution arrive tout en haut de la branche de gauche du tube; le niveau de mercure est le même des deux côtés, et le fil F de la branche de droite ne touche pas le mercure.

Faisons passer entre l'électrode D et l'autre électrode E noyée dans le mercure un courant électrique : l'acide chlorhydrique sera électrolysé et un mélange de chlore et d'hydrogène va se dégager en A, autour de l'électrode D. Si la branche de

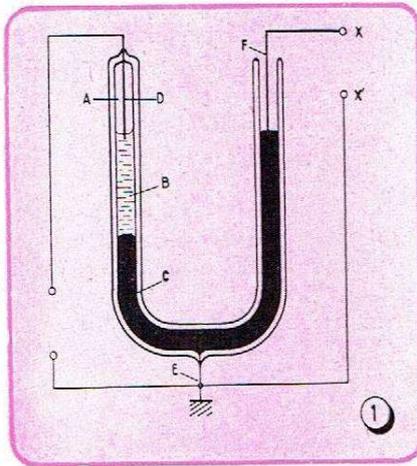


Fig. 1. — Relais photo-chimique : le courant électrolyse la solution d'acide chlorhydrique B; le chlore et l'hydrogène se dégagent en A (si l'appareil n'est pas éclairé) et refoulent le mercure C qui établit un contact en F. Si on éclaire l'appareil, le chlore et l'hydrogène se combinent, l'acide chlorhydrique formé se dissout dans la solution B, le mercure reprend sa place et le contact est coupé.

gauche du tube en U n'est pas éclairée, la pression des gaz dégagés, qui ne se recombinaient pas, pousse le mercure dans la branche de droite, et le mercure va toucher le fil F, établissant un contact entre les bornes X et X'.

Si on fait fonctionner trop longtemps l'électrolyse, celle-ci s'arrêtera d'elle-même quand le niveau de la solution d'acide aura suffisamment baissé pour que l'électrode D ne trempe plus dans cette solution.

Eclairons maintenant la branche de gauche du relais : le chlore et l'hydrogène, sous l'influence de la lumière, vont se recombinaient, du gaz acide chlorhydrique se reforme. Or ce gaz est extrêmement soluble dans l'eau; il va donc se redissoudre dans la solution B, le mercure va remonter dans la branche de gauche et couper le contact dans celle de droite.

Suivant l'intensité du courant d'électrolyse appliqué à l'électrode A, il faudra une lumière plus ou moins intense pour que la recombinaison du chlore et de l'hydrogène soit plus rapide que la décomposition électrolytique de l'acide chlorhydrique, et le niveau de déclenchement du relais sera plus ou moins élevé.

Un petit appareil de ce genre est parfait pour allumer l'éclairage public quand le soir tombe, ou plus simplement les feux de position de votre automobile (quoique, pour cette dernière application, il faut prendre des précautions pour que les liquides du photo-relais soient irréversibles lors des secousses accompagnant la marche de l'automobile).

Citons enfin le relais à gaz ionisé, présenté dans le premier numéro de cette Revue, et qui semble intéressant en raison de sa grande sensibilité et de sa stabilité.

Que peut-on faire avec des cellules ?

Il n'est pas question ici d'énumérer toutes les applications possibles des cellules dans les appareils industriels : la liste en serait infiniment trop longue. Nous nous contenterons donc de donner une série d'exemples-types en indiquant pour chacun les précautions particulières qu'il convient de prendre afin de tirer le maximum de rendement de l'appareil.

Pour donner une idée directrice aux réalisateurs d'appareils industriels, nous leur dirons ceci : « Toutes les fois qu'une opération doit se faire sous le contrôle de la vue, il y a un moyen de remplacer, plus ou moins complètement, l'œil de l'opérateur par une cellule photo-électrique ».

Contrôle de la blancheur d'un produit

Dans de nombreuses applications, un produit qui doit être obtenu blanc peut se trouver souillé par différentes impuretés en altérant la blancheur (cas du sucre, des pigments pour peinture blanche ou claire, des textiles, du raffinage du sel, etc.).

Il arrive également que des impuretés qui n'affectent pas la blancheur d'un produit puissent produire des réactions colorées avec un réactif approprié : on met du réactif sur le produit fini et, selon une formule bien connue : « on est ramené au cas précédent ». C'est ce qui a lieu, en particulier, à propos de l'élimination des sels de fer dans les solutions des sels de différents métaux : l'addition de thiocyanate de potassium provoque l'apparition d'une coloration rouge sang si la solution contient encore des sels ferriques.

L'emploi de la cellule va permettre de rendre ce contrôle automatique, et même de le rendre plus précis et plus sensible que ne l'aurait été un contrôle à la vue.

Il va d'abord falloir bien utiliser les cellules : on utilisera de préférence des cellules dont les cathodes sont telles que la couleur à laquelle elles sont le moins sensibles est précisément celle qu'il s'agit de déceler. Nous ne faisons pas de paradoxe : prenons un exemple.

Soit à déceler une impureté qui colore en jaune un produit normalement blanc : nous allons utiliser des cellules du type 929 parce qu'elles sont sensibles au bleu et très peu au jaune; en effet, un produit co-

loré en jaune enverra à ces cellules une lumière à laquelle elles sont peu sensibles, donc se comportera comme s'il était très foncé, et l'impureté sera décelée. Si nous avons pris pour cette application une cellule du type 922 (sensible au rouge et au jaune, le produit pur aurait renvoyé sur la cellule une lumière à laquelle celle-ci est très sensible, et tout se serait passé pour la cellule comme si le produit avait été très clair, donc très pur. Au besoin, on accentuera encore le manque de sensibilité de la cellule à la couleur de l'impureté, en utilisant un filtre coloré (par exemple un écran sélectif Wratten) approprié.

Dans notre application, pas question de supposer constante l'intensité lumineuse rayonnée par la source qui éclaire le produit à examiner : les variations de cette intensité en fonction de la tension du secteur et surtout de l'âge de la lampe peuvent être très supérieures à celles que provoquerait une faible teneur en impureté colorées, soit le phénomène lui-même que nous désirons détecter et mesurer.

Nous allons donc procéder par comparaison, en utilisant deux cellules identiques, munies des mêmes filtres colorés si besoin est (la couleur de la source lumineuse peut changer) et dont nous comparerons les indications.

Il y a plusieurs manières d'effectuer cette comparaison ; de toutes façons, il est préférable de comparer les tensions issues

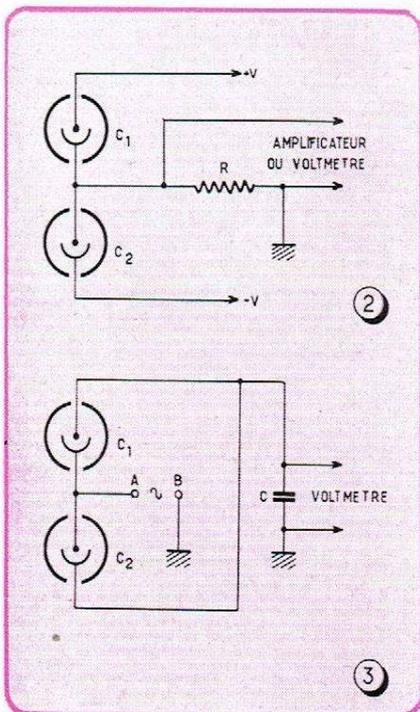


Fig. 2. — Montage de deux cellules à vide en opposition : la résistance R est parcourue par le courant de C_1 dans un sens, par celui de C_2 dans l'autre sens, et on mesure la chute de tension dans R au voltmètre électronique.

Fig. 3. — Montage de deux cellules à vide en photomètre de rapport : la tension moyenne aux bornes de C ne dépend que du rapport des éclaircissements de C_1 et de C_2 .

des deux cellules avant même de les amplifier, car les amplificateurs peuvent être sujets à dériver.

La figure 2 indique un montage que l'on peut utiliser à cet effet : le courant de la cellule C_1 , alimentée par la source de tension $+V$, traverse la résistance R dans le sens contraire de celui de C_2 , alimentée par $-V$. Il est même possible de supprimer la résistance R, chaque cellule servant alors de résistance de charge à l'autre. La sensibilité de l'ensemble devient énorme (une cellule à vide a des caractéristiques I_a/V_a analogues à celles des pentodes ; elle a une résistance interne considérable) ; mais la valeur démesurée de cette sensibilité rend le montage peu stable.

Le montage de la figure 3, dit « photomètre de rapport » est plus stable. Les cellules sont alimentées en courant alternatif. Pendant une alternance, le condensateur C est chargé à travers C_2 ; pendant l'autre, il est déchargé à travers C_1 . On peut établir que la différence de potentiel moyenne aux bornes de C n'est fonction que du rapport des éclaircissements des cellules C_1 et C_2 (il va de soi que, comme sur le schéma de la figure 2, C_1 et C_2 sont des cellules à vide).

Une troisième solution tentera ceux qui ont peur des dérives des voltmètres électroniques à grande impédance d'entrée, bien injustement d'ailleurs (les montages du type « Scroggie » étant d'une stabilité à toute épreuve) : l'utilisation d'une cellule unique. On s'arrange, au moyen d'un miroir oscillant ou tournant, pour que ladite cellule reçoive alternativement la lumière diffusée ou transmise par l'échantillon à contrôler, et la lumière diffusée ou transmise par un échantillon témoin : toute différence entre ces deux lumières engendre une modulation de la tension de la cellule à la fréquence correspondant à l'oscillation ou à la rotation du miroir.

Cette modulation, amplifiée par un amplificateur à courant alternatif et détectée ensuite par un système démodulateur synchronisé par le mouvement du miroir, fournit l'écart entre les deux flux lumineux, donc le taux d'impureté. L'avantage de cette méthode est qu'elle élimine les possibilités de vieillissement différent de deux cellules (et pour cause, puisqu'il n'y en a plus qu'une !) et qu'elle permet d'utiliser un amplificateur à courant alternatif ignorant la dérive de zéro, et dont la variation de gain n'introduira pas d'erreur de zéro dans la mesure du taux d'impureté. Par contre, la méthode a le grave inconvénient de nécessiter l'emploi d'un miroir mobile.

Quelle que soit la méthode utilisée, il ne faut pas oublier que le vieillissement de la source lumineuse peut affecter différemment la luminosité de celle-ci dans deux directions différentes : il est bon de prévoir un tarage périodique de l'instrument à l'aide d'échantillons étalons.

Signalons à ce propos que la substance blanche « étalon » pour les comparaisons en lumière diffusée est le **carbonate de magnésium** (on peut lui substituer l'**oxyde de titane**).

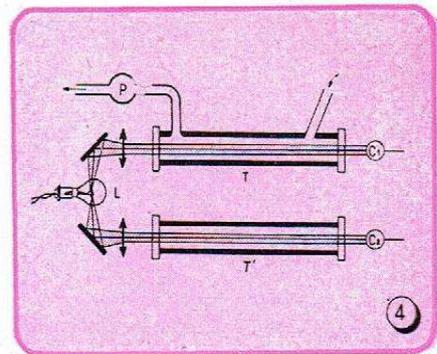


Fig. 4. — Les cellules C_1 et C_2 comparent les absorptions des faisceaux lumineux émis par la lampe L à travers les substances contenues dans les tubes T et T'.

Détection de fumées, poussières...

Notre photomètre à deux cellules (ou à commutation de lumière) va nous permettre bien d'autres applications que la mesure de la qualité d'un blanc. C'est, en fait, un colorimètre, dans le sens où l'on emploie d'habitude ce terme, c'est-à-dire un appareil susceptible de mesurer le taux de coloration d'un produit.

Si nous voulons détecter la présence de fumée dans un gaz, nous enverrons ce gaz dans un tube T (fig. 4) parcouru par la lumière de la lampe L, et à la sortie duquel nous aurons placé notre cellule C_1 , tandis que C_2 se trouvera à la sortie d'un tube analogue T' contenant de l'air sec et pur.

Ayant également introduit dans T' de l'air sec et pur, on commence par ajuster le zéro de l'ensemble en égalisant les flux lumineux qui arrivent sur C_1 et C_2 , par obturation partielle de ces cellules, jusqu'à ce que le photomètre indique zéro. A ce moment, on fait pénétrer le gaz à contrôler dans T en l'y aspirant par la pompe P, et la déviation de l'appareil nous indiquera la teneur du gaz en fumée, poussières ou gaz colorés.

Ici encore, un choix judicieux de la sensibilité spectrale des cellules est nécessaire : pour la détection de fumées et de poussières, les cellules sensibles au bleu sont très indiquées, car la lumière bleue est beaucoup plus diffusée (et donc absorbée) par un milieu trouble que la lumière rouge (loi de Rayleigh). C'est d'ailleurs pour cette raison que le ciel est bleu et que le Soleil nous paraît jaune ; c'est aussi pourquoi la fumée est bleue, son ombre sur le sol étant rougeâtre, et c'est encore la raison pour laquelle on utilise des phares jaunes pour mieux percer le brouillard léger.

S'il s'agit de détecter un gaz coloré, la sensibilité chromatique devra être choisie en fonction de la couleur du gaz : pour le chlore qui est vert, on utilisera des cellules sensibles au rouge ; pour le brome et le peroxyde d'azote qui sont rouges, les cellules sensibles au bleu (929) conviendront parfaitement, comme pour la fumée.

Les tubes T et T' peuvent d'ailleurs aussi être remplis de liquides, T' contenant un liquide pur, et T le liquide pouvant contenir en dissolution une impureté colorée, ou susceptible d'être rendue colorée par un réactif approprié (dans ce cas, on placera dans le tube T' la même quantité du même réactif, au cas où ce dernier serait légèrement coloré par lui-même).

Nous pourrions ainsi contrôler la verdunisation de l'eau : en ajoutant à l'eau de l'iodure de sodium, l'eau de Javel contenue dans l'eau libèrera de l'iode, dont la couleur brune provoquera une absorption de la lumière sur le tube T.

Contrôle de la turbidité

Indépendamment des corps qui absorbent la lumière, les liquides ou les gaz introduits dans les tubes peuvent contenir des produits qui la diffusent (c'était le cas de la fumée).

Dans ce cas, on peut avoir intérêt à opérer autrement : on va faire passer un faisceau lumineux bien concentré dans le produit à contrôler, et on placera une cellule dans une direction perpendiculaire à ce faisceau : plus le milieu sera diffusant, donc trouble, plus cette cellule latérale sera éclairée ; il suffira donc de mesurer son courant pour avoir le degré de turbidité du milieu étudié. Une méthode de comparaison ne s'impose pas ici, et il suffit de prévoir un contrôle périodique du flux lumineux total émis par la source lumineuse pour vérifier l'étalonnage ; à moins que l'on accepte de procéder à un réétalonnage périodique au moyen de solutions troubles étalons (par exemple, des solutions très diluées de lait dans l'eau, préparées au moment de l'emploi).

Beaucoup de composés chimiques pouvant être amenés à l'état de précipités semi-colloïdaux, la méthode s'applique à leur dosage.

Contrôle de la position d'un objet

Les applications dont nous avons parlé jusqu'ici utilisent des mesures d'intensité lumineuse dans une région déterminée du spectre pour doser un produit coloré ; nous allons maintenant envisager les catégories d'applications plus classiques.

Nous passerons presque sans insister sur les applications des cellules à l'ouverture automatique des portes, au comptage des objets ou des visiteurs d'une exposition, au contrôle de sécurité autour d'une machine dangereuse qui ne doit être mise en route que lorsque les gens qui s'en occupent sont suffisamment écartés, ou enfin à la surveillance d'une zone dans laquelle on ne doit pas pénétrer (systèmes de gardiennage). Dans toutes ces applications, on peut utiliser avantageusement les cellules photo-résistantes, ou mieux les photodiodes.

Pour ces dernières, leur grande sensibilité aux rayons infra-rouges permet d'établir un barrage de sécurité invisible et peu influencé par une brume légère.

Il s'agit d'applications du type « tout ou rien », pour lesquelles les schémas sont innombrables et parfaitement étudiés (souvent la cellule est alimentée en courant alternatif et sa tension de sortie excite la grille d'un thyatron, également alimenté sur son anode en courant alternatif ; l'ionisation du thyatron provoque la fermeture d'un relais. Le principal est de bien régler le système optique de la source lumineuse, de disposer de coefficients de sécurité importants, et de faire en sorte que tout dérangement du système provoque l'alerte.

Il existe une catégorie d'emplois beaucoup moins courants des cellules : le repérage de la position ou de la dimension d'un objet.

Une application intéressante de ce système est le dispositif permettant d'enrouler convenablement des câbles sur une bobine. Le problème n'est pas aussi simple qu'il peut le paraître : au fur et à mesure que le câble s'enroule, le diamètre de la bobine croît, et il faut donc diminuer sa vitesse de rotation si la vitesse linéaire du câble est constante.

On s'arrange ici pour qu'il y ait toujours un excès de câble entre les rouleaux qui le débitent et le tambour sur lequel il s'enroule : ce câble en excès pendra en faisant un « U ». Si nous arrivons à surveiller la position du point le plus bas de cet « U » au moyen d'une cellule et que nous fassions commander par cette cellule la vitesse d'un moteur d'enroulement, le problème sera résolu.

Or, il y a plusieurs moyens d'utiliser une cellule pour contrôler une position : on peut par exemple placer d'un côté de l'objet une source lumineuse allongée dont la brillance varie d'une extrémité à l'autre et dont la totalité du flux lumineux est reçue par une cellule : le courant de la cellule est plus bas quand l'objet occulte la partie à forte brillance de la source que quand il se trouve placé devant la zone peu brillante. La source allongée à brillance variable peut être réalisée par un tube fluorescent masqué par un écran dégradé, ou par un écran entaillé d'une fente en V très pointue.

Le photomètre à deux cellules que nous avons décrit tout à l'heure nous permettra, moyennant certaines précautions, la mesure des dimensions d'un objet, ou tout au moins de sa surface : si l'objet occulte partiellement le faisceau lumineux qui arrive sur l'une des cellules, et qu'un objet étalon occulte celui qui arrive sur l'autre cellule, nous pourrions faire une comparaison des surfaces.

Pour que cela soit valable, il faut que toute la zone dans laquelle l'objet à contrôler peut se déplacer soit uniformément éclairée, pour que la mesure ne soit pas affectée par la position de l'objet. On arrive très bien à cela en plaçant sur le parcours des rayons lumineux allant éclairer l'objet un verre dépoli sur lequel on trace aux endroits appropriés des traits au crayon jusqu'à ce que la lumière soit partout homogène (ce travail est beaucoup moins compliqué qu'on ne le pense).

Ainsi, on peut facilement contrôler au passage, sans contact, le diamètre d'un câble : la précision dépasse difficilement 1 %, mais il y a bien des cas où un tel renseignement est déjà précieux.

Contrôle spectroscopique des couleurs

Nous avons indiqué plus haut qu'un colorimètre ne pouvait nous donner que l'intensité de la coloration d'un objet ; encore son indication n'est-elle valable qu'à condition qu'il s'agisse d'une couleur parfaitement définie.

Si nous voulons un système qui nous indique si la couleur d'un objet est bien de la teinte désirée, le problème est plus complexe, mais il n'est nullement insoluble.

On sait qu'il existe différentes sortes de cathodes de cellules : certaines sont sensibles au bleu, d'autres au rouge. Par adjonction d'écrans colorés sélectifs, on peut encore modifier la sensibilité chromatique d'une cellule. On pourra donc envoyer la lumière diffusée par l'objet à contrôler sur un jeu de plusieurs cellules de sensibilités chromatiques choisies : par une combinaison adéquate des tensions de ces cellules, on pourra obtenir une indication sur la teinte de l'objet. On pourra faire en sorte, en particulier, que la combinaison de ces tensions ne soit comprise entre certaines limites que si la teinte de l'objet est acceptable ; on pourra ainsi éliminer automatiquement les objets ne présentant pas la teinte voulue.

Par l'emploi de la sensibilité chromatique sélective, on peut également trier automatiquement parmi des roches celles qui présentent sous la lumière ultra-violet la fluorescence voulue : il faudra munir alors les cellules d'écrans absorbant l'ultra-violet, car elles sont presque toutes sensibles à cette lumière.

Ce procédé a déjà été utilisé dans le triage de minerais d'uranium : on sait que l'Autunite, par exemple, présente, comme la plupart des composés d'uranium, une fluorescence verte sous l'ultra-violet. On pourra donc faire défiler sur un tapis roulant des roches à sélectionner, sous une lampe à ultra-violet, devant une cellule sensible au vert-jaune : le passage devant la cellule d'une roche présentant une fluorescence appropriée provoquera l'aiguillage de celle-ci vers une voie séparée.

Si l'on veut plus de précision dans la définition de la teinte d'un objet, on peut en faire une analyse spectrophotométrique, et comparer la courbe avec celle de l'objet témoin. Il est parfaitement possible d'envisager un appareil dans lequel cette courbe serait tracée automatiquement et provoquerait, si elle sort des limites de tolérance, l'expulsion de l'objet non conforme.

Servomécanismes à cellules

Il y a de nombreux cas où l'on veut asservir un arbre B à la position d'un

arbre A sans introduire le plus léger freinage sur A : dans ce cas, le servo-mécanisme photo-électrique est tout indiqué.

Soit par exemple à asservir un axe à la position d'une aiguille aimantée (fig. 5).

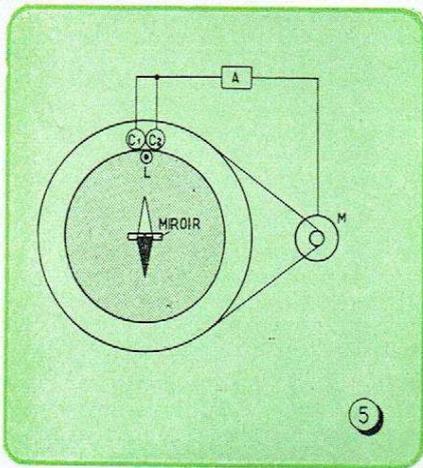


Fig. 5. — Servomécanisme photo-électrique : le moteur fait tourner la couronne qui porte la lampe L et les cellules jusqu'à ce que le miroir de la boussole renvoie autant de lumière issue de L sur C₁ que sur C₂.

Nous allons placer sur l'aiguille un petit miroir, et nous entourerons l'aiguille par une couronne qui porte une lampe L et

deux cellules C₁ et C₂. Ces deux cellules, montées en opposition, attaquent l'entrée d'un amplificateur A, dont la sortie fournit du courant au moteur M, celui-ci pouvant faire tourner la couronne dans un sens adéquat.

Si la position de la couronne par rapport à l'aiguille aimantée est telle que le miroir renvoie autant de lumière sur C₁ que sur C₂, la couronne restera immobile. Mais, si l'aiguille tourne, une des cellules recevra plus de lumière que l'autre, et le moteur M tournera jusqu'à ce que la couronne ait retrouvé sa position primitive par rapport à l'aiguille.

Ce système a été effectivement utilisé pour faire agir une boussole sur un calculateur de route placé à bord d'un véhicule. Le mouvement de la couronne indiquait à chaque instant le « cap » du véhicule ; le nombre de tours de roues de ce dernier, permettait de connaître le chemin parcouru, et le calculateur traçait automatiquement sur une carte le parcours de la voiture.

Quelques recommandations générales

Quand on utilise des cellules dans un appareil industriel, il faut, si l'on veut que la sécurité de fonctionnement soit suffisante, observer soigneusement les règles suivantes :

1°) Ne pas appliquer à une cellule une tension trop élevée. Bien que le fabricant de la 929, par exemple, indique que l'on

peut aller jusqu'à 250 V, il vaut mieux ne pas dépasser une centaine de volts (d'ailleurs, dans la plupart des cas, les résultats sont identiques avec une tension anodique basse) ;

2°) Ne pas dépasser un courant maximum nettement inférieur au maximum indiqué par le constructeur, surtout pour les cellules à multiplication d'électrons (pour celles-ci, il est prudent de prévoir un montage tel que le courant anodique, tout au moins au-dessus d'un certain seuil, réagisse immédiatement sur la tension d'alimentation et la fasse s'effondrer si le courant dépasse le seuil. C'est ainsi que l'on emploie souvent des 931 A pour détecter de très petits trous dans une bande de tôle passant entre la cellule et une forte lampe : si un gros trou passe, ou si l'on enlève la bande de tôle en laissant la lampe allumée et la cellule sous tension, on « tue » le photomultiplicateur. L'utilisation d'un système coupant automatiquement la tension d'alimentation quand le courant anodique dépasse 0,5 mA protégerait très efficacement la cellule ;

3°) Ne pas exposer les cellules à une température trop élevée ; en général, 65° ou 70° C constituent un maximum.

Moyennant ces différentes précautions, l'emploi des cellules photo-électriques dans l'industrie est sans aucun aléa, et permet la réalisation d'appareils du plus haut intérêt.

J.-P. GEHMICHEN

L'ELECTRONIQUE

à la Foire de Hanovre

La plus grande exposition industrielle allemande, la Foire de Hanovre, s'est déroulée du 24 avril au 3 mai 1955. L'électronique était déjà visiblement présente les autres années, mais c'était quelque peu une curiosité ou un simple agrément, permettant de faciliter certains procédés de fabrication. Cette année, on avait nettement l'impression que l'électronique est devenue une nécessité pour le constructeur de machines-outils et de machines d'emballage, pour le pêcheur aussi bien que pour l'imprimeur, le peintre, le garagiste, etc... Il nous est impossible d'énumérer seulement toutes les applications de l'électronique présentées à Hanovre, nous nous contenterons d'une brève description des plus remarquables.

Un relais très sensible et sans contact mécanique était présenté par *Metrawatt*. Un galvanomètre porte une plaque métallique à la place de son aiguille : cette plaque passe entre deux bobines dont le couplage mutuel est ainsi modifié. Les bobines font partie d'un oscillateur à tube électronique : on utilise le courant alternatif engendré par ce dernier pour commander un relais plus robuste. La précision du relais est de 1,5 % du courant d'excitation.

Dans le domaine des redresseurs, on pouvait voir d'innombrables modèles, de la diode au germanium sub-miniature (diamètre 3 mm) de *Philips* jusqu'au redresseur à jet de mercure tournant de la *AEG* permettant une intensité de 1 500 A

avec une chute de tension de 6 V seulement.

Parmi les nombreux appareils électroniques exposés par *Siemens*, citons seulement une presse pour impressions en couleurs, où des cellules photo-électriques « regardent » les repères sur le papier et commandent un servo-mécanisme qui amène, à chaque passe, le papier dans la bonne position.

Durag présente un compteur délivrant un signal de commande pour un certain chiffre qu'on peut choisir entre 1 et 1 000. Avec des dispositifs auxiliaires, l'appareil est utilisable pour l'emballage automatique.

Une gamme de sondeurs ultrasoniques est présentée par *Elac*. Parmi eux, la « loupe à poissons » est destinée à la pêche en haute mer et permet d'explorer des couches d'eau d'une épaisseur de 15 m jusqu'à une profondeur de 700 m. La « définition » est telle que des poissons seuls, distants seulement de 30 cm, sont encore nettement visibles sur l'écran du tube cathodique.

Domint expose un générateur B.F de 100 à 10 000 Hz qui possède la particularité de délivrer une puissance nominale de 17,5 kW.

Si vous désirez établir une ligne hertzienne personnelle entre votre voiture et votre domicile ou votre bureau, *Deutsche Elektronik* vous fournira l'équipement nécessaire. Mais le prix des deux stations

(Suite et fin page 91)

LES DÉTECTEURS ÉLECTRONIQUES DE MÉTAUX

(Suite et fin du précédent numéro)

DÉTECTEUR ÉLECTROSTATIQUE DE MÉTAUX POUR L'INDUSTRIE TEXTILE

Ce détecteur a été créé spécialement pour la détection de très petites parcelles métalliques pouvant accidentellement se trouver incorporées aux tissus.

Ces parcelles proviennent généralement de ligatures de peigne, des garnitures métalliques des bobines de navette, de l'usure de diverses pièces des métiers à tisser. Leurs dimensions et partant leur masse sont souvent extrêmement faibles, quelques centigrammes, et pourtant ces débris présentent de graves inconvénients : détérioration des couteaux des tondeuses-nettoyeuses et des rouleaux d'impression ou de blanchiment, déchirures périodiques du tissu lorsque le débris s'est incrusté dans un rouleau, taches de rouille sur le tissu après passage dans les bains, etc...

L'appareil de détection comporte essentiellement :

1°) Deux têtes de détection comportant chacune un barreau poli en matière isolante, dans lequel sont noyées des lames collectrices en bronze. Le tissu glisse, à frottement doux, sur ces barreaux, de la même manière qu'il passe sur les barreaux de bois employés pour le réglage de la tension du tissu (fig. 11) ;

2°) Un coffret comportant un générateur de courant continu haute tension et un amplificateur-détecteur commandant un relais. Ce relais peut servir à actionner une signalisation sonore ou lumineuse ou provoquer l'arrêt automatique de la machine textile lors de chaque détection d'un débris métallique.

Le principe de fonctionnement de l'appareil est le suivant : les lames collectrices incorporées dans la tête de détection sont portées à une tension statique voisine de la tension de claquage dans le tissu. Dès apparition d'un débris métallique dans l'intervalle séparant les lames collectrices, une faible décharge électrique s'amorce instantanément à travers le tissu et l'impulsion créée, après amplification, déclenche le relais. Il y a lieu de noter que le dispositif fonctionne même en cas de contact imparfait entre le débris métallique et les lames collectrices, et même lorsque le débris complètement enrobé dans le tissu n'entre pas effectivement en contact avec les lames.

Le dispositif électronique comporte, outre l'interrupteur de mise en service, un bouton de réglage permettant d'adapter la tension appliquée aux lames collectrices aux conditions hygrométriques du tissu à vérifier.

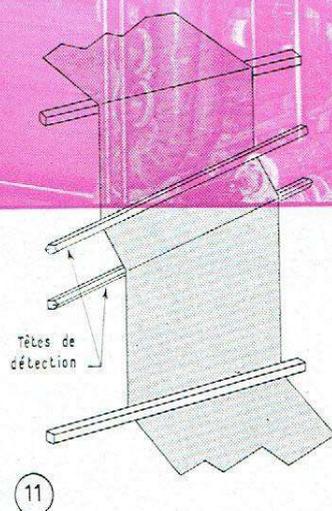
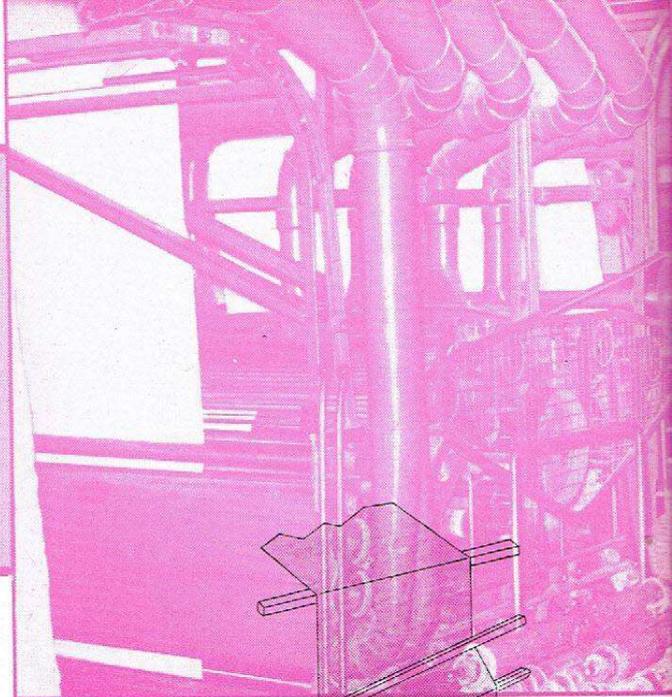


Fig. 11. — Appareil de détection de déchets métalliques pour industrie textile installé sur une tondeuse-nettoyeuse (document Clemessy).

Les têtes de détection sont constituées par les deux barres de bois contenant chacune une lame de bronze. Une tension électrique voisine de la tension de claquage est appliquée entre les lames. Tout corps métallique, même minuscule, est signalé par une décharge et le collage d'un relais.

La sensibilité de l'appareil est telle qu'il signale la présence d'un débris se présentant sous forme d'un fil métallique de quelques dixièmes de millimètre de diamètre et de quelques millimètres de longueur.

La tension continue élevée appliquée aux lames collectrices ne présente aucun danger pour le personnel, car le courant est limité à une valeur extrêmement faible ; en cas de contact accidentel, la tension tombe instantanément à zéro et met plusieurs secondes à reprendre sa valeur normale.

L'appareil peut être installé, soit à la sortie des métiers à tisser, soit à l'entrée des tondeuses-nettoyeuses, soit sur les tables de contrôle avant impression, teinture ou blanchiment lorsque le tissu est encore à l'état sec.

Indépendamment de ses applications à l'industrie textile pour lequel il a été spécialement étudié, cet appareil peut servir également à détecter des débris métalliques dans les papiers ou matières plastiques en feuilles.

DÉTECTEUR DE MÉTAUX POUR PRODUITS D'EXTRACTION

Le détecteur électronique des *Etablissements Clemessy* (fig. 12) a été prévu pour l'élimination sur les bandes transporteuses de tous les débris de fer ou d'acier qui se trouvent souvent mé-

Réalisations industrielles

par J.-F. DUSAILLY

Ing. E.E.M.I., Ingénieur à la Cie des Lampes Mazda

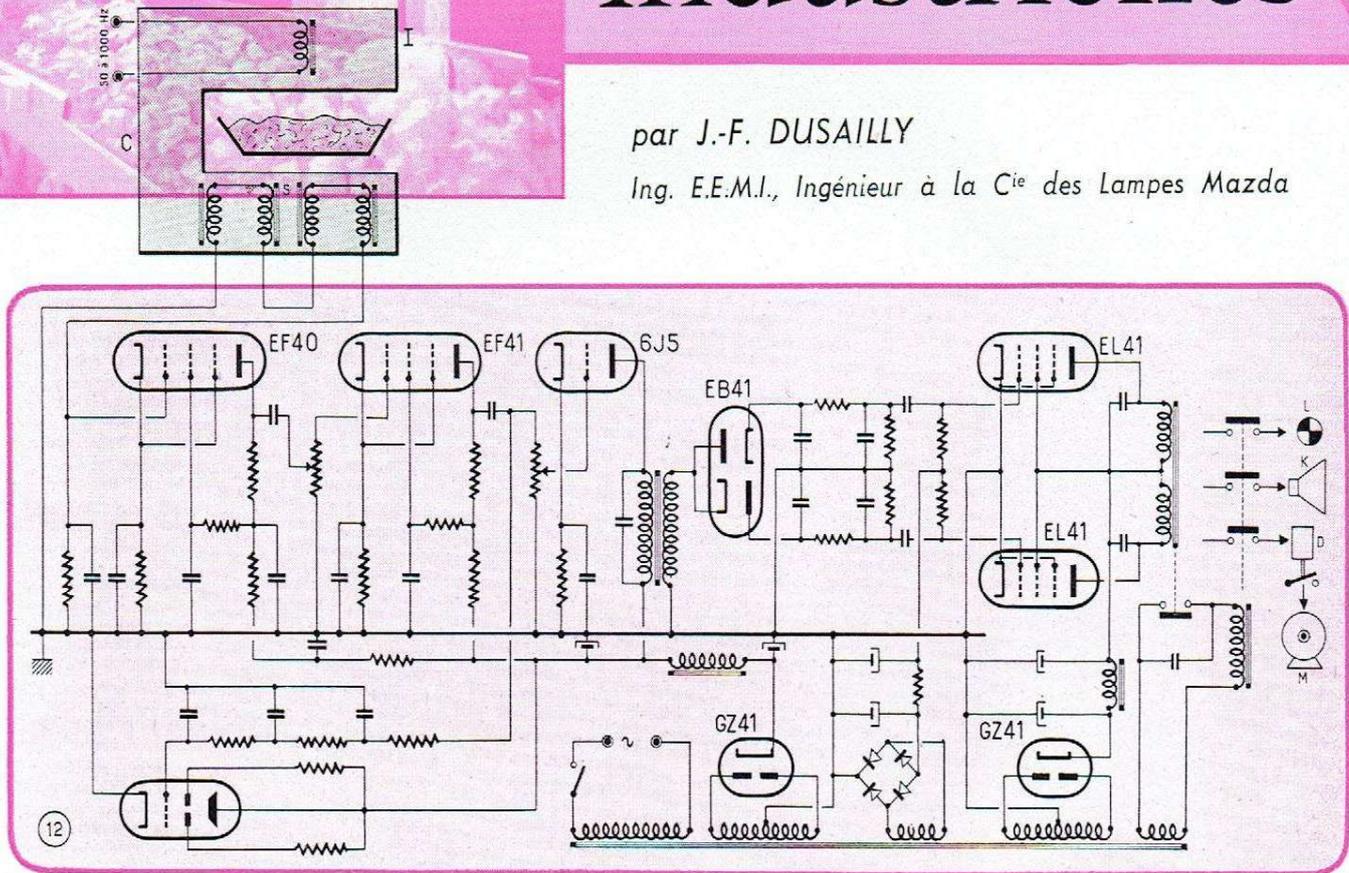


Fig. 12. — Détecteur de métaux installé sur une bande transporteuse. Les bobines détectrices, connectées en opposition, n'engendrent une tension que si le champ créé par la bobine supérieure est perturbé par un objet magnétique inclus dans le corps transporté.

langés aux produits d'extraction (charbon, minerais, etc...) et qui risquent d'occasionner de graves détériorations aux courroies transporteuses et aux broyeurs et concasseurs.

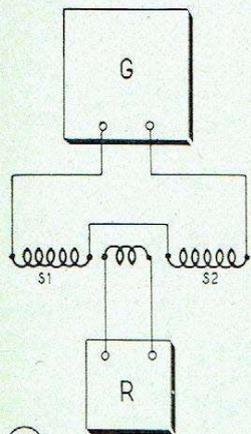
A titre documentaire, signalons que des milliers de débris métalliques les plus divers : boulons, débris d'outils, de roues de wagonnets, pointes de pioches cassées, d'un poids total de plusieurs tonnes sont éliminés chaque mois dans une seule installation de broyage de minerai à Volklingen (Sarre).

Le détecteur comporte :

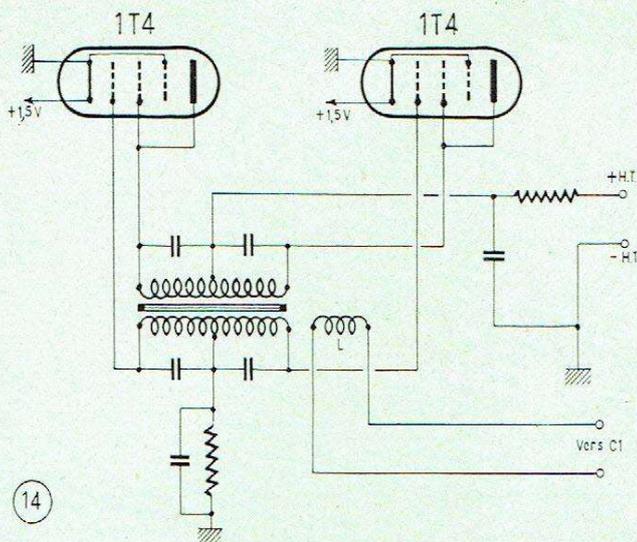
- 1° Une bobine d'excitation ;
- 2° Des bobines détectrices dont le nombre dépend de la largeur de la bande transporteuse. La bobine d'excitation et les bobines détectrices sont montées sur un cadre en bois bakélinisé, à travers lequel passe la bande transporteuse ;
- 3° Un coffret contenant l'amplificateur et les relais actionnant les systèmes de signalisation ou commandant éventuellement l'arrêt de la bande transporteuse.

La figure donne aussi un schéma de principe de cet appareil. La bobine d'exploration est généralement prévue pour être alimentée par le secteur à 50 Hz. Les bobines détectrices placées sous la bande transporteuse sont en nombre pair et branchées en opposition. L'amplificateur, dont le dernier étage est monté en push-pull, actionne un relais provoquant l'allumage d'une lampe de signalisation, l'émission d'un signal sonore et éventuellement l'arrêt du moteur d'entraînement de la bande transporteuse.

Le système peut être avantageusement complété par un électro-aimant placé en aval du détecteur. Le rôle de cet électro-aimant très puissant est d'éliminer les fragments de métal magnétique mélangés au minerai ; il n'est excité que lorsque le détecteur a signalé la présence d'un fragment métallique. L'électro-aimant peut ainsi être établi pour une très forte puissance, tandis qu'un électro-aimant excité en permanence voit sa puissance limitée par l'échauffement maximum que peut supporter l'enroulement.



13



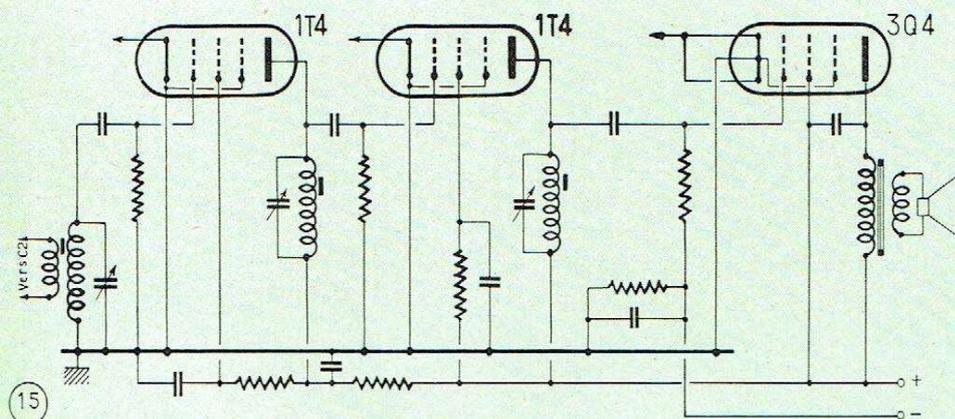
14

Fig. 13. — Principe du couplage nul entre le générateur et le récepteur, dans le détecteur portatif.

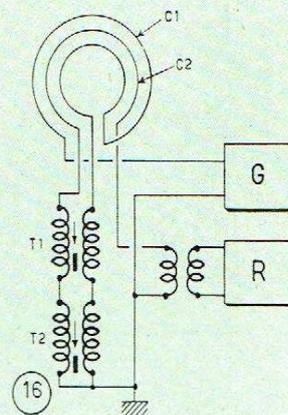
Fig. 14. — Schéma de principe de l'oscillateur symétrique accordé. L'enroulement L permet le couplage avec le cadre.

Fig. 15. — Le récepteur est un amplificateur B.F. accordé sur la fréquence du générateur. L'écouteur est réglé acoustiquement.

Fig. 16. — Le cadre explorateur. Les transformateurs T₁ et T₂ à noyaux réglables permettent de modifier le couplage entre les deux enroulements C₁ et C₂.



15



16

DÉTECTEUR PORTATIF

Cet appareil comprend un générateur à fréquence musicale G, un récepteur R accordé sur la même fréquence, un système de bobinages S₁ et S₂ équilibré, établi pour que, normalement, le couplage entre l'émetteur et le récepteur soit nul (fig. 13). Une masse métallique approchée des bobinages détruit l'équilibre et le récepteur reçoit une tension musicale qu'il amplifie; finalement, le résonateur est actionné.

Le détecteur électronique de métaux devant pouvoir fonctionner en tous lieux comporte des tubes à chauffage direct alimentés par piles. Les tubes appartiennent à la série miniature « batteries » de caractéristiques américaines.

Générateur à fréquence musicale

Le générateur doit fournir une tension sinusoïdale exempte de distorsion harmonique. A cet effet, on utilise un étage oscillateur symétrique à transformateur accordé (fig. 14). Cet étage oscillateur comporte 2 tubes pentodes 1 T 4. Un enroulement spécial L permet le couplage de l'étage oscillateur avec le bobinage C₁ du cadre explorateur.

Récepteur

Le récepteur est un amplificateur basse fréquence accordé sur la fréquence du générateur, de manière à augmenter le gain et

diminuer l'influence des perturbations apportées par les lignes de distribution d'énergie électrique. Il comporte 2 tubes 1 T 4 et 1 tube 3 Q 4. La figure 15 indique son schéma de principe. Le cadre inducteur C₂ est relié au primaire du transformateur d'entrée du récepteur. Le circuit grille du premier tube et les circuits anodiques des divers tubes sont constitués par des impédances accordées sur la fréquence du générateur.

Le résonateur acoustique est constitué par un écouteur placé au fond d'un volume résonnant accordé sur la même fréquence.

Cadre explorateur

Le système de bobines assurant le couplage entre l'oscillateur et le récepteur comprend (fig. 16) :

- 1° Un ensemble C₁ de 2 enroulements identiques connectés en série de manière que le flux résultant des 2 enroulements à travers un bobinage C₂ soit nul ;
- 2° Un bobinage C₂ jouant le rôle d'un cadre récepteur et relié au récepteur.

Etant donné qu'il est pratiquement impossible de réaliser du premier coup des bobinages identiques et un couplage nul entre C₁ et C₂, on intercale dans le circuit C₂ un système de compensation permettant de régler le couplage avec l'enroulement C₁.

On peut ainsi obtenir l'équilibre du système, réglage pour lequel le résonateur reste silencieux. Les enroulements C_1 et C_2 sont contenus dans une palette circulaire plate en bois imprégné, muni d'une poignée caoutchoutée.

CONCLUSION

L'exposé ci-dessus montre que la technique des détecteurs de métal permet d'adapter ces appareils aux divers problèmes à résoudre,

qui diffèrent essentiellement selon les dimensions des corps à détecter, leur nature et celle du milieu environnant.

L'électronique a, dans ce domaine, apporté une solution à des problèmes qu'aucun autre procédé n'avait jusqu'ici résolu, et contribue ainsi à la suppression de certains accidents de machine et à l'amélioration de la qualité des produits fabriqués.

J.-F. DUSAILLY

BIBLIOGRAPHIE

- Curtiss R. Schafer. — Metal detector for the lumber industry (Electronics, septembre 1947, p. 100);
 C.-W. Clapp. — Detecting tramp metal in logs and iron ore (Electronics, mars 1951, p. 88);
 Curtiss R. Schafer. — Industrial metal detector design (Electronics, novembre 1951, p. 86);

Marcel Grobtuch et D.J. Williams. — (Electronics, juillet 1952 p. 124);

Gérard Hugel. — Les détecteurs électroniques et la protection des installations de broyage (Manutention mécanique et productivité, n° 3, 1952, p. 13).

L'ÉLECTRONIQUE A LA FOIRE DE HANOVRE

(Suite de la page 87)

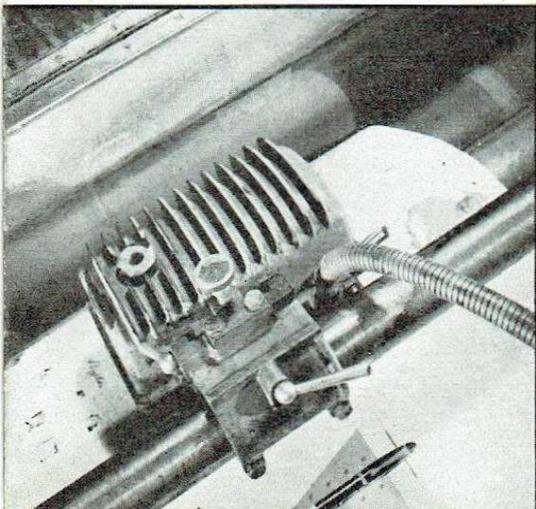
est aussi élevé que celui d'une petite voiture neuve! Si, par contre, vous désirez relier le téléphone de votre voiture au réseau local, adressez vous à Lorenz qui fournit des standards de téléphone d'automobile de 45 à 1980 lignes; la fréquence utilisée est de l'ordre de 80 MHz.

Plusieurs exposants offrent des soudeuses H.F.; nous avons particulièrement remarqué une soudeuse pour matières plastiques chez Herfurth. L'appareil peut être fourni pour des puissances entre 300 W et 2,5 kW, la fréquence utilisée est de l'ordre de 40 MHz.

La perceuse pour trous rectangulaires n'est plus une utopie. Lehfeldt présente une machine dont l'aspect ressemble à celle d'une perceuse ordinaire et qui perce des trous ronds ou rectangulaires dans tout matériau, y compris l'acier trempé, et cela avec une précision de quelques microns. L'outil est en fer doux. Cela choque votre bon sens? Sachez donc que l'outil en question vibre à une fréquence ultrasonique et qu'il travaille plutôt comme une meule, car il baigne constamment dans un abrasif liquide.

Pour terminer, faisons un petit tour

Tête de lecture de l'appareil A.E.G. pour le repérage des impressions polychromes.



Soudeuse par points à ignitrons utilisée dans l'industrie automobile (Doc. A.E.G.).

chez les fabricants d'appareils de mesure. Wandel & Goltermann expose un oscilloscope utilisable jusqu'à 300 MHz. Nous n'avons pas pu percer le secret de son amplificateur vertical; il est probablement du type à ligne. Le signal de balayage est obtenu en partant d'un générateur sinusoïdal qu'on peut synchroniser dans un rapport très étendu. Pour le balayage, on n'utilise qu'une partie d'un flanc de chaque sinusoïde et on obtient ainsi des vitesses de balayage correspondant à des fréquences de 1 à 30 MHz. La non-linéarité est inférieure à 2,5 %.

Schomandel expose un fréquencemètre à lecture directe travaillant suivant le principe des compteurs à décades entre 10 Hz et 250 kHz. Un wattmètre H.F. (1kHz à 3000 MHz) à thermistance, mesurant sans shunt de 10 μ W à 10 mW a été mis au point par Haerberlein. Parmi la série d'appareils de mesure présentés par Elektro-Spezial, citons seulement les hygromètres, thermomètres, pH-mètres,

jauges à contrainte et à extension, indicateurs de niveau de liquide, etc., qui travaillent tous sur le principe du pont corrigé par un servo-mécanisme.

Elektro-Physik expose toute une série d'appareils pour mesurer les propriétés mécaniques d'une couche de vernis. Un autre appareil permet de mesurer l'épaisseur (entre 0 et 50 μ) d'une galvanisation sur fer. Un micro-chronomètre permettant la mesure des temps entre 0,1 ms et 1 s était présenté par Assmann.

Le « statomètre », fabriqué par Herfurth, est un petit appareil portatif permettant de mesurer le champ d'une charge statique. Il comporte un galvanomètre commandé par un amplificateur à résistance d'entrée très élevée.

La Foire de Hanovre nous a montré que l'électronique a déjà trouvé son entrée dans un nombre surprenant de domaines de l'industrie, ce qui ne l'empêchera pas d'en conquérir bien d'autres.

H. SCHREIBER

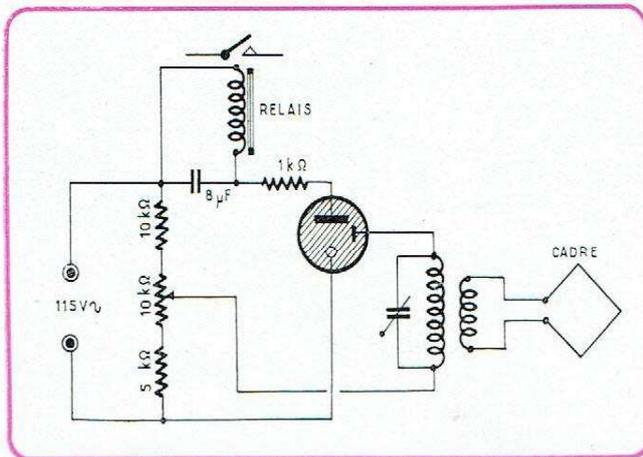
OUVRE-PORTE ELECTRONIQUE pour garage

Electronic Shortcuts for Hobbyists
Sylvania E. P., New York

Pour provoquer l'ouverture d'une porte de garage sans quitter le volant, il existe de nombreux moyens optiques, acoustiques et radioélectriques. Le procédé décrit appartient à la dernière catégorie, mais possède l'avantage essentiel de ne consommer aucun courant au repos.

Le récepteur dont la figure ci-contre montre toute la simplicité utilise un tube à gaz à cathode froide. Son électrode auxiliaire est polarisée un peu au-dessous du point d'allumage ; il suffit donc d'une très faible tension aux bornes du circuit oscillant pour que le tube devienne conducteur. Le circuit est couplé à un cadre à basse impédance, enterré sous le chemin conduisant au garage.

Un cadre similaire est fixé sous la voiture et alimenté par un générateur H.F., à la fréquence voulue. Le signal H.F. peut être produit simplement par un vibreur alimenté par la batterie de la voiture et excitant un circuit accordé en oscillations amorties. — H.S.



L'ouvre-porte électronique, équipé d'un tube à gaz à cathode froide, ne consomme aucune énergie au repos.

IDÉES ET TECHNIQUES NOUVELLES

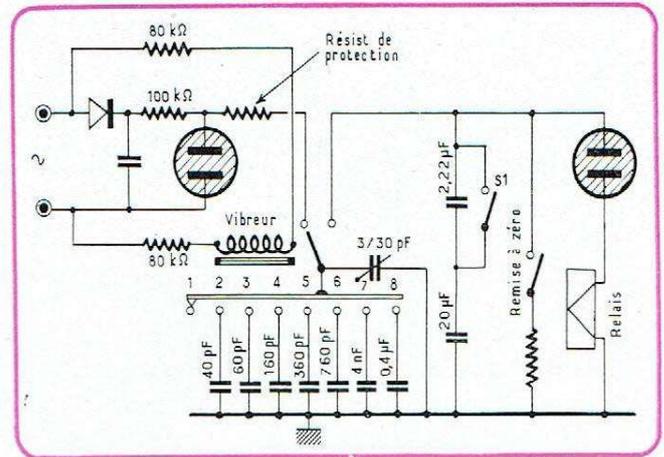
RELAIS TEMPORISE SIMPLE 0,1 SECONDE à 3 HEURES

W. Frost
Elektronik
N° 3/1955, p. 67 à 68
Munich, mars 1955

Un relais temporisé d'une constante de temps de plusieurs heures est très difficile à réaliser selon le principe classique utilisant un condensateur chargé par une résistance. Pour une durée de trois heures, par exemple, il faudrait un condensateur de 20 µF et une résistance de 500 MΩ environ ; il est difficile d'atteindre l'isolement nécessaire à un fonctionnement stable, et pratiquement impossible de réaliser des résistances de précision de valeur aussi forte.

À la place d'une résistance de charge, le montage reproduit dans la figure ci-contre utilise une petite capacité, alternativement chargée et déchargée dans un condensateur d'une valeur très forte et comportant un diélectrique à très faibles pertes. La source d'alimentation est stabilisée à une tension de 160 V ; un vibreur travaillant sur la fréquence de secteur charge une capacité commutable à cette dernière tension, pour la décharger en-

versant est assez fort pour le faire rougir. En partant de ce principe, les Ets AEG ont réalisé un voltmètre de surveillance dont la figure ci-contre reproduit le schéma et le cadran. — C.C.



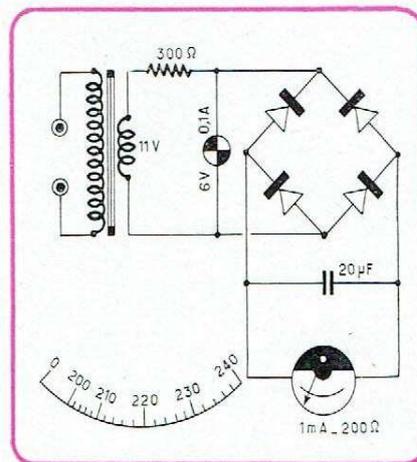
Dans ce relais temporisé, la charge d'une faible capacité est intégrée périodiquement par un condensateur de forte valeur.

APPAREIL DE MESURE A LECTURE ETALÉE

K. Nentwig
Funkschau
N° 1/1955, p. 6
Munich, janvier 1955

Un appareil de contrôle destiné à indiquer une tension de réseau de 220 V, par exemple, n'est principalement utilisé qu'entre 200 et 240 V ; on n'a pratiquement jamais besoin de la zone de 0 à 200 V. Si on désire une lecture précise avec un appareil du type classique, on doit utiliser un modèle relativement grand et coûteux.

On peut obtenir une lecture étalée et très précise en utilisant les propriétés du filament métallique d'une ampoule d'éclairage. On sait que la résistance d'un tel filament augmente fortement dès qu'il commence à rougir ; en connectant une résistance relativement forte en série, une chute de tension n'apparaît aux bornes du filament que si le courant le tra-



La lecture étalée est obtenue par une résistance à fort coefficient de température constituée par une ampoule de cadran.

suite dans un condensateur de 2 ou 20 µF, suivant la position de S₁. Quand la tension aux armatures de ce dernier a atteint la tension d'allumage de l'ampoule au néon (100 V env.) un relais est actionné.

Pour les tensions indiquées, le délai est ainsi calculé :

$$t = \frac{C_i}{C_a \cdot f}$$

si S₁ est la capacité du condensateur intégrateur, C_a celle du condensateur chargé et déchargé alternativement, et f la fréquence du vibreur. En utilisant, pour ce dernier, un relais polarisé alimenté sur le secteur, la fréquence de commutation est de 50 Hz ; et, avec les éléments utilisés dans le schéma ci-contre, on peut varier le délai entre 0,1 et 10.000 s. Pour le calcul des délais faibles, on doit tenir compte de la capacité parasite du montage, de 30 à 40 pF environ.

En utilisant un modèle au papier métallisé pour le condensateur intégrateur et une ampoule ou néon très stable, on peut facilement atteindre une précision de 1 %. — E.C.

Quand l'industrie électronique s'établit en province

Imaginez une grande façade aux lignes harmonieuses avec de larges baies vitrées se reflétant dans les eaux de la Corrèze, en même temps que les platanes géants du jardin public qui bordent l'autre rive. Autour, une petite ville coquette et pimpante qui porte bien son nom de Brive-la-Gallarde. Derrière un fond de verdure s'étagant sur de petites collines. Vous pensez peut-être à quelque lieu de plaisance. Mais approchez plus près, vous entendrez le bourdonnement de la ruche et l'écusson étoilé vous rappellera à la réalité, car il s'agit de l'Usine du Département « Emission » de la S.A. PHILIPS.

Cette usine moderne et prospère dans une petite ville par ailleurs peu industrielle nous a semblé un excellent exemple de décentralisation et nous avons demandé à son Directeur l'autorisation de la visiter, d'autant plus que nous avions appris qu'elle était en pleine extension, de nouveaux laboratoires venant d'être inaugurés.

En franchissant la porte d'entrée, le décor change ; il est celui de la « Rhapsody In Blue ». Les murs sont gris bleu et les portes bleu ciel à filets bleu marine. Cette couleur a été adoptée pour corriger la teinte ocre de la lumière venant de la verrière et due aux tuiles du toit. C'est un détail qui peut sembler insignifiant, mais il caractérise la recherche qui régit l'organisation de cette entreprise.

Avant de visiter ateliers et laboratoires, jetons un coup d'œil sur les bureaux simples, spacieux, aux meubles métalliques modernes, ainsi qu'à la vaste salle de conférences où quelques équations restées sur le tableau renseignent sur les problèmes qui s'y discutent. Ces bureaux sont groupés au premier étage et desservis par une galerie intérieure entourant un grand hall où se trouve le laboratoire.

L'entrée des ateliers, dans une rue adjacente, est tout aussi accueillante que celle des bureaux et c'est par une allée fleurie qu'ouvriers et ouvrières se rendent à leur travail. Entrons avec eux dans ces ateliers où la lumière abonde, lumière du jour par les baies vitrées et le soir lumière des tubes fluorescents qui fournissent l'éclairage intensif non éblouissant, nécessaire pour certains travaux extrêmement fins exigés par la fabrication des tubes électroniques. Fabrication passionnante à suivre et qui commence à l'atelier d'outillage.

L'outillage

Ici sont réalisés les outils les plus divers pour la fabrication des pièces détachées entrant dans un tube électronique. Ces outils sont usinés par des machines-outils modernes et subissent généralement un finissage manuel de haute précision. Mais, avant de continuer

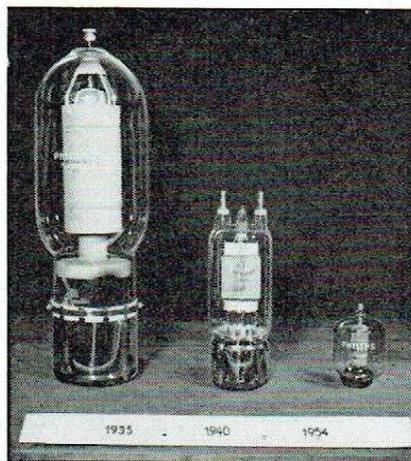
par Marthe DOURIAU

la visite des ateliers de fabrication, arrêtons quelques instants au magasin où sont stockés les différents tubes dont nous verrons la construction.

Le magasin

Dans un spacieux local, des tubes de toutes les dimensions sont rangés par étage sur des supports. En attendant qu'ils remplissent leur rôle dans les équipements électroniques, la lumière joue sur les ampoules, métallisées ou non, faisant songer à un étalage de cristallerie. Nous y trouvons :

- des tubes d'émission de quelques watts à plusieurs centaines de kilowatts ;
- des tubes à très haute fréquence (magnétron, klystron) fournissant en impulsions des puissances de crête de quelques kilowatts à plusieurs mégawatts ;
- des tubes redresseurs haute tension à remplissage gazeux pour l'alimentation anodique, permettant d'obtenir en courant redressé une puissance unitaire allant du kilowatt jusqu'à 30 kW ;
- des tubes redresseurs industriels ;
- des soupapes à vide à très haute tension pour générateurs à rayons X (125.000 à 150.000 V) ;



En moins de 20 ans, les dimensions des tubes industriels ont été considérablement réduites. Témoins ces modèles de même puissance (750 W).

— des thyratrons à remplissage gazeux, certains ayant des tensions inverses supérieures à 21.000 V pour des intensités allant jusqu'à 6 A.

Même dans les tubes classiques, les variétés sont très grandes, car il faut prévoir le remplacement des tubes anciens. Cela nous a permis de faire des constatations intéressantes sur l'évolution de la fabrication des tubes électroniques. Elles sont illustrées par la photographie ci-contre où l'on peut voir trois tubes fournissant une puissance identique, mais construits à des époques différentes : 1935, 1940 et 1954. Cette réduction de volume résulte à la fois des études qui, sans arrêt, sont faites dans les laboratoires, du perfectionnement de l'outillage permettant de réduire la distance entre certaines électrodes, des nouvelles techniques de montage et des progrès réalisés dans la fabrication du verre des ampoules.

La fabrication des pièces détachées

Les opérations effectuées dans cet atelier sont multiples et exigent des machines-outils tout à fait spéciales. Nous y remarquons d'abord un tour semi-automatique pour le décolletage des passages en ferrico ou autre métal ayant le même coefficient de dilatation que le verre. Par la suite, ces passages seront soudés sur des ampoules pour les sorties d'électrodes (filaments ou anodes) qui, en fonctionnement, sont parcourues par des intensités de courant importantes.

Pour la préparation des plaques constituant les anodes et des entretoises, nous avons vu aussi des presses qui emboutissent, perforent et plient.

Cependant, dans cet atelier, le travail le plus curieux est la fabrication des grilles et des cathodes. Suivant la nature du métal qui les constitue, les grilles sont serties sur machine, soudées électriquement par points ou ligaturées. Il faut une grande habileté à l'ouvrier qui exécute ces fines soudures et ligatures, mais la machine est encore plus surprenante : sur deux tiges apparemment en cuivre s'enroule un mince fil de molybdène avec un espace entre spires prévu pour le passage des électrons vers l'anode, espace rigoureusement identique et de quelques dixièmes de millimètres. Lorsque le nombre de spires voulu pour une grille est bobiné, la machine enroule quelques tours à pas très espacé avant de recommencer l'autre. Pendant qu'un ouvrier contrôle à la loupe son travail, elle exécute ainsi douze grilles à la minute.

Suivant la nature des tubes, la composition du filament varie. Pour fabriquer les filaments des tubes redresseurs, on enroule un fil de tungstène de quelques microns autour d'un fil métallique dont le diamètre correspond à celui

de la spirale que l'on veut obtenir ; ensuite, on dissout le fil support dans un acide qui n'attaque pas le tungstène.

Le filament est ensuite chargé de matières émissives (carbonate triple de baryum et de strontium). Cette opération s'effectue soit au pistolet, soit par cataphorèse, procédé analogue à l'électrolyse, à ce détail près que ce n'est pas le métal d'une électrode qui se déplace vers l'autre, mais les ions métalliques en suspension dans le liquide. On opère également au trempé avec de la baryte anhydre fondue.

Pour les tubes d'émission, on utilise des filaments en tungstène thorié qu'un ouvrier place sur des mandrins en molybdène où ils sont chauffés à très haute température dans une atmosphère réductrice.

Montage des petits tubes

Une des fabrications les plus intéressantes de cet atelier est celle des pieds en verre poudré qui ont permis la réduction de volume des tubes actuels. Pour cela, les tiges de fer-nico ou de molybdène constituant les sorties sont émaillées au four. On place ensuite les tiges suivant la disposition cylindrique moderne dans des moules en graphite remplis de poudre de verre. Après avoir fait fondre cette dernière dans une atmosphère réductrice, on retire une plaquette en verre translucide portant les traversées de courant. Pour terminer, l'ouvrier vérifie, avec une source de lumière polarisée, qu'il n'existe aucune tension interne dans le verre. A ce poste de travail, les supports des pièces semblent, à certains moments, maintenus comme dans les romans policiers par une main invisible. Il s'agit d'une suceuse, le vide dans cette usine étant peu rare.

Comme les horlogers, ouvriers et ouvrières de cet atelier travaillent à la loupe pour assembler sur leur socle les différentes électrodes. Nous avons vu effectuer des travaux très minutieux comme l'étirage et le calibrage des grilles. C'est là que sont soudées électriquement par points les électrodes de certains tubes.

Montage des tubes moyens et grands

C'est dans cet atelier que l'on procède à la soudure à l'arc des électrodes sur les pieds. Nous avons vu aussi des filaments de tungstène thorié portés à l'incandescence dans une cloche contenant un gaz à teneur de carbone, cette carburation ayant pour but de leur donner un grand pouvoir émissif. Un poste à rayons X permet de contrôler après le traitement si l'emplacement des électrodes est toujours correct.

Verrerie

Les électrodes montées sur leur support sont enfermées dans une ampoule de verre qui n'est en communication avec l'air libre que par le queusot (petite ouverture qui, par l'intermédiaire d'un tube de verre sera, par la suite, réunie à la pompe à vide). Cette opération s'effectue dans l'atelier de verrerie où les gens frileux se trouvent très bien, car les chalumeaux à gaz oxygène dégagent une importante quantité de calories.

C'est un travail assez spectaculaire que le scellement des lampes sur l'embase de verre. Travail également très délicat, car il importe d'une part d'éviter l'oxydation, et d'autre part de bien centrer les électrodes. Les tubes sont

placés sur un tourniquet et reçoivent à l'intérieur de l'ampoule un gaz réducteur.

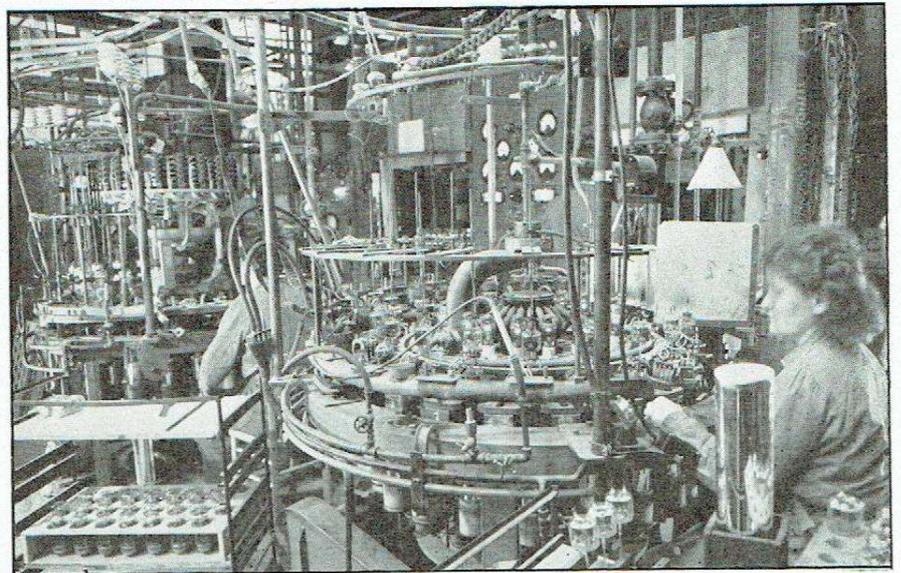
Le déplacement automatique des ampoules est réglé de façon que le chauffage se fasse très progressivement jusqu'à la température de fusion. Le refroidissement s'effectue aussi progressivement et toujours avec une circulation de gaz dans l'ampoule pour éviter l'oxydation.

Dans une autre section, nous avons vu exécuter différents travaux sur une grosse pièce de verrerie. L'ampoule est montée sur un tour comportant deux têtes travaillant en synchronisme quelle que soit la distance existant entre elles. Tout en chauffant le verre avec son chalumeau, le verrier souffle de l'air, par l'axe de rotation, à l'intérieur du verre, afin d'éviter son écrasement et rectifie la forme de l'ampoule par gravité.

A côté, un autre ouvrier fixe une anode sur le sommet d'une ampoule. Il commence par faire fondre le verre avec son chalumeau

Après ces opérations, il convient de vérifier si celles-ci n'ont pas provoqué, dans le verre, de tensions rendant l'ampoule plus vulnérable. Ce contrôle s'effectue qualitativement avec un polariscopes, mettant en évidence l'existence de tensions dans le verre. Dans cet instrument de mesure, la lumière d'une lampe à incandescence tombe sur une plaque de verre où elle est polarisée pour un angle d'incidence convenable. Le faisceau de lumière polarisée traverse d'abord l'ampoule à examiner, puis une lame à teinte sensible rouge, ensuite un nicol placé devant l'oculaire, où l'observateur peut comparer la couleur avant et après l'introduction de l'ampoule à examiner.

Le local voisin est destiné à des opérations similaires pour le montage et le scellement des ampoules de soupapes à très haute tension pour générateurs de rayons X. Mais là, des précautions encore plus grandes sont indispensables. C'est pourquoi des dépoussié-



Les ateliers de fabrication des tubes électroniques ont un aspect extrêmement tourmenté du fait des très nombreux fluides exigés par les différentes machines. On voit ici un banc de pompage automatique.

pour former un trou, introduit l'anode et la fixe en évitant la formation d'une masse de verre. Toujours avec son chalumeau, il procède ensuite au recuit. Le recuit est une opération indispensable après l'exécution des modifications consécutives au travail du verre. Il existe des fours électriques à résistance spéciaux pour cet usage. Leur température maximum est de 500°, elle n'est appliquée à partir de 200° que très progressivement. Cette progression est de 2° C par minute et s'effectue automatiquement.

L'un des travaux de verrerie nous a fortement intrigué. Il consiste à souder entre eux de petits tubes de verre qui apparemment semblent identiques. Pourquoi ne pas prendre un tube de la longueur voulue au lieu d'assembler ainsi plusieurs morceaux ? En voici l'explication : pour le montage de certaines électrodes d'un métal ayant un coefficient de dilatation inférieur à celui du verre de l'ampoule on est obligé de souder bout à bout des tubes de verre à coefficient de dilatation légèrement croissant pour arriver sensiblement à celui de l'ampoule.

reurs sont en action ; de plus, le personnel est habillé de blouses blanches immaculées et, comble de l'élégance, travaille en gants blancs de nylon.

Le pompage

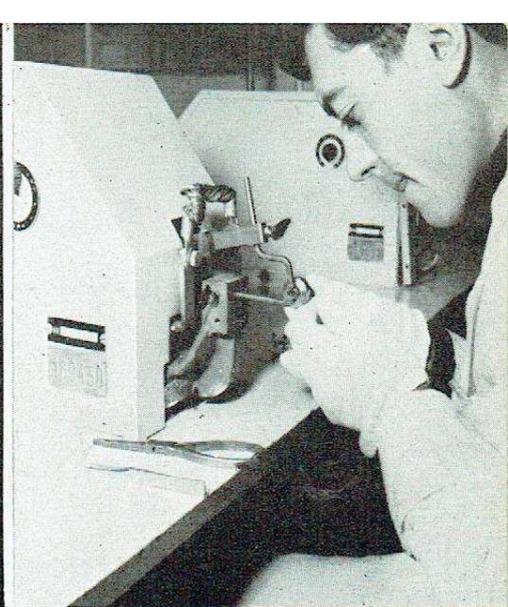
Le pompage consiste à faire le vide dans l'ampoule puis, pour certains tubes, à introduire la vapeur de mercure ou le xénon. Ce travail s'effectue soit sur des bâtis fixes, soit sur des bâtis mobiles, où toutes les opérations se font automatiquement. Ces bâtis mobiles qui, avec un peu de musique, feraient penser aux manèges des foires, comportent vingt et un supports placés en arc de cercle. A chaque déplacement de la machine, l'ouvrier, dont les doigts sont recouverts d'amiante, ferme l'ampoule du tube qui arrive en face de lui à l'endroit du queusot, le retire et, à sa place, en met un nouveau qu'il relie à la pompe à vide correspondante — pompe qui comporte à la base une poche à air liquide pour



Fabrication, par étirage, des filaments spiralés de tubes redresseurs.



Pour faire les pieds, on part des broches et d'une dose de verre poudré.



Montage, par soudure électrique, de la grille d'un tube d'émission de 150 W.

arrêter les vapeurs de mercure. La durée de chaque phase du pompage correspondant à l'une des vingt positions varie entre deux et cinq minutes. Dans la première position occupée par le tube, le verre est chauffé pour permettre de dégazer l'ampoule grâce à un four à gaz la chauffant à environ 400 °C. Ensuite, on applique la tension convenable aux filaments. Puis, automatiquement, les tubes sont entourés par la bobine d'un four haute fréquence, ce qui permet de chauffer les pièces métalliques pour les dégazer. A chaque position, le nombre de spires de la bobine est différent de façon à augmenter graduellement le chauffage haute fréquence, afin de dégazer de plus en plus et faire absorber par la pompe, petit à petit, tous les gaz occlus. Enfin, les tensions continues d'anode et de grilles sont appliquées aux électrodes correspondantes.

Dans les bâtis fixes où se fait surtout le pompage des tubes à atmosphère gazeuse, l'opération s'effectue en trois temps : on fait d'abord le vide, on vaporise le getter et on introduit le xénon, la vapeur de mercure ou tout autre gaz.

Dans les ballons des tubes redresseurs industriels, le mercure se condense sur les parois du verre et tous ces ballons brillants semblent plutôt destinés à l'ornementation d'un palais des mille et une nuits — qu'à la recharge des batteries d'accumulateurs ou autres usages industriels.

Le pompage d'un prototype est une opération particulièrement délicate. L'ingénieur ne

perd de vue son enfant à aucun moment et, pour le surveiller, utilise un pyromètre optique. Cet appareil permet de comparer la couleur d'un fil dont on connaît la température avec celles des électrodes du tube dont le dégazage est en cours par chauffage haute fréquence. Dégazage qui peut être fatal pour la cathode s'il est trop rapide par suite d'un excès de chauffage. Mais avec l'appareil de mesure dont nous venons de parler, un observateur expérimenté est capable d'évaluer la température à 10° près.

Quelques opérations dans l'atelier des tubes spéciaux

Dans les locaux où sont réalisés les prototypes, nous avons remarqué un procédé très rapide de brasures localisées. Elles sont réalisées dans une atmosphère plus ou moins réductrice par chauffage haute fréquence, le courant étant concentré sur une spire fermant le circuit secondaire d'un transformateur haute fréquence.

Nous avons vu aussi confectionner des pieds glacés avec anneaux métalliques Kovar pour sorties extérieures de grilles. Mais une opération qui nous a paru demander la plus grande minutie est la fabrication de grilles en forme de cages pour des tubes émetteurs de 500 MHz. Elles sont constituées par quarante-quatre barres écartées d'un espace rigoureusement identique sur un cercle d'un diamètre de 9 mm. Une très grande précision de

montage est indispensable car les deuxièmes grilles doivent être cachées par les premières et, pour cela, il importe qu'elles se trouvent exactement les unes derrière les autres.

Contrôle final

On conçoit aisément l'importance des essais dans une fabrique de ce genre. Ils s'effectuent en deux stades, l'un immédiatement après la fabrication, l'autre au bout d'un certain temps de stockage au magasin, dont la durée est, suivant les tubes, de trois semaines minimum à trois mois.

Dans l'un et l'autre cas, les tubes sont soumis à des essais complets, statiques et dynamiques. Pour l'essai des tubes à grande puissance, on dispose d'un redresseur de 50 kW à tension variant de 0 à 20 000 V et d'un autre redresseur fournissant 200 000 V pour l'essai des soupapes.

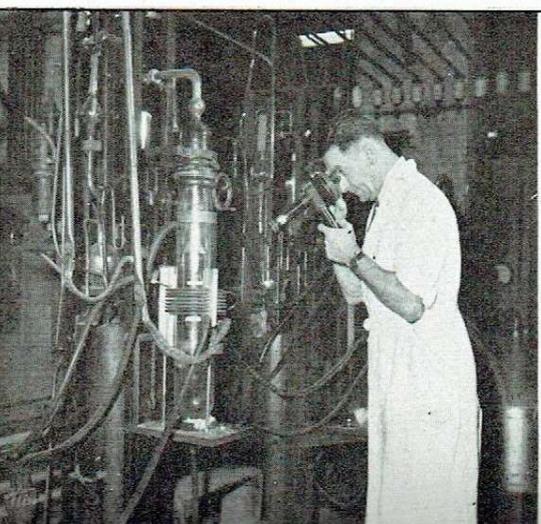
Le laboratoire

Le laboratoire occupe une place très importante dans cette usine. Elle est importante non seulement du point de vue superficielle, mais aussi par les études qui y sont faites. Les ingénieurs disposent d'une cage de Faraday à deux blindages d'une grandeur inhabituelle, ce qui permet d'y effectuer sans aucune gêne les essais les plus divers. Les deux blindages sont assemblés et réunis à la terre par deux

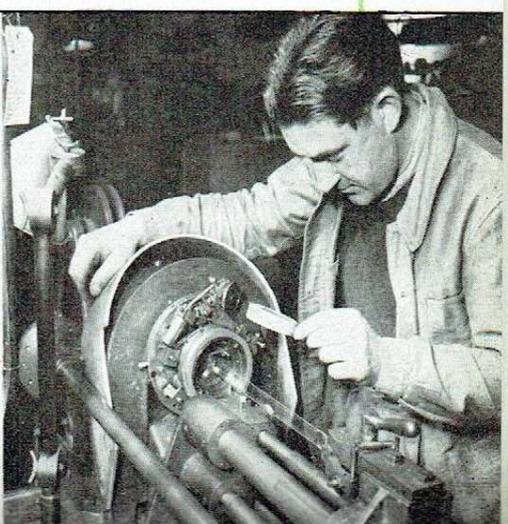
Assemblage manuel, sur banc de montage, des éléments d'un tube de 300 W.

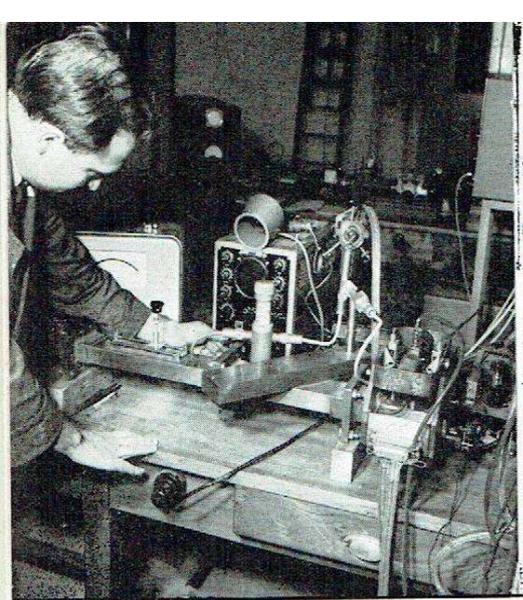


Contrôle au pyromètre optique de la température d'anode lors du dégazage.

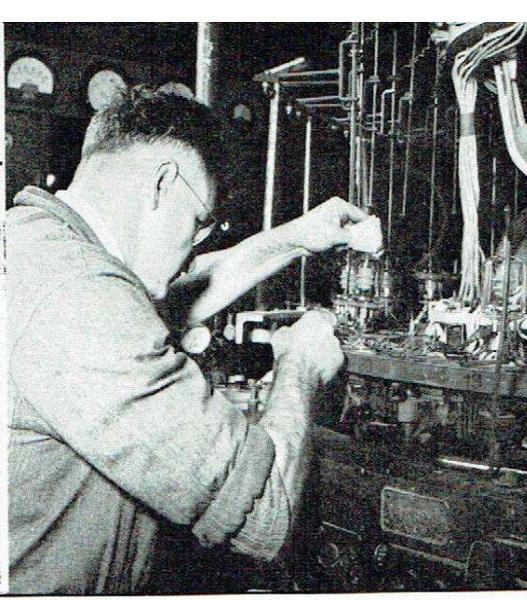


Fabrication en série de grilles serties sur une machine semi-automatique.

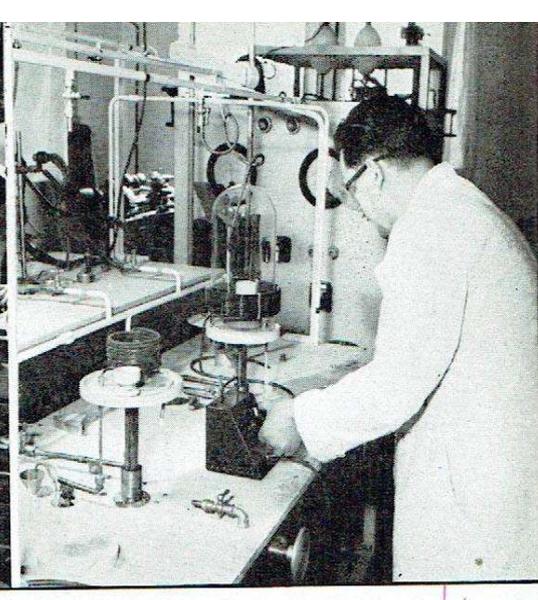




Banc d'essai pour klystrons reflex de 8,5 cm de longueur d'onde (3500 MHz).



Pompage sur machine rotative des tubes du type à anode graphite.



Brasure au moyen d'un dispositif à induction H.F. sous atmosphère contrôlée.

conducteurs différents ; de cette façon, la paroi interne ne subit aucun phénomène d'induction.

Les bancs des magnétrons se distinguent par la perfection de leur aménagement. Ils sont au nombre de trois, destinés respectivement au contrôle des magnétrons travaillant sur 3, 10 et 23 cm. Ces bancs d'essais comportent une alimentation en impulsions de 6000 V, un électro-aimant fournissant le champ variable nécessaire, un guide d'ondes transportant l'énergie du magnétron à un circuit d'absorption sur lequel la puissance dissipée est mesurée à l'aide d'un thermocouple. Un oscilloscope permet de voir le spectre du magnétron et, en liaison avec un ondemètre, d'évaluer l'amplitude en fonction de la fréquence.

La haute fréquence engendrée par les magnétrons peut être décelée très spectaculairement au voisinage du guide d'ondes par l'illumination de tubes à atmosphère gazeuse. Des aigrettes sont visibles à l'intérieur de leur ampoule et, suivant le gaz occlus, elles s'illuminent de couleurs variées très chatoyantes.

Dans le laboratoire, nous avons vu aussi la machine à aimanter l'acier spécial des circuits magnétiques de magnétrons. Elle utilise la décharge d'une importante batterie de condensateurs, décharge commandée par un ignitron. La batterie de condensateurs est en série avec le bobinage externe, dans lequel est placée la pièce d'acier à aimanter.

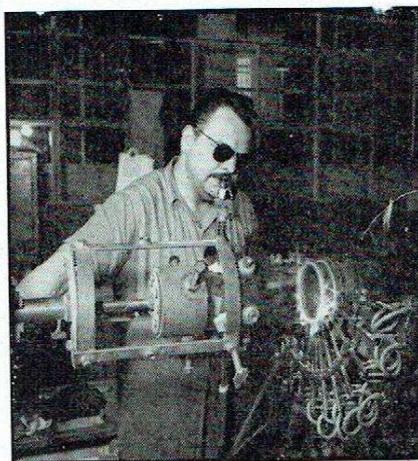
Une partie importante du laboratoire est réservée à l'étude et aux essais :

1°) De nouvelles cellules à photocathodes semi-transparentes présentant l'avantage de n'exiger qu'une faible tension d'alimentation et de fournir une réponse proportionnelle au flux lumineux ;

2°) Des photomultiplicateurs ayant la propriété d'amplifier un million de fois un flux d'électrons émis par la cathode. Ils sont susceptibles, notamment, d'applications du plus haut intérêt en physique nucléaire (1).

Cette fabrication exige des soins spéciaux et une propreté méticuleuse. D'autre part, le pompage est beaucoup plus compliqué car le dégazage ne peut être fait par chauffage haute fréquence comme pour les tubes classiques, mais seulement par chauffage au gaz, à 400 °C. La température d'étuvage, d'une valeur très

(1) Application des photomultiplicateurs à la détection des rayonnements radioactifs, par MM. R. CHAMPEIX, H. DORMONT, E. MORILLEAU. *Technique Moderne*, Mai 1954.



Scellement ampoule-anode d'un tube de 22 kW. L'air insufflé s'oppose à l'écrasement de l'ampoule. Mais ne pourrait-on pas chercher une source de pression plus mécanique ?



Poste d'essais dynamiques de tubes émetteurs de petite et moyenne puissance.

stricte, demande une régulation automatique. Pour les mesures, des instruments à très grande sensibilité sont indispensables, car il faut contrôler des courants extrêmement faibles de l'ordre du microampère et même du nanoampère.

Le laboratoire, en outre, contrôle d'une façon continue la qualité de la production de l'usine par des séries d'essais spéciaux, effectués sur des tubes prélevés au hasard, en cours de fabrication.

L'usine aux mille canalisations

Ce qui étonne pour la première fois que l'on visite une entreprise de ce genre, c'est la multitude des canalisations due à la variété des fluides exigés par la fabrication des tubes électroniques. Ces canalisations, peintes suivant la normalisation internationale, acheminent dans les ateliers et laboratoires du gaz de ville, du gaz mixte pour les fours et les chalumeaux, du gaz brûlé, du vide primaire (préliminaire), du vide chimique, de l'air basse pression, de l'air haute pression, de l'eau de ville, de l'eau de la Corrèze pour le refroidissement des tubes de grande puissance. D'autre part, des bouteilles installées aux endroits voulus fournissent l'azote, le xénon, le gaz carbonique et l'hydrogène.

Nous n'avons pas eu la prétention de décrire en son entier la fabrication des tubes électroniques. Notre ambition a simplement été de fournir un aperçu de sa complexité et des moyens mis en œuvre dans une usine moderne, où, si l'expérience des spécialistes et l'adresse des ouvriers restent des facteurs importants, les méthodes scientifiques du travail ont complètement remplacé l'empirisme.

Terminons en fournissant quelques chiffres concrétisant le développement de cette florissante entreprise :

En 1937, elle occupait une superficie de 1.365 m² et aujourd'hui elle s'étend sur 4.315 m². Il s'agit donc d'une expérience très heureuse d'implantation d'une usine en province où le problème de la main-d'œuvre spécialisée ne se pose plus. Par sa compréhension sur le plan social, cette firme a su rettenir, depuis sa fondation, le personnel régional qu'elle avait dû former à l'origine. Elle contribue donc à la prospérité de la riante cité de Brive dont, contrairement à bien d'autres industries, elle est un ornement.

M. DOURIAU

Les STABILISATEURS de TENSIONS ALTERNATIVES

noms de *Demontvignier* et *Touly* demeurèrent associés à la conception et à la réalisation des stabilisateurs de tension de ce genre.

Enfin, on reprit le principe général mis en lumière par *Boucherot*. Le savant démontra que si l'on branche aux bornes de l'un des éléments d'un circuit résonnant constitué par une inductance et une capacité en série un circuit d'utilisation, on obtient une tension constante dans de très larges limites de la résistance de charge et pour des variations très conséquentes de la tension d'entrée. A cette époque déjà, on obtint une tension de sortie stabilisée à $\pm 3\%$ pour une variation de la tension d'entrée de $\pm 15\%$.

Le bref rappel des procédés qui furent étudiés et mis en œuvre à l'époque, et auxquels correspondirent d'intéressantes réalisations industrielles, n'est pas inutile car la plupart d'entre eux sont encore utilisés aujourd'hui. Actuellement, on peut classer les stabilisateurs de tension en deux catégories : l'une employant un *circuit magnétique saturé* et utilisant les effets de la *résonance* — l'autre utilisant un *transducteur* associé à un dispositif de *commande électronique*.

Stabilisateurs magnétiques

D'excellents modèles de régulateurs de tension faisant appel à la combinaison d'un circuit électrique et d'un circuit magnétique à *grande réactance de fuite*, nous allons examiner le fonctionnement de l'un d'eux, fabriqué en France sous le nom de *Reguvolt* par *M.C.B.* sous la licence américaine *Sola*.

Il est composé, suivant la figure 1, par un circuit magnétique fermé sur la branche centrale duquel sont disposés les enroulements. A l'une des extrémités de cette branche est logé un enroulement primaire *P*, relié au réseau et sur lequel est bobiné un enroulement de compensation *p*. L'autre extrémité porte un bobinage secondaire *S* formant avec le condensateur *C* un circuit accordé sur la fréquence du réseau et connecté en série avec l'enroulement de compensation *p*. Un shunt magnétique *S* sépare les deux sections.

Examinons le fonctionnement de l'ensemble. Lorsqu'un courant alternatif circule en *P*, un courant induit prend naissance en *S*. Par suite de la réductance des entrefers du shunt *S*, la tension secondaire est pratiquement égale à celle due au rapport de transformation. Si la tension aux bornes de *P* augmente, le flux dans la partie du circuit magnétique sur lequel est bobiné *S* augmente. Lorsque la densité du flux est telle que la valeur de la réactance inductive de *S* approche de celle de la réactance de la capacité *C* à la fréquence d'excitation, le circuit entre en résonance. La tension aux bornes de *S* croît jusqu'à une valeur prédéterminée, supérieure à celle due au rapport de transformation. La densité de flux s'accroît dans la partie du circuit magnétique correspondant à *S* et réagit considérablement

Origines des stabilisateurs

Les premiers stabilisateurs virent le jour voici plus de 30 ans. Le tube *fer-hydrogène* ne connut qu'un succès éphémère à cause de son inertie et parce qu'il régularisait le courant, et non la tension. Intéressant pour les appareils absorbant une intensité constante, il perdait tout intérêt lorsque la charge devait varier. On fit alors appel aux *transformateurs à fuites*. Chacun sait que dans un tel transformateur, le flux magnétique primaire *F_p* est la somme géométrique du flux commun aux deux enroulements *F_c* et du flux de fuites du primaire *f_p*. Le flux secondaire *F_s* est égal à la différence entre le flux commun *F_c* et le flux de fuites du secondaire *f_s*. *F_p* et *F_s* représentent, à une constante près, les tensions primaire et secondaire. Si le circuit magnétique est saturé, toute augmentation de la tension primaire provoque une aug-

mentation des flux de fuites *f_p* et *f_s*, d'où une diminution du flux secondaire *F_s*. La tension secondaire diminue, et on obtient un effet régulateur. Ce procédé conduisant à des réalisations sensibles aux variations de la charge, l'insertion d'un condensateur de valeur importante en série avec le primaire atténue considérablement ce défaut.

Un autre procédé consista à connecter en série les primaires de deux transformateurs dont le circuit magnétique de l'un était saturé. Les secondaires étaient également en série, mais disposés en *opposition de phase* et calculés pour que la tension de sortie soit équivalente à celle du réseau. Une étude vectorielle démontra que l'on obtenait une tension pratiquement stable pour des variations importantes à l'entrée. Le courant obtenu étant affecté d'un pourcentage d'harmoniques assez important, on dut atténuer les plus intenses à l'aide de filtres appropriés. Les

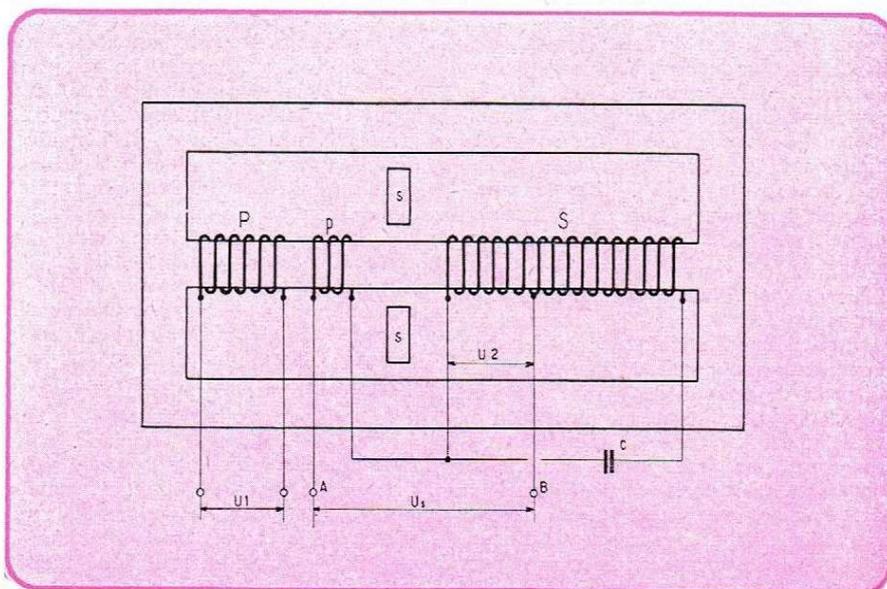


Fig. 1. — Schéma de principe du Reguvolt M.C.B. (licence Sola) dont on peut voir, en tête de cet article (à gauche) deux modèles de série.

la reluctance relative du shunt S. Les variations de flux produites par les variations de la tension d'entrée U_1 sont donc largement absorbées par le shunt magnétique, et les variations dans le circuit accordé S-C demeurent faibles.

Le shunt magnétique S agit également en réduisant le couplage entre P et S. Lorsque la résonance est atteinte, P ne fournit que l'énergie nécessaire à la compensation des pertes dans le fer et dans le cuivre. La tension aux bornes de S étant stabilisée lorsque le circuit S-C est en résonance, est alors utilisée pour fournir une tension de sortie constante. Celle-ci peut être obtenue, soit par une prise B sur S, soit par un bobinage indépendant couplé à S. Dans les deux cas, l'enroulement de compensation p est branché en série avec S, mais en opposition de phase avec lui. Il est calculé de telle sorte qu'une variation de la tension aux bornes de P induit dans ses spires une variation sensiblement égale à la variation aux bornes de S. La tension de sortie résultante U_s demeure donc constante et pratiquement indépendante des variations de celle de l'entrée U_1 .

Lorsque la résonance est établie dans le circuit formé par S et C, l'équilibre entre les flux dans les deux parties du noyau séparées par le shunt s est maintenu par l'effet *tampon* de celui-ci. Il en résulte que la charge branchée aux bornes de la sortie provoque, quelle que soit sa valeur, le passage d'un flux utile plus important de P vers S ; et ce flux compense exactement l'énergie nécessaire au maintien du circuit S-C en résonance. Le transformateur délivre alors une tension constante, sensiblement indépendante de la charge dans les limites déterminées par ses caractéristiques. La tension de sortie est stabilisée à 1 % près pour une tension d'entrée variant de 15 % de sa valeur nominale.

Terminons ce chapitre en mentionnant, parmi les régulateurs magnétiques, le *Stabilistor*, fabriqué sous licence C.F.S. Westinghouse par Bardon. Il s'agit d'un montage combinant les propriétés d'un circuit magnétique saturé et celles d'un circuit non saturé et dont nous avons indiqué plus haut le principe de fonctionnement.

Stabilisateurs électroniques

Des appareils plus complexes sont basés sur les propriétés des *transducteurs* (1) et sur celles des tubes électroniques. Les régulateurs de tension fabriqués par Métox (sous licence Sorensen), par Philips Industrie et par la Société V.R.D. appartiennent à cette catégorie. Le schéma des deux premiers différant par de légers détails seulement, nous allons examiner celui de Sorensen, représenté par la figure 2.

Le primaire d'un autotransformateur T1, en série avec les enroulements à courant alternatif d'un transducteur Td forment un diviseur de tension. La tension d'entrée se divise donc, à travers T1 et Td, proportionnellement à leurs impédances

(1) Cf. « les amplificateurs magnétiques », par W. Sorokine, dans les numéros 1 et 2.

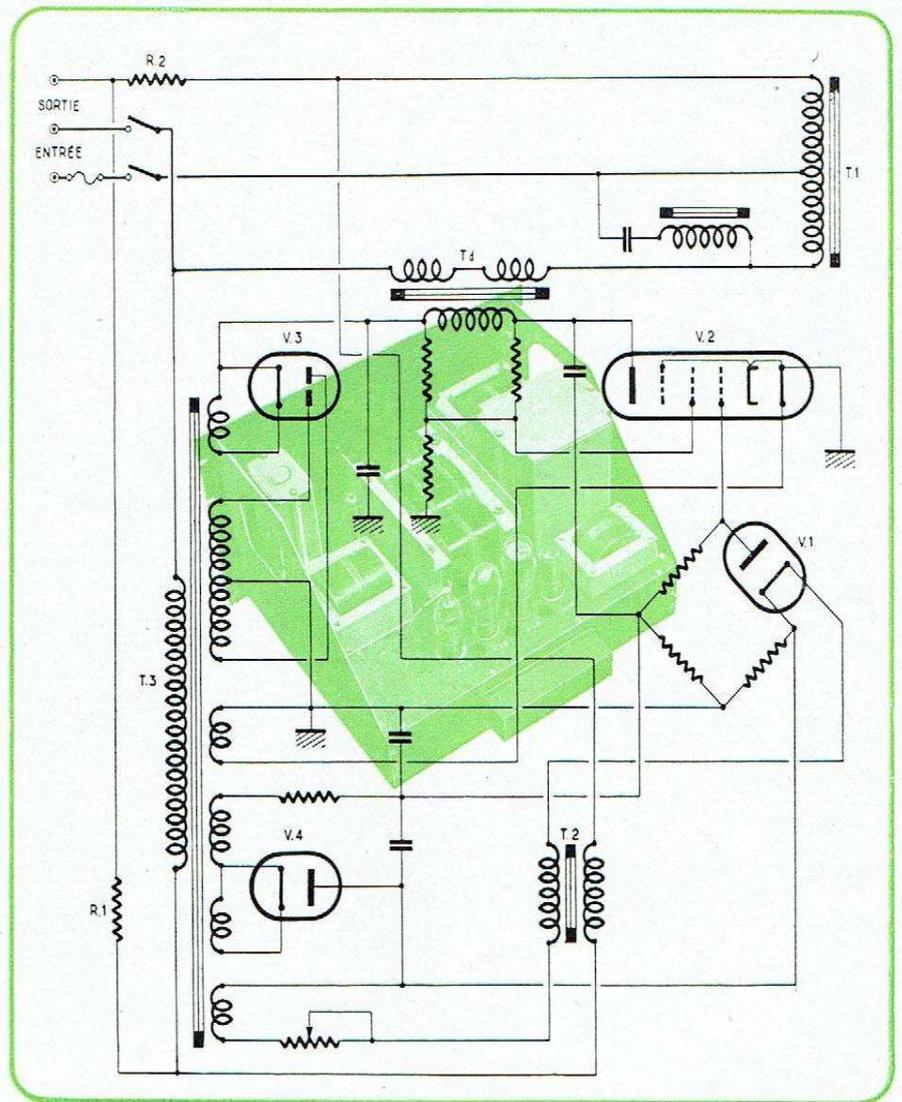


Fig. 2. — Schéma de principe du stabilisateur Métox (licence Sorensen), combinant les propriétés d'un transducteur et celles d'une diode à filament de tungstène.

respectives. Toute variation de l'impédance du transducteur modifie la tension de sortie de l'autotransformateur T1. Le courant continu circulant dans l'enroulement du transducteur faisant varier l'impédance des enroulements alternatifs, le problème consiste à utiliser les variations de la tension d'entrée pour rectifier, dans le sens voulu, la tension de sortie.

Chacun sait qu'en réglant la tension filament d'une diode à une valeur limitée, un faible accroissement de cette tension détermine une variation importante dans la résistance apparente. Si l'on chauffe le filament de cette diode V1 à l'aide d'un transformateur alimenté par la tension de sortie, toute variation de celle-ci se traduira par une variation de la résistance apparente. Constituons un pont dont l'une des branches est constituée par l'espace anode-filament de la diode V1. Et utilisons une des diagonales de ce pont pour commander la tension négative de grille d'une penthode classique V2 dont le courant anodique alimente l'enroulement à courant continu du transducteur Td.

Supposons une augmentation de la tension alternative de sortie. La tension filament de la diode V1 augmente, la résistance apparente de l'espace anode-filament diminue. Le pont est déséquilibré de telle sorte que la grille de la penthode devient plus négative ; le courant anodique de ce tube diminue. L'enroulement à courant continu du transducteur étant parcouru par un courant moindre qu'à l'origine, la saturation du noyau magnétique décroît, d'où augmentation de l'impédance des enroulements à courant alternatif et diminution de la tension appliquée au primaire de l'autotransformateur.

Afin de parfaire la régulation, un transformateur T2 dont le secondaire est en série avec l'enroulement de chauffage du filament de la diode V1 est alimenté au primaire par deux tensions : l'une provenant de la chute dans la résistance R1 en série avec le primaire du transformateur T3, l'autre par la chute dans la résistance R2 en série avec la charge de sortie. Dans le cas précédent, toute augmentation de la tension de sortie se tra-

STABILISATEURS DE TENSION

Désignation	Fabricant	Puissance (VA)	Tension d'entrée (V)	Tension de sortie (V)	Régulation en sortie (%)	Pour variation à l'entrée (%)	Distorsion (%)	Remarques
Réguvolt	Manoury	2	110	6,3	1	15	< 14	
»	M.C.B.	6	110 et 220	»	»	»	< 16	Fourni avec condensateur séparé
»	»	12	»	»	»	»	»	»
»	»	25	»	»	»	»	»	»
»	»	25	»	110 ou 220	»	»	»	»
Stabilistor	Bardon	25	115 ou 220	115 ou 220	»	»	< 10	
»	»	50	»	»	»	»	»	
Réguvolt	M.C.B.	»	110 et 220	110 ou 220	»	»	< 16	Fourni avec condensateur séparé
»	Manoury	60	110	110	»	»	< 14	
Réguvolt	M.C.B.	75	110 et 220	110 ou 220	»	»	< 16	
Stabilistor	Bardon	»	115 ou 220	115 ou 220	»	»	»	
Réguvolt	M.C.B.	100	110 et 220	110 ou 220	»	»	< 16	
» CDF ..	»	»	»	110 et 220	»	»	< 5	Régulation assurée entre 47 et 53 Hz
» FDH ..	»	»	»	110 ou 220	»	»	< 3	Type à faible taux d'harmoniques
Stabilistor	Bardon	»	115 ou 220	115 ou 220	»	»	< 16	
»	»	150	»	»	»	»	»	
Réguvolt	M.C.B.	200	110 et 220	110 ou 220	»	»	< 16	
Voltreg TVR 1 250	V.R.D.	250	110 et 125	110 et 125	»	14	< 5	
» TVR 2 250	»	»	220	220	»	»	»	
» A-250	»	»	110 et 127	110 et 127	»	»	»	
» C-250 ..	»	»	220	220	»	»	»	
Réguvolt	M.C.B.	300	110 et 220	110 ou 220	»	15	< 16	
Stabilistor	Bardon	350	120 ou 220	120 ou 220	»	»	»	
»	»	500	»	»	»	»	»	
Réguvolt	M.C.B.	»	110 et 220	110 ou 220	»	»	»	
» CDF ..	»	»	»	110 et 220	»	»	< 5	Régulation assurée entre 47 et 53 Hz
» FDH ..	»	»	»	110 ou 120	»	»	< 3	Type à faible taux d'harmoniques
Stabilistor	Bardon	600	120 ou 220	120 ou 220	»	»	< 16	
Réguvolt	M.C.B.	750	110 et 220	110 ou 220	»	»	»	
Stabilistor	Bardon	»	120 ou 220	120 ou 220	»	»	»	
»	»	1 000	»	»	»	»	»	
Réguvolt	M.C.B.	»	110 et 220	110 ou 220	»	»	»	
» CDF ..	»	»	»	110 et 220	»	»	< 5	Régulation assurée entre 47 et 53 Hz
» FDH ..	»	»	»	110 ou 220	»	»	< 3	Type à faible taux d'harmoniques
Voltreg A-1 000 ..	V.R.D.	»	110	110	»	14	< 5	
» B-1 000 ..	»	»	127	127	»	»	»	
» C-1 000 ..	»	»	220	220	»	»	»	
Métox 1 000 S ..	Métox	»	115	de 110 à 120	0,1	»	< 5	Tension de sortie ajustable
PE-4 222	Philips	»	110	de 105 à 125	0,2	- 10 à + 15	< 3	»
»	»	»	127	de 120 à 145	»	»	»	»
»	»	»	220	de 210 à 250	»	»	»	»
Réguvolt	M.C.B.	1 500	110 et 220	110 ou 220	1	15	< 16	
Stabilistor	Bardon	»	120 ou 220	120 ou 220	»	»	»	
»	»	2 000	»	»	»	»	»	
Voltreg	V.R.D.	»	110	110	»	14	< 5	
»	»	»	127	127	»	»	»	
»	»	»	220	220	»	»	»	
7 776	Philips	»	110	de 105 à 125	0,2	- 10 à + 15	< 3	Tension de sortie ajustable
»	»	»	127	de 120 à 145	»	»	»	»
»	»	»	220	de 210 à 250	»	»	»	»
Réguvolt	M.C.B.	»	110 et 220	110 ou 220	1	15	< 16	
» CDF ..	»	»	»	110 et 220	»	»	< 5	Régulation assurée entre 47 et 53 Hz
» FDH ..	»	»	»	110 ou 220	»	»	< 3	Type à faible taux d'harmoniques
Stabilistor	Bardon	2 500	120 ou 220	120 ou 220	1	»	< 16	
»	»	3 500	»	»	»	»	»	
PE-4 225	Philips	5 000	110	de 105 à 125	0,2	- 10 à + 15	< 3	Tension de sortie ajustable
»	»	»	127	de 120 à 145	»	»	»	»
»	»	»	220	de 210 à 250	»	»	»	»

duit par une diminution du courant de la penthode V2, donc du courant dans le primaire du transformateur T3 et, par conséquent, de la chute dans la résistance R1. On a vu plus haut que, dans ces conditions, la tension filament de la diode V1 augmentait. Le courant de sortie diminuant, la chute dans la résistance R2 diminue d'où augmentation de la tension filament de la diode et, par le processus examiné précédemment, augmentation de la tension négative de la grille de la penthode V2. La tension de sortie tend donc à être ramené à sa valeur initiale.

L'appareil utilise une diode à filament de tungstène pur, spécialement fabriquée pour cet usage et d'une remarquable longévité. Sa constitution interne est telle qu'en cas de coupure accidentelle de son filament, celui-ci se met en court-circuit avec l'anode ; d'où par augmentation de la tension négative de grille de la penthode de V2, baisse de la tension appliquée au primaire de l'autotransformateur T1. Un « strap » entre deux des broches de la diode V1 (non représenté sur la figure 2) coupe, si on enlève ce tube de son support, l'alimentation du primaire du transformateur T3. L'augmentation de l'impédance du *transducteur* par suppression de l'alimentation de son enroulement à courant continu limite dès lors la tension appliquée au primaire de l'autotransformateur T1.

Caractéristiques des stabilisateurs

Divers facteurs étant susceptibles d'affecter l'effet régulateur des stabilisateurs de tension, nous allons examiner leur influence et préciser quelques particularités des réalisations industrielles existant sur le marché :

a) Influence de la charge.

Le rendement d'un stabilisateur étant le meilleur lorsqu'il fonctionne à pleine charge, il y a toujours avantage à réaliser cette condition à laquelle correspond le taux de stabilisation le plus favorable. Pour les régulateurs de la première catégorie, le passage de la charge nominale au 1/4 de sa valeur porte de $\pm 1\%$ à $\pm 3\%$ la variation de tension en sortie pour $\pm 15\%$ de variation à l'entrée. La précision est meilleure avec les systèmes à compensation électronique car elle demeure de $\pm 0,2\%$ pour toute charge comprise entre 10 % et 100 % de sa valeur nominale.

Les chiffres précités s'entendent pour fonctionnement sur une charge *purement résistive*. Dans la réalité, les appareils d'utilisation étant de nature *inductive*, il convient de tenir compte du $\cos \varphi$. Pour les régulateurs magnétiques, jusqu'à un $\cos \varphi$ de 0,85, il y a augmentation, de la tension de sortie de l'ordre de 3 % pour la plus forte tension d'entrée. Au-dessous, un $\cos \varphi$ de 0,6 entraîne une baisse d'environ 5 % en sortie, toujours pour la plus grande tension d'entrée. Le taux de régulation des stabilisateurs électroniques passe de $\pm 0,2\%$ à $\pm 0,5\%$ jusqu'à un $\cos \varphi$ de 0,75.

b) Influence de la fréquence.

De par leur constitution, tous les régulateurs sont plus ou moins sensibles aux écarts de la fréquence du réseau. Les types combinant les propriétés d'un circuit magnétique saturé et celles d'un circuit résonnant sont sujets à une variation de leur tension de sortie s'effectuant dans le même sens que celle de la fréquence. Elle n'excède pas 1,5 à 1,7 % par % de variation de fréquence. Les stabilisateurs électroniques sont pratiquement insensibles à $\pm 3\%$ d'écart de la fréquence nominale.

La fréquence des réseaux de l'E.D.F. étant généralement très stable, les régulateurs standard conviennent parfaitement dans la métropole. S'il s'agit de secteurs coloniaux ou de courant fourni par un groupe électrogène, il convient de se prémunir contre leurs inévitables variations de fréquence. Pour remédier à cet état de choses, M.C.B. a créé son *Reguvolt C.D.F.* dont le taux de régulation de la tension de sortie est de $\pm 1,5\%$ pour $\pm 6\%$ de variation de fréquence. Ses résultats sont encore excellents à $\pm 10\%$.

c) Forme de la tension.

Tous les stabilisateurs comportant un circuit magnétique saturé, la forme de la tension de sortie s'écarte de celle, pratiquement sinusoïdale, délivrée par le réseau. Elle comporte un pourcentage d'harmoniques suffisant pour que sa mesure avec un appareil à *redresseur et cadre mobile* soit déconseillée, une différence assez importante pouvant exister entre la valeur lue et la valeur efficace réelle.

Dans la tension de sortie des modèles normaux de régulateurs, on pourrait relever — pour la tension d'entrée et la charge nominales : 12 % d'harmonique 3, 3 % d'harmonique 5 et 0,85 % d'harmonique 7. A demi-charge, les taux pour les harmoniques ci-dessus passeraient respectivement à 16 %, 4,5 % et 0,9 % ; ce qui, en passant, démontre l'intérêt de travailler sur la charge nominale. Si certaines utilisations n'exigent pas une tension sinusoïdale, beaucoup d'autres — dans le vaste domaine des mesures — seraient affectées par une telle richesse en harmoniques. C'est pour les atténuer au maximum que tous les stabilisateurs électroniques comportent des filtres permettant d'obtenir une tension de sortie affectée de moins de 5 % d'harmoniques. Du côté des régulateurs magnétiques, M.C.B. construit un *Reguvolt F.D.H.* dont le taux est, dans les conditions normales, inférieur à 3 %.

d) Rendement - Protection - Puissances.

Le rendement de tous les stabilisateurs de tension varie suivant la charge sur laquelle ils débitent. A pleine charge, il est de l'ordre de 80 % pour les modèles au-dessous de 1 kVA et de 85 % au-dessus et tombe à 50 % pour une charge réduite à 10 % de sa valeur nominale.

Les régulateurs du type à circuit saturé et grande réactance de fuite (*Reguvolt, Stabilistor*) sont, en raison de leur caractéristique de sortie « *plongante* », protégés contre des surintensités allant jus-

qu'au court-circuit franc. Ils ne subissent de ce fait aucune détérioration. Les stabilisateurs électroniques, dont l'un des organes essentiels est un *transducteur*, sont dans une mesure très satisfaisante à l'abri des effets d'une surcharge. Ils n'en sont pas moins pourvus d'un relais qui, dès que la tension de sortie dépasse de 20 % sa valeur nominale, met hors-circuit le dispositif de commande électronique.

Les régulateurs de tension sont normalement réalisés, ainsi que l'indique le tableau accompagnant le présent article, pour des puissances variant de 25 à 5 000 VA. Leur gamme, chez plusieurs constructeurs, est suffisamment complète pour satisfaire les besoins des laboratoires. L'industrie commence à faire appel à leurs remarquables qualités, et des modèles triphasés de 30 kVA sont couramment réalisés. Cette puissance ne saurait être considérée comme la limite supérieure de ce qu'il est possible de fabriquer.

e) Particularités.

En raison de l'augmentation de la tension fournie par l'E.D.F., laquelle semble pour Paris s'être pour l'instant fixée à 117 V, les constructeurs de stabilisateurs de tension n'ont pas normalisé la valeur de la tension d'entrée.

Bardon se tient sagement à 115 ou 220 V, alors que *Métox* ne mentionne pas la deuxième tension. M.C.B. exécute le primaire de ses *Reguvolt* en deux sections qui, par couplage parallèle ou série, s'adaptent aux réseaux 110 et 220 V. *V.R.D.* en dehors de modèles destinés uniquement aux secteurs 220 V, établit le primaire avec une prise, ce qui permet de choisir entre 110 et 127 V. Cela pour les puissances jusqu'à 500 VA car au-dessus, le primaire est établi pour 110, 127 ou 220 V. *Philips* réalise également des stabilisateurs pour l'une des trois tensions précitées.

La tension de sortie a été fixée par M.C.B. à 110 ou 220 V, alors que *Bardon* a adopté 115 ou 220 V. *V.R.D.*, à part le type 220 V, dispose de tensions de sorties équivalentes à celles d'entrée, soit 110 et 127 V. Enfin *Philips* et *Métox* ont prévu leurs régulateurs de telle sorte que la tension de sortie, identique à celle d'entrée, puisse être ajustée entre 95 et 105 % de sa valeur nominale.

Quant au temps de réponse, il est de l'ordre de 0,02 s pour les types à circuit magnétique saturé et de 0,05 à 0,1 s pour les types électroniques.

Conclusion

En définitive, il n'est donc pas excessif d'affirmer que les stabilisateurs de tension font désormais partie de tous les équipements électriques dont la sécurité de fonctionnement est la qualité primordiale. Nous sommes heureux de constater que notre pays, dont les savants ont été à l'origine des premiers travaux sur les régulateurs automatiques de tension, n'est pas industriellement en retard pour en faire bénéficier les innombrables utilisateurs.

J. HENRY.

ÉLECTRONIQUE ET VISCOSITÉ

Conception et fonctionnement d'un

VISCOSIMETRE A ULTRA-SONS

par B. THIRION

L'auteur ne s'est pas seulement proposé dans cet article de décrire un appareil qui intéressera certainement nos lecteurs, mais peut-être encore plus d'exposer les différentes étapes de la conception d'un appareil de mesure, espérant ainsi toucher, non seulement les chimistes, mais aussi tous les techniciens se trouvant en face d'un problème industriel à résoudre.

Viscosité sans électronique

Si un électricien à l'esprit curieux se prenait à consulter une table des grandeurs physiques en recherchant celles à la mesure desquelles l'électronique a apporté ses bienfaits, il constaterait avec satisfaction que bien rares sont celles qui, dédaignées de l'électronique, ne peuvent encore se mesurer que par les antiques moyens électriques ou, plus simplement, mécaniques. Le même esprit, après avoir constaté que la viscosité faisait partie de ces dernières se demandera, en homme pratique, si la recherche de la solution de ce problème présente quelque intérêt.

Les premiers utilisateurs venant à l'esprit sont, évidemment, les fabricants d'huiles de graissage qui livrent des produits étiquetés en viscosité. Mais ce n'est là qu'une utilisation parmi bien d'autres : pétroliers, chimistes, savonniers, producteurs et utilisateurs d'adhésifs, de plastiques, de peintures et vernis, etc..., utilisant des viscosimètres de modèles divers.

L'intérêt d'un tel appareil étant un fait acquis, la bonne logique veut d'abord que l'on se documente.

Relisons donc la définition de l'unité de viscosité : soit deux surfaces de 1 cm de côté et distantes de 1 cm plongées dans un liquide de viscosité 1 poise; il faut appliquer une force de 1 dyne sur l'un d'eux pour maintenir un déplacement de vitesse 1 cm par seconde. De là à conclure que tous les viscosimètres mesureront l'effort opposé à un mouvement, il n'y a qu'un pas bien vite franchi.

Les ouvrages traitant de la viscosimétrie ne sont pas très nombreux; citons cependant l'ouvrage de **Hatcheck** qui étudie la viscosité en elle-même. L'on y apprend, entre autres faits fort intéressants, que la viscosité apparente de nombreux corps dépend de la vitesse de mouvement du liquide; l'on en déduit la grande stabilité dans la vitesse du mouvement nécessaire pour tout viscosimètre. L'ouvrage de **Merrigton**, de son côté, décrit un nombre imposant de viscosimètres.

Se documenter signifie encore connaître les appareils les plus utilisés, leurs avantages et leurs inconvénients. On constate à ce sujet la grande diversité des modèles, qui montre à la fois l'usage intensif qui en est fait, leur faible étendue de mesures et les difficultés d'emploi propres à chacun d'eux. De même, si ces nombreux appareils, tout en étant d'un usage plus ou moins commode, rendent de grands services au laboratoire, l'industrie, elle, n'en a aucun à son service. C'est donc là qu'il faut diriger les recherches. L'on voit très bien le parallèle désirable avec les équipements thermométriques industriels dont les principales caractéristiques intéressantes sont : capteurs étanches, longues lignes possibles, équipements de mesure et d'enregistrement à voies multiples et régulation.

Reste à réaliser un appareil réunissant le plus grand nombre de qualités et principalement celles qui sont l'apanage de l'électronique : mesures continues, rapides et précises. Le premier problème qui se pose est celui du choix du capteur.

PRINCIPE : Introduction d'un barreau vibrant (par magnétostriction) dans le liquide à mesurer. Bien que la viscosité tende à amortir les oscillations, la fréquence est automatiquement ajustée pour que l'amplitude de la vibration demeure constante. La mesure de la puissance mise en jeu permet ainsi d'évaluer la viscosité. L'appareil peut également fonctionner en régulateur. On verra dans le texte l'exemple d'une telle application.

A la recherche d'un capteur

Il faut, avons-nous dit, provoquer un mouvement et mesurer l'effort qui lui est opposé. Cela limite immédiatement notre choix aux capteurs réversibles.

Le capteur magnéto-électrique et le capteur électro-dynamique, son proche parent, sont utilisables et ont donné lieu à quelques réalisations expérimentales, mais ces capteurs ont des mouvements d'amplitude relativement élevée et se prêtent mal, par conséquent, à une réalisation étanche et robuste. Les mesures se ramènent à celle d'une impédance mottonnelle ou à celle d'une fréquence de résonance. La première

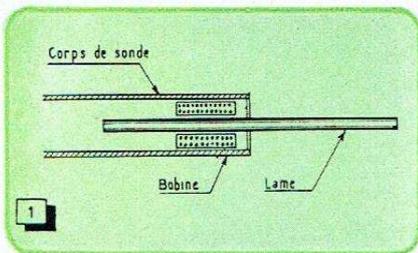


Fig. 1. — Coupe schématique d'une sonde : le barreau magnétostrictif est fixé en son centre et résonne symétriquement.

méthode s'avère peu sensible alors que la seconde ne se prête qu'à une mesure de zéro l'enregistrement n'étant pas possible.

Un type de capteur, voisin des précédents et élégant dans son principe, consisterait à exciter un diapason plongé dans le liquide et à mesurer son amortissement après interruption de l'excitation. Une application pratique de ce principe consiste à exciter un barreau de manière à provoquer des oscillations longitudinales ; si on le fixe en son milieu, il oscillera en demi-onde et l'on disposera ainsi d'un capteur facilement étanche. Du fait des dimensions réduites qu'il est avantageux de donner à un tel capteur, la fréquence de ses vibrations sera obligatoirement ultrasonique. Le choix d'un métal magnétostrictif pour la constitution du barreau résoud seul, d'une manière parfaite, le problème de l'excitation et de la mesure. L'on arrive ainsi à un capteur dont la représentation schématique est donnée sur la figure 1. Le nickel pur, qui est un bon métal magnétostrictif, n'a pas une rigidité mécanique satisfaisante ; les alliages fer-cobalt sont de leur côté trop fragiles. Force a donc été d'étudier un alliage ayant à la fois de bonnes propriétés magnétostrictives et d'excellentes qualités mécaniques.

L'électronique mesure la viscosité

C'est maintenant l'électronique qui va mesurer cet amortissement. La première idée venant à l'esprit est d'exciter ces vibrations par des impulsions de fréquence fixe à l'aide d'un thyatron, et de mesurer la valeur moyenne de la tension alternative que

l'on recueille aux bornes de la bobine d'excitation (valeur qui est fonction inverse de la viscosité) après une amplification convenable. Mais c'est pour la viscosité la plus faible que l'on obtient la tension maximum et pour les viscosités élevées, cette tension tombe à un niveau très bas, ce qui est un inconvénient si l'on veut se contenter d'une amplification modérée et si l'on veut admettre de grandes distances entre la sonde et l'appareil électronique. L'idée est alors venue, étant donné que la valeur moyenne de la tension est fonction inverse de la viscosité et fonction directe de la fréquence, d'intervir les variables : la valeur moyenne de la tension, au lieu d'être mesurée, est appliquée au générateur d'impulsions et a pour effet de faire varier sa fréquence de récurrence, que l'on mesure par le courant moyen du dit générateur. L'on a ainsi réalisé un asservissement, à amplitude constante, de la lame vibrante et la mesure de la viscosité est ramenée à celle de la puissance nécessaire au maintien de cette amplitude, puissance qui est fonction directe

court-circuite l'amplificateur si, par suite d'une fausse manœuvre, un courant trop important traverse le galvanomètre.

Compensation des variations de température

La viscosité des corps varie, chacun le sait, avec la température. Or, si dans quelques cas l'on désire connaître la viscosité d'un produit à la température où il se trouve, l'on s'inquiète le plus souvent de connaître sa valeur pour une certaine température de référence. Il faut alors mesurer la température à laquelle l'on fait la mesure et apporter une correction en se reportant à une courbe viscosité-température. Si l'on veut que l'appareil puisse réellement quitter le laboratoire et trouver sa place dans l'usine, force nous est donc d'imaginer un dispositif effectuant cette opération. Il faut ajouter à la tension de mesure une tension de correction proportionnelle variant en grandeur et en signe avec

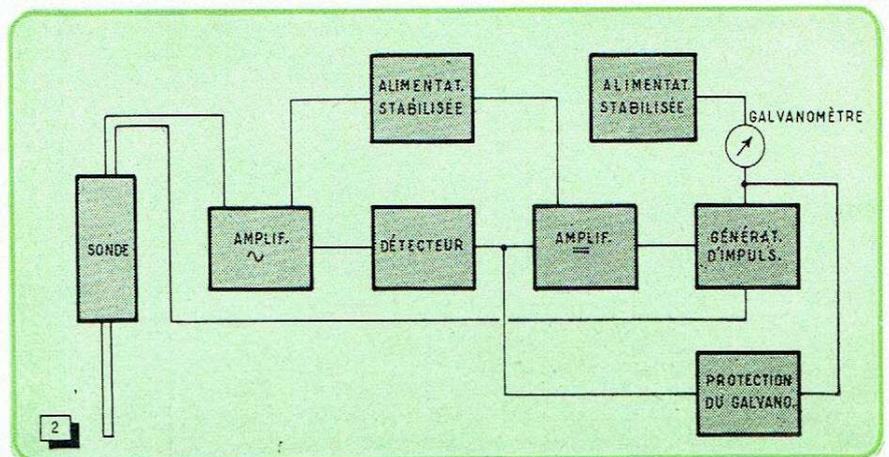


Fig. 2. — Schéma fonctionnel du viscosimètre à ultra-sons.

de la viscosité. Le schéma fonctionnel de l'appareil est donné par la figure 2. Il comprend deux étages d'amplification alternative. Le courant du deuxième tube est utilisé pour la magnétisation de la lame vibrante. Ces étages sont suivis d'un étage de détection et d'un premier étage d'amplification continue ; ces deux derniers étages sont à dérive compensée. Un dernier étage attaque le générateur d'impulsions, le galvanomètre de mesures étant inséré dans son circuit de plaque. Un fort long calcul, dont nous dispenserons nos lecteurs, démontre notamment (1) que la viscosité est une fonction parabolique de l'amortissement, ce qui a l'avantage de donner à l'échelle de lecture l'apparence logarithmique. Un shunt à décade peut être utilisé, tout en gardant une bonne précision de lecture. Un dispositif de sécurité électronique

l'écart entre la température variable du corps mesuré et la température de référence choisie. Cela n'est évidemment possible que dans certaines limites, en assimilant la portion de la courbe-viscosité-température à un élément de droite (fig. 3). La tension de mesure, dans le montage schématisé sur la figure 4 est amplifiée, le gain étant rendu variable de manière à ajuster la pente de la droite. Elle est ensuite appliquée à un pont comprenant une résistance thermométrique et une résistance réglable permettant d'équilibrer le pont pour une certaine température. L'on recueille bien sur la diagonale de ce pont une tension de correction proportionnelle à la viscosité et à l'écart de la température, tension qui est ajoutée à la tension de mesure.

Réalisation de l'appareil

Lorsqu'un appareil prototype a été réalisé, le travail est bien loin d'être achevé. Il consiste d'abord à étendre au maximum son domaine d'emploi. C'est, dans le cas pré-

(1) Les mathématiciens liront certainement avec intérêt un excellent article paru dans le « Journal of Applied Physics » de juin 1953 sous les signatures de RICH et ROTH.

sent le capteur qui ne devra être sensible qu'à la viscosité et non aux grandeurs étrangères qui sont ici principalement les variations de température et le temps, la construction étanche étant d'ores et déjà acquise. Il devra, de plus, résister mécaniquement le mieux possible aux agents destructeurs que sont les températures élevées, la corrosion, la pression et l'érosion. Une véritable étude secondaire doit être entreprise, qui conduit à l'utilisation de matériaux aussi divers que la céramique et le téflon, l'acier inoxydable et le rhodium. L'on doit vérifier la possibilité du remplacement de tous les organes de l'appareil électronique dans les limites de leurs tolérances et sans que ces remplacements n'entraînent des réglages impossibles à exécuter par l'utilisateur.

Il faut ensuite maltraiter l'appareil, lui faire subir la chaleur et l'humidité conjuguées, les vibrations, les surtensions et les sous-tensions prolongées, et bien d'autres tortures encore. L'on vérifie que les éléments constitutifs n'évoluent pas au cours et à la suite de ces essais ou que ces évolutions sont sans influence sur la mesure. Tous ces essais conduisent, l'on s'en doute, à bien des modifications et des remaniements.

Cela fait, l'on est ensuite amené à construire une pré-série qui, après avoir subi les mêmes épreuves que le premier appareil, est répartie entre divers utilisateurs appelés

à contrôler et à critiquer et ainsi, souvent à faire d'utiles suggestions.

C'est à ce moment-là seulement que l'on peut passer à la fabrication en série. On n'en devra pas moins contrôler les pièces détachées entrant dans la construction des appareils et faire subir à ceux-ci au moins une partie des essais auxquels ont été sou-

L'appareil industriel construit suivant les principes exposés dans cet article :
enregistreur-régulateur
JOBIN ET YVON

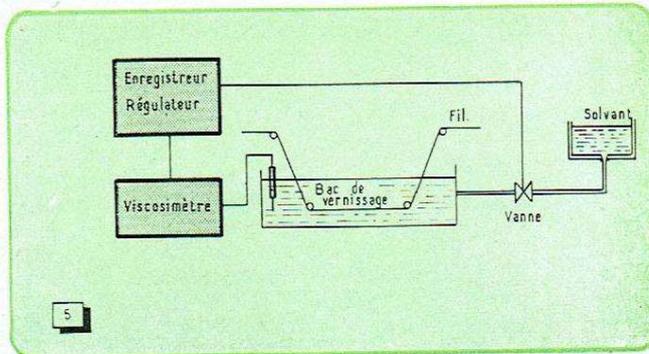
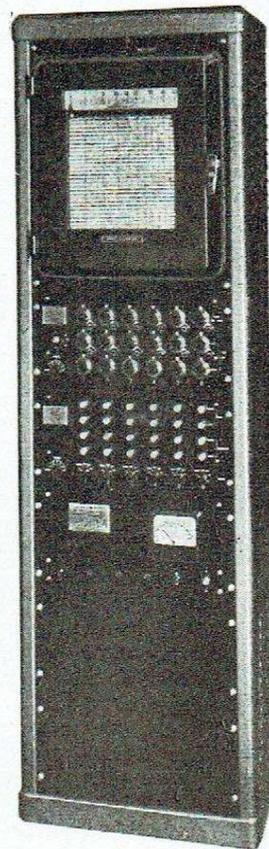


Fig. 5. — Un exemple d'application : régulation de la viscosité pour vernissage au trempé. Le solvant est admis automatiquement pour maintenir constante la viscosité du vernis en dépit de l'évaporation. On suppose évidemment qu'un dispositif agitateur maintient le bain homogène.



mis ceux de la pré-série. C'est à ce prix qu'un appareil dont on peut attendre le maximum de satisfaction aura été réalisé.

Applications

Nous ne voudrions pas nous étendre sur les nombreuses applications industrielles de cet appareil, mais en citer seulement deux, prises au hasard.

La fabrication uniforme et de qualité optima des fils isolés au vernis nécessite un produit de viscosité constante. Or, cette viscosité croît continuellement à cause de l'évaporation. On est donc obligé de prélever des échantillons à intervalles rapprochés et de les mesurer, en tenant compte du

refroidissement du vernis au cours de son transport au laboratoire. Le viscosimètre dont nous avons parlé plus haut permet de maintenir la viscosité constante par une installation telle que celle schématisée sur la figure 5.

Plusieurs sociétés pétrolières utilisent l'appareil enregistreur-régulateur multivoies avec correction de température, représenté sur la figure 6, pour obtenir automatiquement, à chaque étage des tours de fractionnement, un produit de qualité constante.

De nombreuses applications ont été réalisées, mais d'autres restent à découvrir, qui emprunteront à l'électronique ses possibilités illimitées.

B. THIRION.

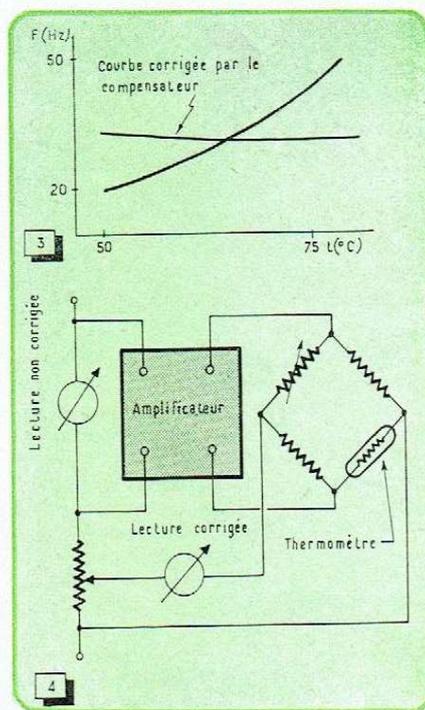


Fig. 3. — Courbe typique d'une variation de viscosité en fonction de la température, et courbe corrigée.

Fig. 4. — Principe du compensateur de température. Le « thermomètre » est une résistance à coefficient de température élevé.

TÉLÉVISION INDUSTRIELLE à bord d'une unité de la Marine Canadienne

La maison anglaise Pye nous apprend que sa filiale du Canada est en train d'équiper une unité de la Royal Canadian Navy d'un dispositif de télévision industrielle ainsi conçu : une caméra est installée devant la carte sur laquelle sont pointés tous les éléments tactiques : route parcourue et projetée, présences éventuelles d'autres bâtiments amis ou ennemis, de sous-marins ou d'avions, le tout détecté par Radar et Sonar. Et un certain nombre de récepteurs sont installés devant les postes de commandement (six dans l'expérience en cours, dont un sur le pont). De la sorte, les officiers peuvent à tout moment se rendre compte de la

situation et agir en conséquence sans la moindre perte de temps.

Il ne serait d'ailleurs pas impossible de procéder à l'équipement en quelque sorte inverse : récepteur auprès du commandant de bord, et caméras aux points névralgiques : salle radar, pont, soutes à munitions, cales susceptibles d'être noyées en cas d'avarie de la coque, chambre de machines, etc.

Enfin, la combinaison des deux méthodes peut évidemment être envisagée. La limite dans ce sens n'est imposée que par de sordides histoires de crédits, c'est-à-dire, au fond, par des considérations sur la patience présumée des contribuables...

Réalisation d'un potentiomètre asservi

par F. HAAS

Un article incomplet

Dans un article précédent publié dans le premier numéro (p. 11 à 14) nous avons décrit la réalisation d'un potentiomètre asservi à seule fin d'initier le technicien non spécialisé à la pratique des servomécanismes. Cette étude était incomplète faute de place, car elle ne comportait ni la critique indispensable du montage ni les applications industrielles. Une suite était donc prévue, et annoncée d'ailleurs, en quelques lignes que la rédaction a malheureusement supprimées, sans doute en application d'un principe de saine prudence... (1). La présente étude, bien que non annoncée

qui exige de refaire le zéro de l'amplificateur de temps en temps.
2. — *Le pompage du servomécanisme.* Examinons maintenant ces deux points plus en détail.

La dérive de l'amplificateur

Aucun amplificateur à liaison directe ne saurait être exempt de dérive. On peut combattre ce défaut par le choix d'un montage bien symétrique comme nous l'avons fait, en sélectionnant les lampes de manière à parfaire la symétrie et en stabilisant bien les tensions des lampes, sans oublier la tension de chauffage

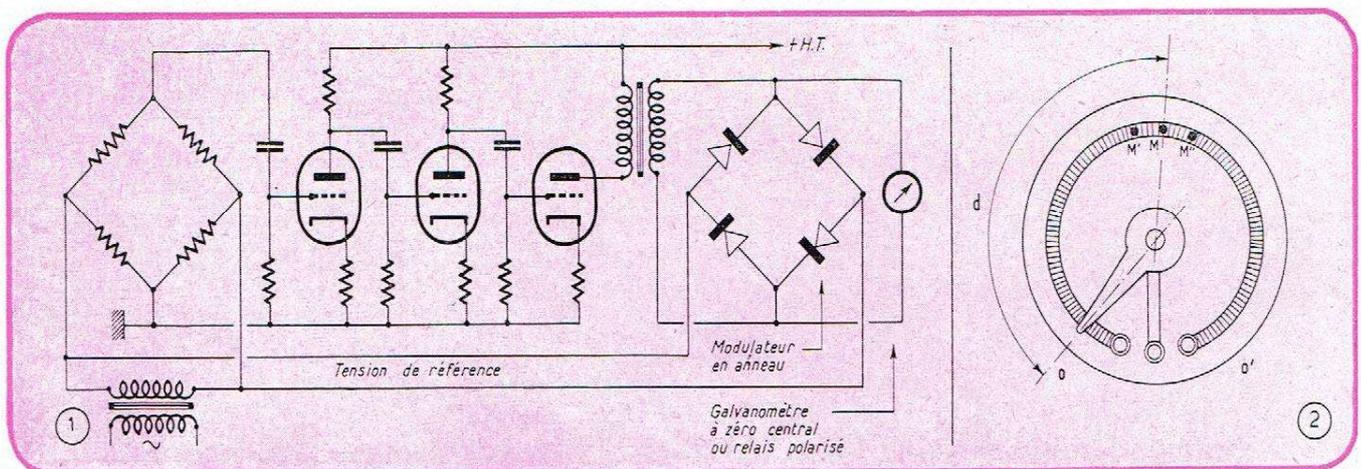


Fig. 1. — Schéma de principe d'un amplificateur de pont à courant alternatif muni d'un discriminateur.

Fig. 2. — Si le curseur du potentiomètre dépasse la position M d'équilibre pour atteindre M', il y a pompage; s'il s'arrête sur M' avant d'atteindre M, il y a manque de sensibilité.

précédemment, constitue ainsi en fait la deuxième partie de l'article déjà cité. Nous allons donc nous livrer maintenant à un examen critique du montage, ce qui nous permettra de dégager des notions complémentaires sur les servomécanismes.

Les imperfections du montage

Nous avons déjà indiqué que l'appareil décrit constituait essentiellement un montage d'étude et de démonstration, et les lecteurs qui ont pris la peine de le réaliser ont dû constater certaines difficultés. C'est là un avantage plutôt qu'un inconvénient si cela les incite à une étude plus approfondie. Les deux inconvénients majeurs sont :

1. — *La dérive de l'amplificateur à courant continu.* Cette dérive a un effet néfaste puisqu'elle fausse l'équilibre du pont, ce

du tube d'entrée tout au moins. Dans le montage décrit, l'effet de la dérive est faible, car avec une pile de 4, 5 V alimentant le pont, le gain de l'amplificateur est trop grand. On le réduit donc au moyen du potentiomètre de commande de gain, ce qui réduit simultanément l'effet de la dérive.

On peut pratiquement éliminer la dérive en utilisant un amplificateur à courant alternatif, la tension continue de mesure étant hachée au préalable au moyen d'un vibreur. Ce système est largement utilisé par l'industrie; mais nous ne connaissons pas de tels « choppers » fabriqués en France.

Une solution intéressante consiste à alimenter le pont en courant alternatif, ce qui n'est d'ailleurs pas toujours possible. La tension d'erreur est alors amplifiée par un amplificateur à courant alternatif. Afin d'obtenir à la sortie un signal dont le sens correspond au sens du déséquilibre, il faut faire suivre l'amplificateur d'un discriminateur recevant une tension de référence de la source alimentant le pont. Le schéma de principe d'un tel montage utilisant un redresseur en anneau est reproduit par la figure 1.

(1) N.D.L.R. — Exact ! L'expérience nous a appris qu'il est parfois dangereux de promettre un article dont on ne tient pas encore le manuscrit...

Sensibilité et pompage

Supposons qu'avant de brancher la pile sur le pont, le curseur du potentiomètre se trouve au point O de la figure 2, et que la position d'équilibre du pont avec des résistances données soit au point M. Le servomécanisme serait parfait si le curseur parcourait la distance d en un temps très court pour s'arrêter exactement sur M. Or, si le déplacement du curseur est très rapide et si l'amplificateur est très sensible, le relais ne coupera le courant du moteur qu'en M, et le curseur ne viendra s'arrêter qu'en M'. Le relais fera alors repartir le moteur en sens inverse, la position M sera dépassée et le curseur s'arrêtera sur M'. Comme ce point correspond à un déséquilibre dans l'autre sens, le moteur repartira de nouveau. Il pourra y avoir ainsi une oscillation continue (entretenu) ou amortie, le système s'arrêtant après quelques va-et-vient d'amplitude décroissante: c'est le phénomène du *pompage*, une maladie particulière aux servomécanismes, qui s'apparente aux amorçages basse fréquence (motor-boating) dans les récepteurs.

Pour combattre le pompage, on peut imaginer deux remèdes utilisés simultanément ou séparément. On peut d'abord agir sur la *vitesse du moteur*. En faisant progresser le curseur très lentement, l'arrêt se produira plus près du point M où le courant sera coupé. D'autre part, en réduisant la *sensibilité de l'amplificateur*, le relais pourra couper l'alimentation du moteur en un point compris entre M' et M pour lequel le signal d'erreur est très faible mais non nul. Cette méthode permet d'éviter le pompage, mais comme le curseur s'arrêtera vers M' en venant de O et vers M'' en venant de O', nous aurons une plage d'incertitude s'étendant de M' à M'': c'est la maladie inverse: le *servomécanisme manque de sensibilité*.

Dans le montage décrit, la vitesse du moteur est faible, environ un tour complet en 20 s. Le micromoteur utilisé a d'autre part une faible inertie (induit petit et léger) et un frottement élevé dû au réducteur de vitesse, ce qui fait que l'arrêt est presque instantané. En ajustant le gain d'une manière convenable, on arrive donc à un réglage critique où il n'y a ni pompage ni manque de sensibilité appréciable, ce qui fait que l'appareil est parfaitement utilisable. Mais ce réglage correct est indispensable, et il est bon de se rendre compte de ce qui se passe lorsque l'on s'en écarte.

Un autre reproche que l'on pourrait faire à ce montage simplifié est sa *lenteur*. En effet, si le curseur doit se déplacer d'une première position d'équilibre en O vers une seconde position

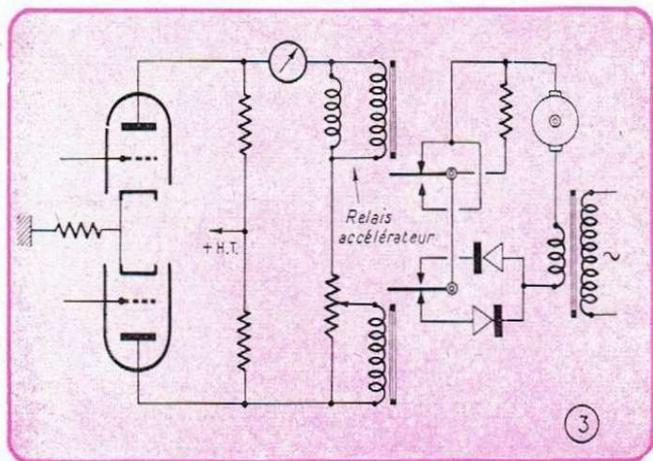


Fig. 3. — Un relais supplémentaire permet d'obtenir un système à trois états de fonctionnement: tout, peu et rien.

proche de O', le temps nécessaire sera d'environ 15 s. C'est là un inconvénient propre aux servomécanismes opérant par tout ou rien que l'on appelle aussi non-linéaires, inconvénient éliminé dans les servomécanismes linéaires dans lesquels la vitesse de rotation est proportionnelle à l'amplitude du signal d'erreur. Dans

un tel système, le curseur se déplacerait d'abord rapidement pour ralentir à mesure qu'il s'approche du point d'équilibre.

Nous pouvons nous rapprocher du fonctionnement à vitesse proportionnelle au signal d'erreur en transformant notre système à tout ou rien en un système à tout, peu et rien. Il suffit pour cela de mettre en série avec l'indicateur de zéro un autre relais un peu moins sensible court-circuitant une résistance montée en série avec le moteur, qui devra alors être alimentée sous une tension plus élevée. Comme le montre la figure 3, on peut utiliser à cet effet un autre relais (RS 6 par exemple) dont on branchera les deux enroulements en parallèle. La course du moteur sera alors plus rapide aux grands déplacements, et il y aura ralentissement au voisinage du point d'équilibre.

Débranchement automatique du pont

Signalons maintenant un petit perfectionnement bien utile à ceux qui utiliseront ce montage dans une application telle que le tri des résistances. Si on se contente de brancher la pile sur

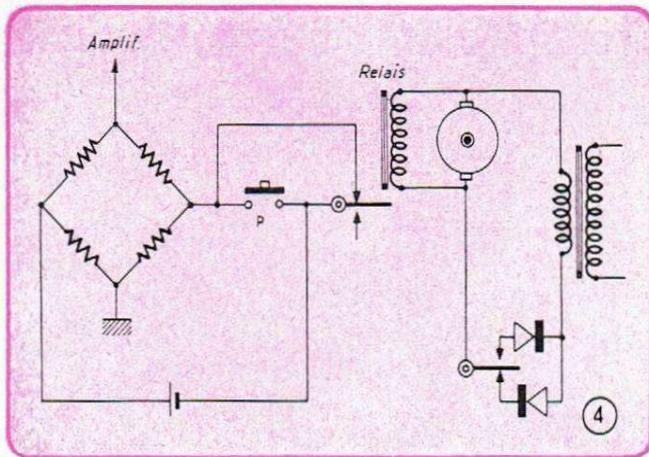


Fig. 4. — Grâce au relais mis aux bornes du rotor, la pile reste branchée jusqu'à la fin de la mesure et se débranche ensuite automatiquement.

le pont une fois pour toutes, on risque de l'oublier en circuit après avoir terminé les essais. De plus, le moteur se mettra à tourner dès que l'on retirera une résistance mesurée pour la remplacer par la suivante, et le curseur s'éloignera inutilement de la position d'équilibre. Il est d'autre part fastidieux d'appuyer sur un bouton pendant toute la durée d'une mesure, ou d'enclencher la pile chaque fois et de la déclencher après.

Le simple circuit de la figure 4 facilite grandement ces opérations de tri. Le pont est mis sous tension en appuyant sur le poussoir P pendant un court instant. Le signal d'erreur amplifié actionne le relais polarisé qui alimente le moteur. Sur les bornes du moteur, nous avons branché un relais supplémentaire dont le contact de travail court-circuite le poussoir. Le pont reste donc alimenté aussi longtemps que le moteur, autrement dit, tant que durera le déséquilibre. Dès que le moteur s'arrête, le relais ouvre, et on peut débrancher la résistance mesurée sans qu'il se remette en mouvement. Pour passer à la mesure suivante, il suffit d'appuyer de nouveau sur le bouton.

Il convient de noter que ce relais évite le pompage, car le moteur sera débranché avant que le moteur ne puisse repartir en arrière. Cette propriété peut constituer un inconvénient au cas où le moteur dépasserait sensiblement la position d'équilibre, c'est-à-dire justement dans le cas où le servomécanisme présenterait un pompage important, et ne saurait donc constituer un moyen de lutte contre ce défaut, qui serait tout simplement camouflé.

Quelques applications

Le seul exemple d'application donné dans la première partie de cet article ne met pas du tout en lumière deux propriétés

importantes des servomécanismes. Tout d'abord, il s'applique à l'électricité ; or, si le potentiomètre asservi met en œuvre des techniques électriques et électroniques, ses applications ne se limitent nullement à ces domaines, mais s'étendent à toute l'industrie.

On pourrait faire une autre objection. Il existe des ponts de « pour cent » à lecture directe sur le cadran d'un instrument de mesure, sans aucun moteur ni relais. En quoi ces appareils se distinguent-ils d'un servomécanisme du type décrit ? La différence réside essentiellement dans la force motrice disponible, capable d'accomplir des actions mécaniques. Alors que le cadre mobile d'un instrument de mesure procure tout juste le couple nécessaire pour déplacer l'aiguille, le servomoteur commandant le potentiomètre asservi est capable d'agir sur l'évolution du phénomène en provoquant par exemple l'ouverture ou la fermeture d'une vanne. L'indication de la position de cette vanne sur un cadran ne constitue dans ce cas qu'une commodité d'ordre secondaire, permettant par exemple à un surveillant de constater que le servomécanisme fonctionne bien selon les directives reçues.

Un servomécanisme de positionnement : le rotateur d'antenne

La réception des ondes très courtes nécessite l'emploi d'une antenne directive orientée par rapport à l'émetteur. Si cette orientation peut être effectuée une fois pour toutes dans le cas de la réception d'un seul émetteur, cette méthode n'est plus possible lorsqu'il s'agit de recevoir plusieurs émetteurs. On utilise alors un rotateur d'antenne commandé à distance. Ce système, schématisé par la figure 5, constitue une excellente illustration

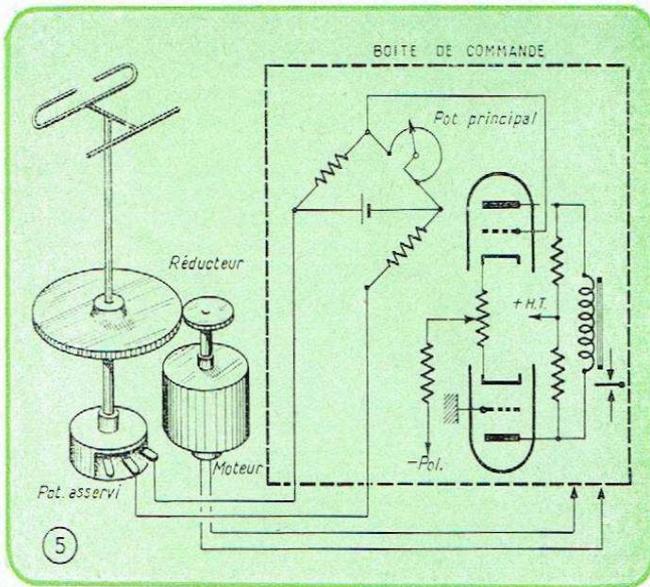


Fig. 5. — Schéma d'un rotateur d'antenne constituant un servomécanisme de positionnement.

du principe d'un servomécanisme de positionnement. Le moteur sera évidemment un peu plus puissant et étanche à l'eau, car il y a une différence entre le fonctionnement sur une table de laboratoire et sur un toit par tous les temps. Comme le déséquilibre du pont et de ce fait la tension d'erreur pourrait être plus grand que dans le pont à « pour cent », un amplificateur à un seul étage suffit et de ce fait le problème de la dérive ne se pose plus. Pour transformer un simple rotateur d'antenne en servomécanisme de positionnement, il suffit donc de peu de

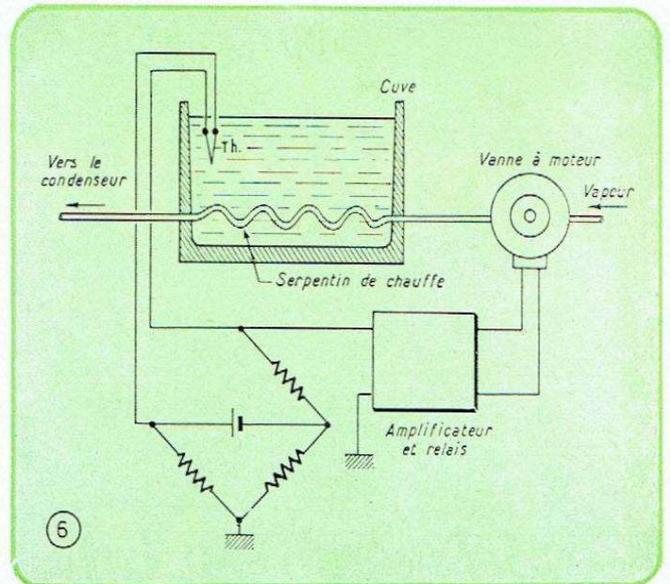


Fig. 6. — Principe de la régulation de température d'un bain à l'aide d'un servomécanisme. Le potentiomètre P permet d'ajuster la température à la valeur désirée.

matériel supplémentaire. Un potentiomètre principal gradué en degrés et placé sur la boîte de commande à distance asservit la position de l'antenne, et le moteur tourne dans le sens approprié jusqu'à ce que l'équilibre du pont soit rétabli au moyen du potentiomètre asservi couplé avec l'antenne.

Commande de température d'un bain d'électrolyse

Pour donner des résultats optima et reproductibles, la température des bains d'électrolyse doit être maintenue constante, ce qui est fréquemment réalisé au moyen d'une circulation de vapeur dans un serpentin placé au fond de la cuve. La figure 6 montre le schéma de principe d'une installation de réglage de température réalisée à l'aide d'un potentiomètre asservi. On utilise une sonde à thermistance Th plongée dans le bain dont il s'agit de régler la température. Lorsque le bain se refroidit, la résistance de la thermistance augmente, ce qui déséquilibre le pont, et le signal d'erreur commande le moteur qui augmente l'ouverture de la vanne. Si la commande de la vanne s'effectue avec une lenteur comparable à l'inertie thermique du système, le réglage sera progressif ; autrement, il se fera par tout ou rien.

On trouvera sans peine des douzaines d'exemples d'asservissement de procédés industriels basés sur l'emploi d'un potentiomètre asservi et d'un capteur de pression, de température, d'élongation, de vitesse, d'accélération, etc., approprié.

F. HAAS
Ing. E. E. M. I.

RECTIFICATIF

RÉALISATION D'UN POTENTIOMÈTRE ASSERVI

Nous prions nos lecteurs de vouloir bien noter que dans le schéma général, figure 8, page 14 de notre premier numéro, la valeur de la haute tension filtrée est de 300 V, la valeur de 130 V indiquée par erreur étant celle des cathodes de la 12 AT 7 - ECC 81.

D'autre part, une connexion de masse a été oubliée à la base des deux condensateurs chimiques de filtrage de 16 μ F.

Avec toutes nos excuses.

Les prochains numéros de nos 4 revues, datés de Septembre, paraîtront fin Août

LES AMPLIFICATEURS

MAGNÉTIQUES

Après avoir passé en revue, dans nos deux premiers numéros, les montages fondamentaux d'amplificateurs magnétiques, nous donnons ci-dessous quelques indications générales sur leur fonctionnement réel et sur leur réalisation. Par la même occasion, nous sommes amenés à parler des relais magnétiques sans contact et des stabilisateurs de tension à fer saturé, dispositifs dont la technique dérive de celle des amplificateurs magnétiques, et qui font par ailleurs l'objet d'une étude dans les pages 97 à 100 du présent numéro.

Amplificateurs magnétiques en régime dynamique

Lorsque la tension de commande d'un amplificateur magnétique varie, le courant, à la sortie, ne « répond » à cette variation qu'avec un certain retard.

Le régime transitoire d'un amplificateur magnétique se compose de phénomènes très compliqués, mais les différentes recherches et expériences ont pu montrer que le retard, la constante de temps en quelque sorte, est déterminée surtout par la self-induction de l'enroulement de commande.

Cette self-induction, dépendant du courant de commande, n'est pas linéaire, mais reste à peu près constante dans les amplificateurs magnétiques symétriques (différentiels, en pont ou à transformateurs), qui contiennent deux enroulements de commande en quelque sorte opposés, de sorte que la self-induction de l'un diminue pendant que l'autre augmente, leur gamme restant à peu près constante.

Pour cette raison, le régime transitoire dans le circuit de commande d'un amplificateur magnétique, lorsqu'on applique une tension de commande u_c , peut s'exprimer par l'équation différentielle suivante :

$$u_c = i_c R_c + L_c \frac{di_c}{dt}$$

où L_c est la self-induction totale des enroulements de commande d'un amplificateur magnétique différentiel, en pont ou à transformateurs, et où R_c représente la résistance du circuit de commande.

La résolution de cette équation nous donne l'expression du courant i_c en fonction du temps :

$$i_c = \frac{u_c}{R_c} \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right),$$

où T représente la constante de temps du circuit de commande, c'est-à-dire le rapport L_c/R_c .

Les variations de la valeur efficace du courant alternatif I_a suivent les variations de i_c avec un retard très faible, et la formule ci-dessus peut exprimer, à une échelle différente, les variations de I_a en fonction du temps :

$$I_a = K i_c = K \frac{u_c}{R_c} \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right),$$

où K représente le coefficient d'amplification en intensité d'un amplificateur magnétique. En d'autres termes, la constante de temps du circuit de commande représente la constante de temps de l'amplificateur tout entier.

Caractéristiques techniques des amplificateurs magnétiques

On réalise les amplificateurs magnétiques sur des circuits soit en tôle à transformateurs courants, soit en permalloy.

La première solution (tôle à transformateurs) est généralement adoptée lorsqu'il s'agit d'amplificateurs dont la puissance de sortie est supérieure à plusieurs watts, pouvant aller jusqu'à plusieurs centaines de watts. On se fixe une induction comprise, le plus souvent, entre 8 000 et 10 000 gauss, tandis que le coefficient d'amplification en puissance K_p oscille entre 10 et 1000.

On arrive à augmenter considérablement le coefficient d'amplification, et à diminuer le seuil de sensibilité en faisant appel aux circuits en permalloy (alliage fer-nickel à haute perméabilité), car la même valeur de suraimantation provoque alors une modification de plusieurs fois supérieure de la self-induction. Cependant, l'utilisation du permalloy entraîne une nette augmentation du volume du circuit, pour une même puissance de sortie, puisque l'induction adoptée est moindre, de l'ordre de 4000 à 5000 gauss.

Pour cette raison, on limite le plus souvent l'utilisation du permalloy aux amplificateurs dont la puissance de sortie est inférieure à 1 watt, et aux amplificateurs de tension.

Le coefficient d'amplification en puissance d'un amplificateur magnétique réalisé sur un circuit en permalloy peut varier de 1000 à plus de 10 000, ce qui permet d'amplifier des signaux très faibles, dont la puissance est de l'ordre de 1.10^{-12} watt. S'il s'agit d'un amplificateur de tension, son coefficient d'amplification peut se chiffrer alors par les puissances 4 ou 5 de 10.

Les fréquences de travail des amplificateurs magnétiques sont soit de 50 Hz (fréquence du secteur), soit de 400-600 Hz (applications spéciales). Des amplificateurs fonctionnant à des fréquences de plusieurs kHz ont été également réalisés.

La constante de temps T des amplificateurs magnétiques varie entre quelques centièmes ou dixièmes de seconde pour des appareils de faible puissance, et plusieurs secondes pour des amplificateurs de grosse puissance.

Les variations de tension et de fréquence du courant alternatif d'alimentation, ainsi que celles de la température ambiante, se répercutent sensiblement sur le coefficient d'amplification des appareils simples, mais très peu sur celui des amplificateurs magnétiques symétriques (différentiels, en pont ou à transformateurs) surtout si le signal de commande est faible.

En ce qui concerne sa réalisation, un amplificateur magnétique se présente sous l'aspect d'un circuit normal en tôles ferromagnétiques, sur lequel se trouvent bobinés les enroulements à courant alternatif et ceux de commande (suraimantation).

Les circuits magnétiques sont assemblés par empilage de tôles, comme pour un transformateur normal. Cependant, afin qu'il n'y ait pas d'induction de la f.e.m. de fréquence fondamentale dans les enroulements de commande ou de suraimantation, les bobines n_a parcourues par du courant alternatif sont souvent placées sur les « pattes » centrales de deux circuits en « E », tandis que les enroulements n_c à courant continu sont bobinés par dessus, suivant le croquis de la figure 31. Il faut noter que cette disposition diminue également la dispersion.

La présence des entrefers dans un circuit normal en « E », inévitables même s'ils ne sont pas voulus, diminue les performances d'un amplificateur magnétique. C'est pourquoi les meilleurs résultats en amplification et en sensibilité sont obtenus, pour les amplificateurs de faible puissance, en utilisant des circuits en anneau, assemblés à partir de tôles en permalloy de forme convenable.

Dans ce cas, deux circuits comportent, chacun, un enroulement n_a à courant alternatif, tandis que les bobinages n_c à courant continu sont disposés par dessus, englobant l'ensemble (fig. 32). La difficulté de cette solution réside dans la réalisation des bobinages toroidaux.

Relais magnétique sans contact

Un amplificateur magnétique avec réaction (fig. 27 et 28) se transforme, lorsque le taux de réaction β est nettement supérieur à 1, en relais magnétique sans contact. En d'autres termes, lorsque le courant de commande I_c atteint, dans ces conditions, une certaine valeur, le courant alternatif de sortie I_a passe brusquement d'une valeur à une autre, très différente.

Cette variation brusque signifie encore que le coefficient d'amplification dynamique K_r d'un amplificateur magnétique avec réaction devient infini au point considéré (variation très importante de I_a pour une variation infiniment petite de I_c), tandis que le coefficient d'amplification dynamique K' sans réaction garde une certaine valeur bien déterminée. Autrement dit, nous avons :

$$K_r = \frac{\Delta H_a}{\Delta H_c} \approx \frac{dH_a}{dH_c} = \infty$$

et

$$K' = \frac{\Delta H_a}{\Delta H_{ctot}} \approx \frac{dH_a}{dH_{ctot}} \neq \infty.$$

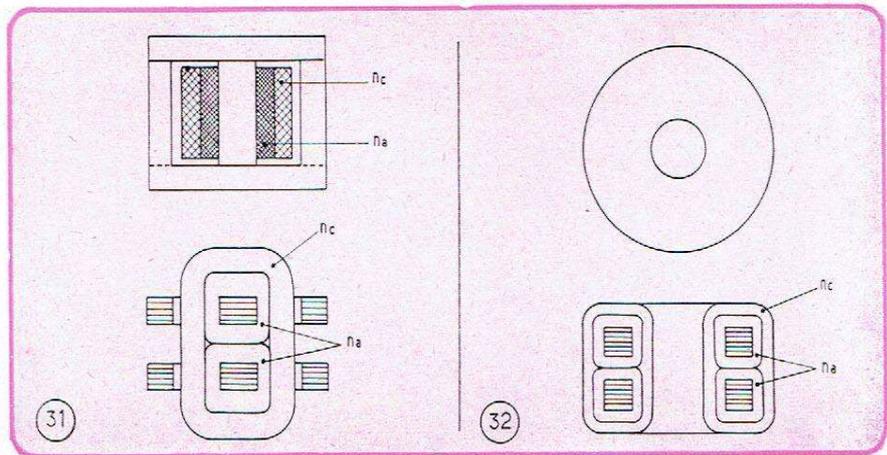


Fig. 31. — Réalisation d'un amplificateur magnétique sur un noyau normal.

Fig. 32. — Réalisation d'un amplificateur magnétique sur un noyau toroidal.

Nous allons voir dans quelles conditions peut se produire, dans un amplificateur magnétique avec réaction, une variation brusque du courant I_a et une variation correspondante, également brusque, de l'intensité du champ H_a .

La formule que nous avons donnée plus haut pour le coefficient d'amplification K_r , avec réaction, garde sa valeur pour l'expression du coefficient d'amplification dynamique et s'écrit, par conséquent :

$$K_r = \frac{K'}{1 - K'\beta} \quad (17)$$

Il est évident, puisque la variation brusque a lieu pour $K_r = \infty$, que nous devons avoir

$$1 - K'\beta = 0$$

c'est-à-dire :

$$K' = \frac{1}{\beta}$$

Cela veut dire que le phénomène aura lieu au point commun de la courbe $H_a = f_1(H_{ctot})$ et de la droite

$$H_a = \frac{1}{\beta} (H_{ctot} - H_c),$$

où la dérivée

$$\frac{dH_a}{dH_{ctot}} = K'$$

est égale à la pente de la droite de réaction, c'est-à-dire à

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{1}{\beta}.$$

Autrement dit, le point cherché est le point de tangence de la droite de réaction avec la courbe $H_a = f_1(H_{ctot})$ (fig. 28).

Nous avons indiqué plus haut que la caractéristique $H_a = f_1(H_{ctot})$ d'un amplificateur magnétique peut être assimilée, dans sa partie moyenne, à une droite $H_a = K H_{ctot}$, formant, avec l'axe des abscisses, un angle de 45° environ. Par conséquent, pour que la droite de réaction puisse être tangente au coude inférieur et supérieur de la courbe $H_a = f_1(H_{ctot})$, il est nécessaire que l'angle α soit nettement inférieur à 45°, ce qui entraîne un taux de réaction supérieur à 1, c'est-à-dire :

$$\beta = \operatorname{tg} \alpha > \frac{1}{K} \approx 1.$$

La construction de la caractéristique d'un amplificateur magnétique en régime de relais se fait de la même façon que pour un amplificateur ordinaire avec réaction (fig. 28) et nous la montrons sur le graphique de la figure 33.

L'intensité H_c du champ de commande, telle que $H_c = 0$, nous donne le point 1 où la droite de réaction coupe la courbe $H_a = f_1(H_{ctot})$. Une horizontale menée par 1 nous donne, à l'intersection avec l'axe des ordonnées, le point 2, faisant partie de la courbe $H_a = f_2(H_c)$.

En faisant $H_c = H_2$ nous trouvons le point d'intersection 3, et le point 4 de la courbe cherchée, intersection de l'horizontale passant par 3 et de la verticale passant par H_2 .

Au point 5, la droite de réaction tracée pour $H_c = H_2$ est tangente à la courbe $H_a = f_1(H_{ctot})$, et la condition $K' = 1/\beta$ se trouve réalisée. Nous avons alors $K_r = \infty$ et une modification brusque de la valeur H_a qui, le long de la courbe $H_a = f_1(H_{ctot})$, passe du point 5 au point 6, et le long de la courbe $H_a = f_2(H_c)$, passe du point 7 au point 8.

Les autres points de la courbe cherchée sont déterminés par l'intersection des droites de réaction avec la portion gauche de la courbe $H_a = f_1(H_{ctot})$. Par exemple, pour $H_c = H_4$, nous obtenons, par une construction analogue aux précédentes, les points 9 et 10.

D'une façon générale, lorsque le champ de commande H_c diminue, par exemple de H_4 à H_1 , la courbe $H_a = f_2(H_c)$ est déterminée par les points d'intersection des droites de réaction avec la portion gauche de la courbe $H_a = f_1(H_{ctot})$, tant que, pour $H_c = H_2$, la droite de réaction ne devient tangente à la courbe $H_a = f_1(H_{ctot})$, mais dans le coude inférieur. Au point 11 nous avons, encore une fois, une variation brusque et la valeur de H_a passe d'un seul coup, sur la courbe fondamentale, du point 11 au point 3, et sur la courbe cherchée, du point 12 au point 4.

De cette manière, nous obtenons, pour $H_c = H_2$, deux points : le point de tangence 11 et le point d'intersection 3, déterminant les limites de variation de H_a dans le sens de l'augmentation brusque. D'une façon analogue, lorsque $H_c = H_3$, nous avons également deux points : le point de tangence 5 et le point d'intersection 6, déterminant les limites de variation de H_a dans le sens de la diminution brusque.

Lorsque $H_a = H_3$, nous avons trois points d'intersection, 13, 14 et 15. Les points 13 et 15 nous donnent la valeur du H_a dans la région comprise entre les deux variations brusques, tandis que le point 14, comme d'ailleurs tous les points situés entre les points de tangence, n'a aucun sens pratique, car il ne peut y avoir de régime stable dans cette zone.

La courbe $H_a = f_2(H_c)$ que nous obtenons représente très exactement l'allure de la caractéristique d'un relais électromagnétique, de sorte que tout le système se comporte, bien que dépourvu de tout contact, comme s'il comportait des contacts dont l'ouverture ou la fermeture provoque des variations brusques et bien définies d'intensité.

On sait que les contacts, en général, sont le point faible de tout système électromagnétique et, en particulier, des relais, ce qui souligne l'intérêt de cette solution des « relais sans contact » et explique leur utilisation de plus en plus large dans certains domaines.

La courbe $H_a = f_2(H_c)$ de la figure 33 reproduit la caractéristique d'un relais en régime de contact normalement fermé. En effet, pour $H_c = 0$, la valeur du courant alternatif I_a , et du champ H_a qui en résulte, est élevée, ce qui correspond bien à un contact fermé.

Lorsque le courant de commande atteint une certaine valeur I_m (courant d'ouverture), à laquelle correspond un champ

$H_3 = H_m$, le courant alternatif I_a diminue brusquement, ce qui offre bien une analogie avec l'ouverture d'un contact. Inversement, lorsque l'on diminue ensuite le courant de commande jusqu'à une certaine valeur I_n (courant de fermeture), créant un champ $H_2 = H_n$, le courant alternatif I_a reprend de nouveau, et d'un seul coup sa valeur limite supérieure (le contact se ferme).

On peut dire que le relais considéré possède un coefficient d'inversion défini par le rapport I_n/I_m .

Il est évidemment possible de réaliser un relais magnétique travaillant en régime de contact normalement ouvert, ou encore un relais polarisé. En effet, si dans le système défini par les courbes de la figure 33 nous introduisons une suraimantation initiale supplémentaire, nous obtenons la possibilité de déplacer l'ensemble des caractéristiques parallèlement à l'axe des abscisses. La figure 34 concrétise les trois possibilités qui nous sont offertes, et nous y voyons :

- a. — Relais en régime de contact normalement fermé ;
- b. — Relais en régime de contact normalement ouvert ;
- c. — Relais polarisé à deux positions et un seul contact.

Dans ce dernier cas, le système travaille comme si un contact se fermait sous l'action d'un courant de commande positif, et s'ouvrait sous celle d'un courant de commande négatif.

A l'aide de deux relais magnétiques, nous pouvons constituer un système analogue à un relais polarisé normal à deux positions et deux contacts, ou encore à un relais polarisé à trois positions.

La valeur des courants d'ouverture (I_m) et de fermeture (I_n), celle du coefficient d'inversion et celle du courant alternatif en régime « ouvert » ou « fermé » dépendent de l'importance de la suraimantation initiale et du taux de réaction. Elles peuvent

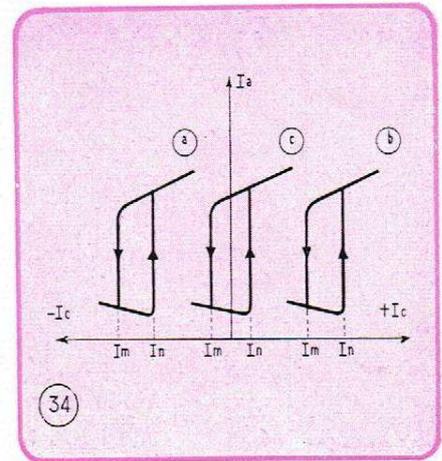


Fig. 34. — On peut modifier les conditions de fonctionnement d'un relais par simple modification de la magnétisation initiale.

varier un peu suivant les variations de la tension et de la fréquence du courant d'alimentation, suivant la charge et, aussi, suivant la température ambiante.

Stabilisateurs de tension ferromagnétiques

L'allure non-linéaire de la courbe d'aimantation des matériaux ferromagnétiques permet d'utiliser ces derniers pour la réalisation des stabilisateurs de tension pour courant alternatif.

Un stabilisateur ferromagnétique très simple peut être constitué suivant le schéma de la figure 35, où les primaires de deux transformateurs, T_1 et T_2 sont connectés en série et alimentés par la tension alternative U_1 , dont la stabilité laisse à désirer. Les deux secondaires sont connectés en série et en opposition, l'ensemble se fermant sur une charge Z_c aux bornes de laquelle on désire avoir une tension constante U_2 .

Le transformateur T_1 est calculé de façon que pour la valeur nominale de U_1 son noyau travaille avec une induction élevée et se trouve placé en régime de saturation. Par contre, pour une même valeur de la tension U_1 , le transformateur T_2 doit travailler avec une induction faible. Il en résulte que si la tension U_1 varie, les coefficients d'induction mutuelle des transformateurs T_1 et T_2 vont varier différemment, et il en sera de même pour les tensions secondaires U_{2a} et U_{2b} .

Lorsque la tension U_1 croît de zéro à sa valeur maximum, la tension secondaire U_{2a} du transformateur T_1 augmente d'abord très rapidement, puis, lorsque la zone de saturation se trouve atteinte, beaucoup plus lentement (fig. 36). Pendant ce temps, la tension secondaire U_{2b} du transformateur T_2 croît à peu près proportionnellement à la tension U_1 .

Il est possible, en choisissant convenablement les caractéristiques des transformateurs T_1 et T_2 , de donner aux courbes de U_{2a} et U_{2b} une même inclinaison α dans la zone

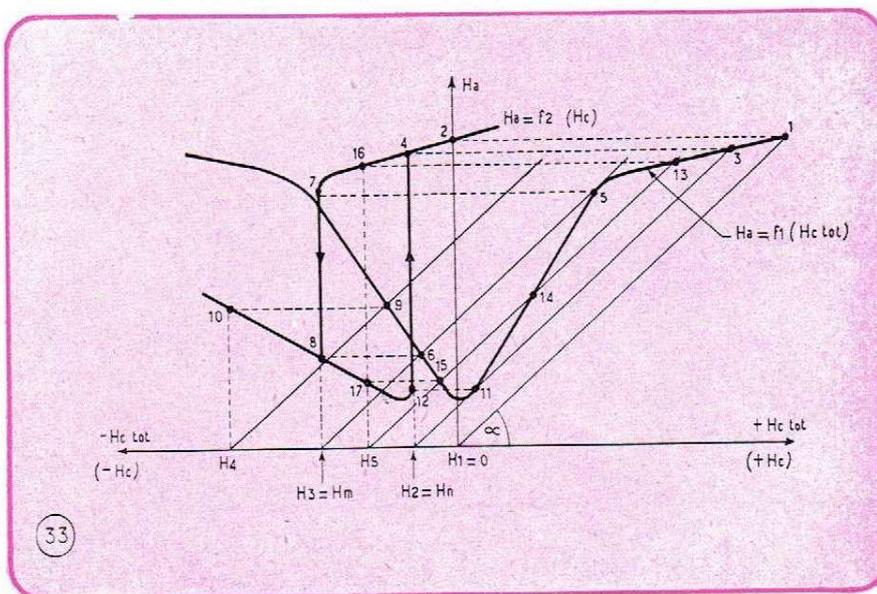


Fig. 33. — Construction graphique de la courbe de fonctionnement d'un amplificateur magnétique travaillant en régime de relais.

des variations prévues. Dans ces conditions, la tension de sortie U_2 , égale à la différence des tensions U_{2a} et U_{2b} , sera indépendante, dans cette zone, de la tension d'alimentation U_1 .

Il est évident qu'à la place de deux transformateurs séparés on peut utiliser un circuit unique à trois branches.

A noter que les stabilisateurs ferromagnétiques du type ci-dessus ne sont utilisés que pour des puissances faibles (jusqu'à 10 VA à peu près), car leur rendement électrique est bas (de l'ordre de 50 %) et ils exigent une dépense trop importante en matières premières, comparée aux résultats obtenus. Cependant, la tension de sortie de ces stabilisateurs dépend moins des variations de fréquence de la tension d'alimentation, si on les compare aux stabilisateurs à fer-résonance que nous allons voir maintenant.

Les stabilisateurs à fer-résonance peuvent être basés sur le phénomène soit de résonance série, soit de résonance parallèle, mais le rendement électrique est meilleur avec la résonance parallèle qui, de plus, procure une plus grande indépendance du fonctionnement par rapport à la nature de la charge. C'est donc, pratiquement, la seule solution utilisée, et les stabilisateurs basés sur ce principe sont très largement employés.

Le schéma de la figure 37 représente un montage assez courant, où nous voyons une inductance S_1 , dont le noyau travaille en régime de saturation dans toute la zone des variations prévues pour la tension d'alimentation U_1 . L'ensemble est complété par un condensateur C , en parallèle sur l'enroulement de S_1 , et par un autotransformateur T_1 dont le noyau est loin de la saturation.

A cause du phénomène de résonance la non-linéarité de la caractéristique de l'ensemble C- S_1 est beaucoup plus accentuée que s'il s'agissait de l'inductance seule. Par ailleurs, on sait que la chute de tension U_{2a} aux bornes du circuit C- S_1 , exprimée en fonction du courant I_1 , présente l'allure de la courbe 1 de la figure 38 qui peut avoir une portion à pente négative (entre les valeurs I_{1a} et I_{1b}). Nous allons examiner

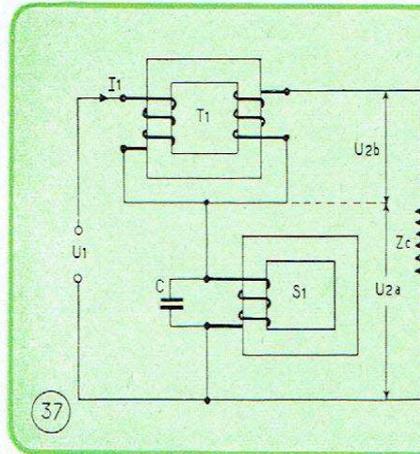


Fig. 37. — Schéma de base d'un stabilisateur de tension à ferro-résonance.

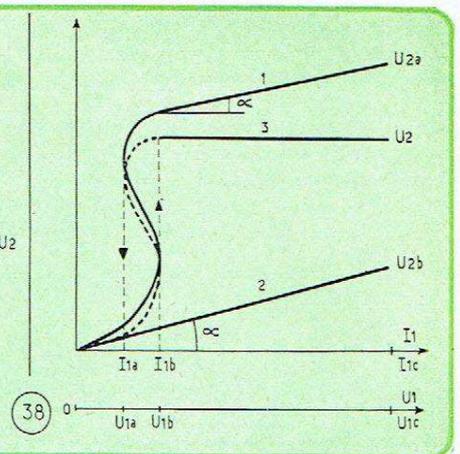


Fig. 38. — Courbes de fonctionnement du stabilisateur de tension de la fig. 37

le fonctionnement du système en dehors de cette portion, c'est-à-dire entre I_{1b} et I_{1c} .

La tension U_{2b} , induite dans l'enroulement de sortie de l'autotransformateur T_1 , est sensiblement proportionnelle au courant I_1 (courbe 2 de la figure 38). Si l'on donne à cette courbe une inclinaison α égale à celle de la courbe 1 dans la zone de saturation, et si l'on connecte l'enroulement de sortie de T_1 de façon que la tension U_{2b} se retranche de U_{2a} , la tension de sortie U_2 sera indépendante, dans une plage assez étendue, du courant I_1 , c'est-à-dire de la tension U_1 (courbe 3).

Dans la zone où la courbe 3 présente une pente négative, aucun fonctionnement stable du système n'est possible. Lorsque la tension d'alimentation croît, de zéro vers des valeurs de plus en plus élevées, le courant I_1 augmente, et la tension de sortie U_2 croît d'abord régulièrement. Au moment où la tension d'alimentation atteint une certaine valeur, la tension de sortie augmente brusquement comme il est indiqué par une flèche dirigée vers le haut (fig. 38). Lorsque la tension d'alimentation décroît, le phénomène inverse a lieu, mais pour une valeur un peu différente de U_1 : la tension de sortie diminue brusquement suivant la flèche diri-

gée vers le bas (fig. 38). Un stabilisateur doit normalement fonctionner dans la zone représentant ± 20 à 30 % de la valeur nominale de U_1 , zone qui doit se trouver toujours au-delà de celle des variations brusques.

Les stabilisateurs basés sur le principe de la fer-résonance peuvent être réalisés pour des puissances variant de quelques dizaines de VA à plusieurs kVA, leur rendement étant de l'ordre de 0,8 à 0,85.

La tension de sortie stabilisée et le degré de stabilisation dépendent de la consommation et du $\cos \varphi$ de la charge. Il faut noter également que la tension de sortie d'un tel stabilisateur n'est pas sinusoïdale et contient un pourcentage assez élevé de troisième harmonique.

Parmi les inconvénients propres aux stabilisateurs à fer-résonance on peut signaler l'influence assez marquée de la fréquence sur la tension de sortie, influence qui peut se traduire par 1 à 2 % de variation de cette tension pour 1 % de variation de fréquence.

Il est vrai qu'il existe des schémas plus compliqués, avec circuits de compensation, qui permettent de réduire l'influence du $\cos \varphi$ de la charge et des variations de fréquence sur la tension de sortie.

W. SOROKINE.

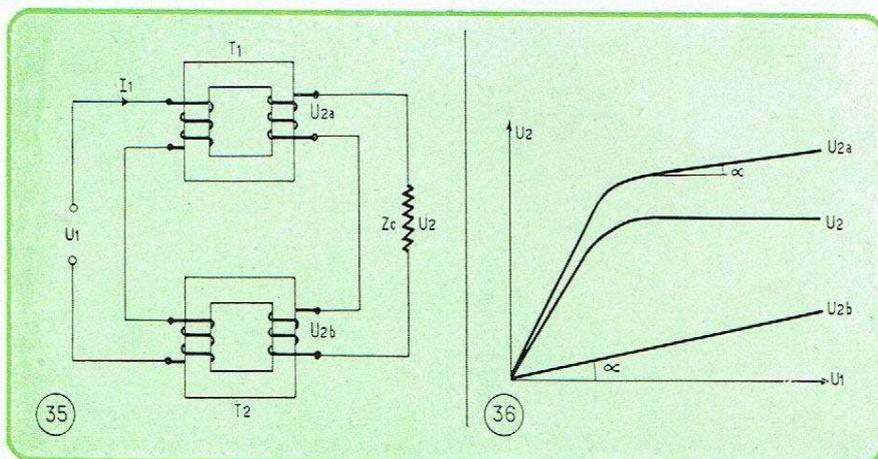


Fig. 35. — Disposition élémentaire d'un stabilisateur de tension à fer saturé.

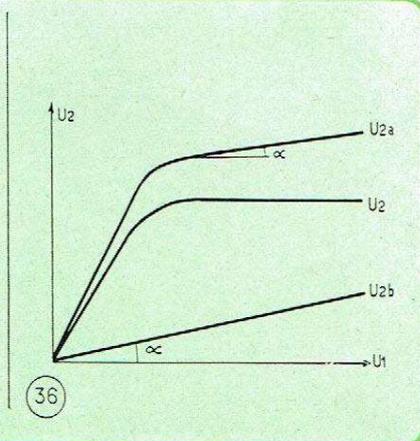


Fig. 36. — Courbes de fonctionnement du stabilisateur de la figure 35.

Si vous lisez l'allemand...

TECHNISCHE SCHWINGUNGSLEHRE, par H.L. Zipperer. — Un vol. de 102 p. (103x155). 59 fig. — Walter de Gruyter et Cie, Berlin. — Prix : 4,80 DM.

Cette petite brochure fait partie de la célèbre collection Götschen. Elle constitue le deuxième volume d'une monographie consacrée aux oscillations et traite plus spécialement des oscillations de torsion dans les machines. On sait combien est grand le danger de ces oscillations qui, lorsqu'elles sont en résonance avec leur période propre, peuvent provoquer la rupture des gros arbres des navires ou d'autres installations mécaniques. L'auteur indique de nombreuses méthodes permettant de calculer exactement les fréquences et les amplitudes de telles oscillations et d'éviter de fâcheux accidents.

A travers la Presse

Des résistances négatives avec des transistors jonction ! LE TRANSISTOR JONCTION SURALIMENTÉ

M.C. Kidd, W. Hasenberg et W.M. Webster, *R.C.A. Review*, N° 1/1955, p. 16 à 33, Princetown, mars 1955

Si on poursuit, actuellement, la fabrication du transistor à pointes, c'est surtout parce que cette triode possède la propriété intéressante de montrer des résistances d'entrée ou de sortie négatives dans certaines conditions de fonctionnement. A cause de cette particularité, on croyait pouvoir prédire au transistor à pointes un avenir brillant dans la technique des machines à calculer et dans d'autres applications de l'électronique.

Si on commande la base par un courant positif. Avec des polarités inversées, les effets signalés pourraient être reproduits avec un transistor **n-p-n**.

L'utilisation de courants de base positifs n'est pas nouvelle à elle seule. Ses effets ont été signalés dans l'ouvrage « Technique et Applications des Transistors » (page 90 et suivantes) où on montre qu'il est possible de bloquer presque parfaitement le courant col-

lecteur normales ; puis il augmente très rapidement. L'échauffement provoqué par le passage de ce courant peut entraîner un véritable « emballement » du courant de collecteur ; et cela explique la mort prématurée que beaucoup de transistors ont trouvée en fonctionnant à base ouverte.

La troisième région correspond à une polarisation de base inverse (positive pour le **p-n-p**) et à une tension de collecteur trop faible pour provoquer le passage d'un courant autre que le courant de repos normal, tel qu'on le relève en montage base commune.

Le domaine jusqu'alors inexploré commence à la quatrième région. En appliquant un courant de base positif suffisamment fort, on constate qu'un courant de collecteur prend subitement naissance à partir d'une tension d'alimentation bien définie. Pour cette particularité, le phénomène a été appelé par les auteurs « delayed collector conduction », ce qu'on peut traduire par « conduction de collecteur différée ». (Abréviation : C.C.D.). On remarque des courbes presque verticales dans cette quatrième région ; cela indique une résistance d'entrée très élevée et une résistance de sortie très basse.

Dans la cinquième région, la résistance de sortie devient négative. Pour un courant de base donné, le courant de collecteur diminue quand la tension de collecteur augmente.

La sixième région correspond à des différences de potentiel base-collecteur trop élevées pour que la diode constituée par ces deux électrodes puisse encore rester bloquée. Le courant inverse augmente alors comme une avalanche ; et un fonctionnement prolongé dans ces conditions peut provoquer la destruction du transistor.

Physique de la conduction de collecteur différée

Le fonctionnement du transistor suralimenté correspond, jusqu'à un certain degré, à celui d'un tube à gaz. Notamment à la limite des régions IV et V, l'espace émetteur-collecteur devient subitement conducteur pour une très faible augmentation de la tension d'alimentation. Cette conduction a lieu, comme nous l'avons vu, avec une résistance interne très faible, tout comme dans le cas du thyatron. Dans ce dernier, la grille perd entièrement son action de commande après l'allumage. La base du transistor suralimenté, par contre, garde constamment un certain contrôle sur le courant de collecteur.

Le mécanisme de fonctionnement du transistor suralimenté peut, d'ailleurs, se comparer à celui du tube à gaz. Dans ce dernier, les quelques électrons normalement présents sont accélérés sous l'influence d'une tension appliquée aux électrodes. Dans leur mouvement, ils ionisent des molécules de gaz ; les

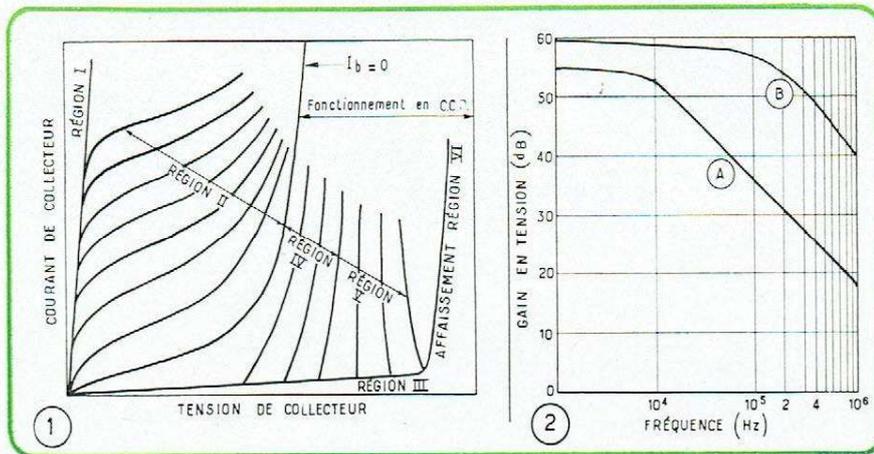


Fig. 1. — Ce réseau de caractéristiques d'un transistor à jonctions montre des régions qui n'avaient pas encore été explorées jusqu'ici.

Fig. 2. — La courbe A montre la réponse d'un amplificateur à transistor en montage classique, la courbe B celle d'un étage suralimenté.

Les recherches que les auteurs ont entreprises montrent que les transistors à jonctions sont également capables de se comporter en résistances négatives, à condition qu'on leur applique des tensions qu'on jugeait, jusqu'ici, comme nuisibles à leur bon fonctionnement. C'est sans doute cette crainte de dépasser les limites fixées par le fabricant qui a retardé si longtemps la découverte de ce nouveau mode de fonctionnement. Les transistors à jonctions utilisés par les auteurs sont, en effet, des modèles parfaitement courants.

Conduction de collecteur différée

La résistance de sortie négative est obtenue, par les auteurs, en travaillant en montage « émetteur commun » avec des tensions de collecteur très élevées et un courant de base inverse. Dans le cas du transistor **p-n-p**, type que nous considérerons exclusivement par la suite, on utilise donc une forte tension négative

pour le collecteur, et on commande la base par un courant positif. Avec des polarités inversées, les effets signalés pourraient être reproduits avec un transistor **n-p-n**.

L'utilisation de courants de base positifs n'est pas nouvelle à elle seule. Ses effets ont été signalés dans l'ouvrage « Technique et Applications des Transistors » (page 90 et suivantes) où on montre qu'il est possible de bloquer presque parfaitement le courant col-

lecteur par un courant de base approprié. Les auteurs de l'article cité ont poussé leurs expériences plus loin en augmentant la tension de collecteur d'un transistor bloqué par un courant de base positif. Le courant de collecteur recommence alors à circuler — ce qui était à prévoir — mais il diminue de nouveau pour des tensions de collecteur et des courants de base très forts.

La caractéristique de la figure 1 traduit ces phénomènes. Elle est divisée en sept régions de fonctionnement différentes.

La première région est celle des tensions de collecteur très faibles et pour lesquelles on obtient la saturation du courant de collecteur, qui reste alors invariable, quand le courant de base augmente.

La deuxième région est celle de l'utilisation normale ; le fonctionnement du transistor est très stable, sa résistance d'entrée est basse et sa résistance de sortie élevée. Elle correspond à la courbe qu'on relève en absence de courant de base. On voit que le courant de collecteur reste alors très faible pour des ten-

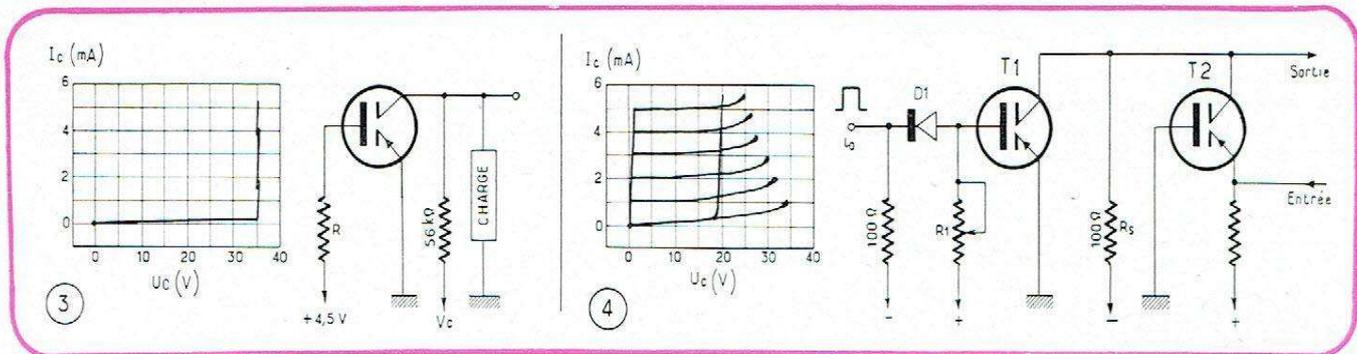


Fig. 3. — Stabilisateur de tension à transistor avec sa caractéristique.

Fig. 4. — Suivant la polarité du signal de commande, le premier transistor travaille en montage « base commune » ou « suralimenté ».

ions ainsi formés tombent sur la cathode pour libérer des électrons secondaires ionisant, à leur tour, d'autres molécules de gaz, etc.

Dans un semi-conducteur, un électron ou un trou suffisamment rapides peuvent libérer une paire électron-trou par choc direct. Suivant leur signe, les charges ainsi créées passent vers le collecteur et vers la base, où elles augmentent la charge locale. La base se trouve ainsi polarisée dans le sens de conduction par rapport à l'émetteur; et cela bien que le courant de base (positif pour le transistor p-n-p) provoque, à lui seul, une polarisation contraire.

En se basant sur la théorie des semi-conducteurs, les auteurs développent une étude physique et mathématique détaillée du phénomène de la conduction de collecteur différée. Il en résulte que le transistor suralimenté fonctionne, tout comme le thyatron, avec une résistance d'entrée élevée et une résistance de sortie basse et que son temps d'allumage est plus court que son temps de rétablissement.

Applications de la conduction de collecteur différée

En choisissant la résistance de charge telle que les courbes des régions IV et V ne soient coupées qu'une fois par la droite de charge correspondante, on obtient un amplificateur à forte résistance d'entrée et à faible résistance de sortie. Son gain en puissance est à peu près équivalent à celui d'un montage

travaillant sous des conditions de fonctionnement normales.

En utilisant un transistor à résistance de sortie négative dans un **amplificateur à large bande**, une extension sensible de la bande passante peut être obtenue. Les courbes de la figure 2 montrent, en (A) la caractéristique de fréquence d'un transistor alimenté conventionnellement, et en (B) celle d'un transistor suralimenté. L'augmentation du gain n'est pas due à un simple effet de réaction, car le produit gain par largeur de bande augmente également.

Pour une polarisation de base suffisamment positive, le courant de collecteur croît, comme nous l'avons vu, très rapidement à partir d'une certaine tension d'alimentation. On constate un phénomène analogue dans une ampoule au néon; le transistor suralimenté peut donc être utilisé comme **régulateur de tension**. Sur les stabilisateurs classiques, il a l'avantage qu'on peut régler son « plafond » de régulation en agissant sur le courant de base. Un schéma de principe est reproduit en figure 3 avec sa courbe de régulation.

Un **commutateur électronique** peut être obtenu en faisant travailler un transistor tantôt en montage base commune, tantôt en conduction de collecteur différée. Dans la caractéristique de la figure 4, les lignes à allure horizontale correspondent au premier mode de fonctionnement, la courbe verticale au second. On voit que la conduction de collecteur différée n'a lieu qu'en montage émetteur commun. Le passage d'un mode de fonctionnement à l'autre permet de varier la résistance de sortie d'un transistor d'une manière très appréciable; et ce phénomène peut être utilisé pour de nombreuses applications.

Un exemple est donné par le schéma de la figure 4. Tant que la diode est conductrice, le transistor reçoit, à travers une résistance d'attaque très faible, une polarisation négative. Du point de vue courant continu, il travaille ainsi en montage base commune (BC). En appliquant une impulsion positive à la borne i, la diode se trouve bloquée; et la base du premier transistor reçoit un courant positif à travers une résistance relativement élevée. Il travaille donc maintenant en C.C.D. (Conduction de collecteur différée); et sa résistance de sortie devient très faible. Or, elle se trouve connectée en parallèle sur la résistance de charge (R_s) du second transistor utilisé en amplificateur B.C. conventionnel. Le signal aux bornes de R_s est donc à peu près nul, quand le premier transistor travaille en C.C.D.; son amplitude sera normale si le transistor de commutation fonctionne en B.C., où sa résistance de sortie est de l'ordre du mégohm.

Ne comportant pas de condensateurs de liaison, le montage peut fonctionner en courant continu et assure une commutation parfaitement exempte de transitoires.

Circuits instables

Après ces quelques applications particulières au fonctionnement en conduction de collecteur différée, nous donnerons quelques exemples de montages qui sont également réalisables avec des transistors à pointes. En principe, le transistor à pointes peut directement être remplacé, dans les circuits instables,

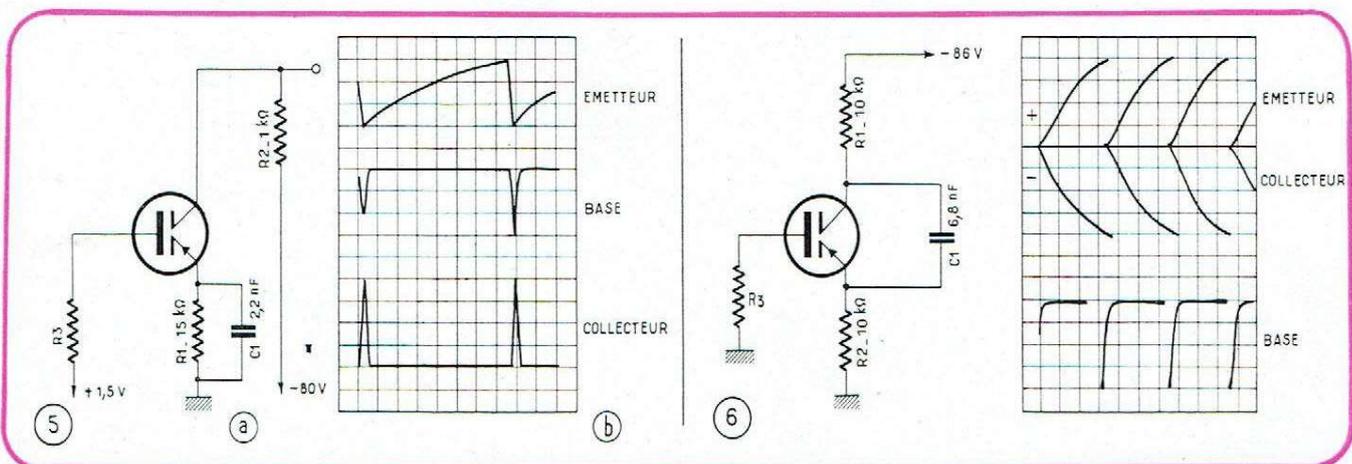


Fig. 5. — Un relaxeur sans circuit de réaction extérieur avec la forme des signaux produits.

Fig. 6. — Schéma et formes d'ondes d'un relaxeur symétrique.

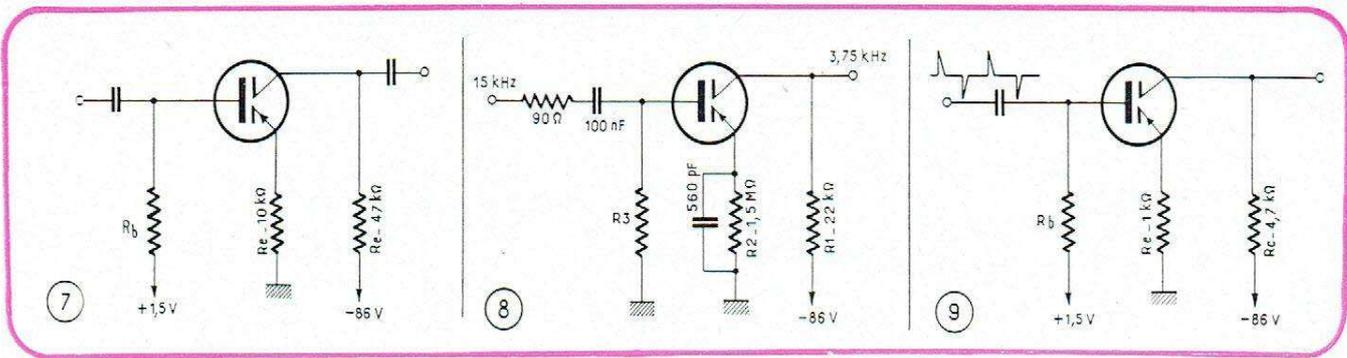


Fig. 7. — Circuit monostable.

Fig. 8. — Diviseur de fréquence.

Fig. 9. — Circuit bistable.

par un modèle à jonctions ; il suffit d'ajuster la polarisation et la tension d'alimentation.

Toutefois, la cinquième région de la caractéristique de la figure 1 n'a pas d'équivalence exacte dans le cas du transistor à pointes ; il est donc indiqué de concevoir des montages spéciaux pour le fonctionnement en C.C.D. Le transistor à jonctions possède alors de nombreux avantages sur le type à pointes. Pour une tension de collecteur donnée, il se contente de courants de base beaucoup plus faibles que le transistor à pointes ; on peut donc travailler avec des tensions d'alimentation plus élevées pour une dissipation donnée. Dans un amplificateur d'impulsions, on peut ainsi obtenir des gains plus élevés avec le transistor à jonctions. Capable de fonctionner comme les deux types de triodes à semi-conducteurs, le transistor à jonctions possède, dans des montages spécialement conçus pour lui, un champ d'applications beaucoup plus vaste que le transistor à pointes.

Une première application du mode de fonctionnement C.C.D. (fig. 5) est un **générateur astable**, produisant, sur ses différents électrodes, une dent de scie ou des impulsions positives et négatives. Son point de repos est choisi dans la région instable V ; en fonctionnement, il se déplace vers les régions IV ou III. Si le condensateur C_1 est chargé négativement au départ, le courant de collecteur est pratiquement nul (région III). Quand C_1 se décharge à travers R_1 , la différence de potentiel entre base et émetteur devient finalement telle qu'un fort courant de collecteur prend

naissance (région V). La tension de collecteur tombe alors très rapidement (en moins de $0,1 \mu s$) à une valeur correspondante au fonctionnement en région IV ; et le courant de collecteur se referme non plus sur la base, mais sur l'émetteur. Le condensateur C_1 se charge donc de nouveau (en $20 \mu s$). Quand la différence de potentiel entre émetteur et base est devenu suffisamment élevée, le point de fonctionnement passe de nouveau en région III, la tension de collecteur devient égale à la tension d'alimentation, et un nouveau cycle peut commencer. Les impulsions obtenues avec le montage de la figure 5 sont espacées de $0,8 ms$ environ. Une stabilisation de la fréquence de relaxation peut être obtenue en insérant des circuits accordés appropriés dans une des électrodes.

Le schéma d'un **relaxateur symétrique** est donné en figure 6 avec la forme des signaux obtenus. Comme le courant d'alimentation passe presque totalement par le collecteur et l'émetteur, il suffit de choisir des résistances de charge égales pour obtenir des signaux d'une même amplitude. La fréquence de relaxation est de $3.000 Hz$ environ avec les valeurs indiquées.

Pour obtenir des **circuits monostables**, on peut utiliser le principe des circuits astables décrits ci-dessus et leur appliquer une polarisation fixe telle que le transistor reste bloqué au repos (région III). Il suffit alors de varier le courant de base ou la tension d'alimentation dans le sens convenable, pour obtenir une conduction accompagnée d'une réac-

tion violente. Pour le circuit reproduit en figure 7, la plus grande sensibilité est atteinte en appliquant une impulsion négative sur la base (transistor p-n-p). On peut obtenir des impulsions d'une largeur de $0,1 \mu s$, le temps de montée étant de $0,02 \mu s$ seulement. Un gain en tension de 600 a pu être obtenu. Avec une petite modification (fig. 8), ce même amplificateur réactif peut être utilisé en diviseur de fréquence ; dans cette application, les auteurs ont expérimenté une division de 15 à $3,75 kHz$.

Le schéma d'un **circuit bistable** est donné en figure 9. La résistance de charge doit être choisie telle que la droite de charge coupe la caractéristique dans les régions III, IV et V. Les deux premières régions correspondent à un fonctionnement stable ; il suffit donc d'attaquer le transistor par une impulsion de polarité convenable pour que son point de fonctionnement glisse dans la région opposée à celle qu'il venait d'occuper.

Les possibilités du transistor à jonctions suralimenté ne se limitent certainement pas à ces quelques exemples. D'autres applications restent à imaginer et à expérimenter, principalement dans le domaine de l'électronique. Rappelons aussi que les expériences décrites ont été effectuées avec des transistors d'un modèle parfaitement courant ; il est sans doute possible de créer des modèles spéciaux pour le fonctionnement en régime suralimenté. Il nous semble qu'il est temps de préparer l'éloge funèbre du transistor à pointes.

H. SCHREIBER

TÉLÉMESURE PAR VARIATION DE FRÉQUENCE

A. de Quervain, *Technica*, N° 4-1955, p. 147 Berne, février 1955

Principe de la télémesure par variation de fréquence.

Procédés de télémesure

Pour transmettre un résultat de mesure à distance, on peut imaginer une infinité de méthodes. Il serait possible de braquer une caméra de télévision sur l'appareil de mesure à observer. On peut encore connecter simplement deux voltmètres en parallèle à l'aide d'une ligne suffisamment longue.

Or, un procédé de télémesure ne doit pas seulement être précis ; il lui faut encore pouvoir transmettre le résultat de mesure d'une manière aussi facile qu'une conversation téléphonique et avec un minimum de largeur de bande. Une télémesure par courant continu variable se trouve donc exclue chaque fois

qu'elle doit être effectuée par une ligne comportant des amplificateurs, par fréquence porteuse, par transmission sans fil, etc.

On est ainsi ramené à deux principaux groupes de procédés : transmission par impulsions ou par variation de fréquence. Dans le premier cas, on peut moduler les impulsions en amplitude ou en largeur ; on peut également établir un code d'impulsions, comme dans le cas du télétype. Il est souvent difficile d'établir un système de télémesure par impulsions d'une manière purement électronique ; et on a avantage à utiliser le procédé de la variation de fréquence chaque fois qu'on veut réduire au minimum le nombre des dispositifs mécaniques.

On peut parfaitement traduire la variation d'une grandeur physique par une variation de fréquence. C'est ainsi qu'une pression de 1 kg peut correspondre à une fréquence de 1000 Hz, 2 kg à 1100 Hz, 3 kg à 1200 Hz, etc. La transformation de la grandeur à mesurer dans la fréquence correspondante peut se faire suivant deux principes différents. Si l'appareil de mesure dont l'indication est à transmettre fonctionne d'une manière mécanique (manomètre), on peut (fig. 1) coupler un variomètre à l'appareil et modifier ainsi la fréquence de l'oscillateur B.F.

Si une mesure électrique est à transmettre, on peut utiliser directement le courant à mesurer (toutes les mesures électriques peuvent

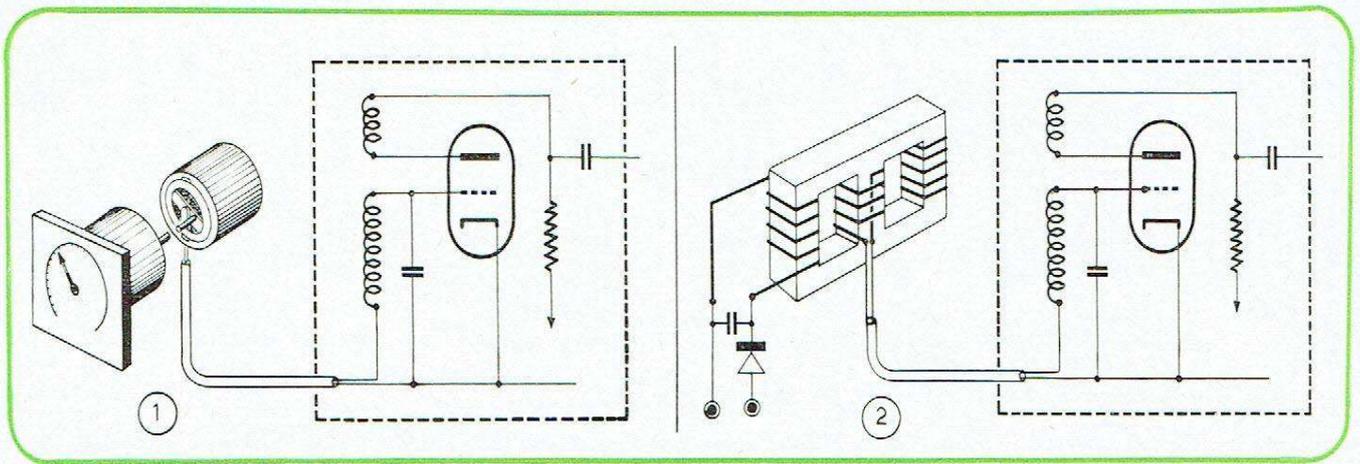


Fig. 1 et 2. — La variation de fréquence peut être commandée soit d'une manière mécanique, par un variomètre, soit d'une manière électrique, par une self-induction à noyau saturé.

se ramener à des mesures de courant), pour varier la self-induction d'un bobinage saturé (fig. 2).

Toutefois, on utilise assez fréquemment le procédé mécanique dans le cas de mesures électriques ; et cela notamment quand un appareil de mesure est nécessaire à l'endroit d'où l'indication est transmise.

La largeur de bande nécessaire dépend de la stabilité de l'oscillateur B.F. En maintenant constante la tension d'alimentation et l'amplitude du signal produit, on arrive à une précision de mesure de 0,5 à 0,3 % pour une largeur de bande égale à 10 ou 15 % de la fréquence moyenne. Ainsi, on peut loger jusqu'à cinq canaux de télémétrie dans la gamme de 1,5 à 4,5 kHz. Une telle gamme peut facilement être transmise par une liaison téléphonique ordinaire.

Le récepteur de télémétrie

La précision indiquée ne peut être garantie que si le récepteur de télémétrie peut reproduire les indications transmises d'une manière

absolument fidèle. Il faut, notamment, que les variations de la tension d'alimentation et le vieillissement des tubes, ainsi que l'amplitude du signal, restent sans influence sur la mesure.

Le principe d'un récepteur pour télémétrie par variation de fréquence est indiqué par la figure 3. Son fonctionnement se rapproche beaucoup de celui d'un accord automatique de récepteur radio. Une triode amplificatrice est suivie d'un détecteur de phase, bien connu en modulation de fréquence. On sait que la tension aux bornes de ce discriminateur est nulle s'il est attaqué par une fréquence égale à sa fréquence d'accord. En cas de désaccord, la tension continue qui prend naissance varie à peu près linéairement avec la fréquence, mais elle n'est pas indépendante de l'amplitude.

Dans le récepteur de la figure 3, le discriminateur est suivi d'un tube dont le circuit de plaque forme un pont avec trois résistances. Une partie du courant anodique de ce tube traverse l'enroulement d'excitation d'une self-induction variable par saturation du noyau. Par cette contre-réaction, le discriminateur

tend automatiquement à s'accorder sur la fréquence du signal reçu. Le courant traversant l'enroulement d'excitation mentionné est proportionnel à la fréquence à mesurer. Un galvanomètre branché aux bornes I_m indique le résultat de la mesure transmise.

Le principal but de la contre-réaction est de diminuer l'action du vieillissement du tube et les effets des variations de la tension d'alimentation. De plus, elle permet d'obtenir une constante de temps très réduite en cas de variation brusque de la fréquence du signal transmis. Dans les conditions de bande passante exposées plus haut, cette constante de temps est de 25 ms.

Cette performance permet d'utiliser un seul récepteur pour explorer, à une cadence assez rapide, plusieurs canaux de télémétrie. Une synchronisation et un dispositif de mémoire électronique deviennent alors nécessaires ; l'auteur expose, dans l'article original, comment ce problème peut être résolu à l'aide de thyatron à cathode froide, spécialement créés pour cette application. — S. H.

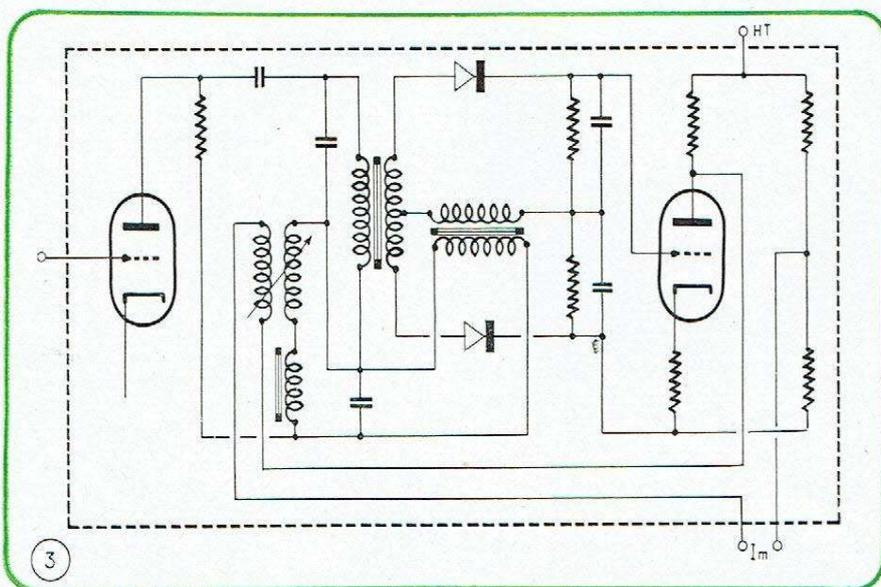


Fig. 3. — Le récepteur de télémétrie travaille sur le principe de la correction automatique d'accord d'un récepteur de radio.

TRANSISTOR H.F.

Radio-Electronics

New-York, juin 1955, page 113

Notre excellent confrère américain s'est intéressé au brevet U.S.A. n° 2 695 930, déposé par Robert L. Wallace, pour le compte des Bell Telephone Laboratories. Ce brevet concerne un dispositif permettant d'étendre considérablement (le texte parle de 15 fois) la bande passante d'un amplificateur équipé d'un transistor donné.

Cette bande passante est fonction du temps de transit des électrons entre émetteur et collecteur. L'inventeur propose de réduire ledit temps en prenant un transistor tétrode (avec deux contacts de base disposés à angle droit par rapport à l'axe émetteur-collecteur et reliés à une pile) et en le plaçant entre les pôles d'un aimant permanent de telle sorte que le champ soit perpendiculaire à la fois au courant transversal de base et au courant émetteur-collecteur. Les électrons formant ce dernier ont alors tendance à suivre des trajectoires rectilignes, alors qu'en l'absence de champ magnétique, leurs mouvements sont désordonnés et par conséquent leur temps de parcours beaucoup plus long. — J. M.

L'INDUSTRIE ÉLECTRONIQUE

vue par

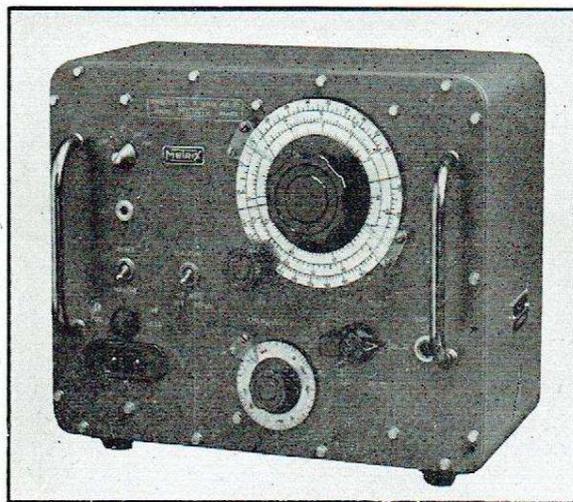
électronique industrielle

GÉNÉRATEUR V.H.F. DE SERVICE type 925 (METRIX)

Cet appareil trouvera sa place dans tous les ateliers et services d'études TV et FM où des opérations mettant en jeu des fréquences élevées sont nécessaires, sans qu'on soit obligé d'avoir recours à des appareils à tension de sortie étalonée, très coûteux et, souvent, très encombrants.

Les gammes réalisées, au nombre de 6, couvrent sans trou toute la bande de 5 à 230 MHz, tandis que la tension de sortie, variable progressivement et sans rupture d'impédance à l'aide d'un atténuateur à piston, est disponible à l'extrémité d'un câble adapté.

Le cadran de l'atténuateur est gradué en μV et mV , de sorte que l'on connaît toujours l'ordre de grandeur de la tension V.H.F. injectée, avec une précision largement suffisante dans la pratique courante.



COMPTEUR ÉLECTRONIQUE POUR APPAREILS A CORDE VIBRANTE (Éts TÉLEMAC)

L'utilisation dans l'industrie des appareils dérivés des extensomètres acoustiques (dynamomètres, manomètres, accéléromètres, etc.), c'est-à-dire des appareils utilisant une corde vibrante, est grandement facilitée par l'emploi d'un compteur électronique donnant directement la fréquence de vibration de la corde.

Le compteur électronique fabriqué par Telemac contient deux chaînes de comptage : l'une affectée au diapason base de temps ; l'autre à l'appareil de mesure interrogé. Chaque chaîne comporte un amplificateur double assurant l'entretien à amplitude ajustable du diapason ou de la corde auscultée.

TEMPORISATEURS INDUSTRIELS (ROCKE INTERNATIONAL)

A peu près tous les besoins de l'industrie, dans le domaine des fabrications automatiques de toute sorte, se trouvent satisfaits par l'utilisation de deux catégories de temporisateurs :

Temporisateurs à action simple qui, par suite d'une intervention manuelle ou d'un contact établi à distance, déclenchent à leur tour un contact et le maintiennent pendant un temps déterminé, au bout duquel ils reviennent à leur position de départ ;

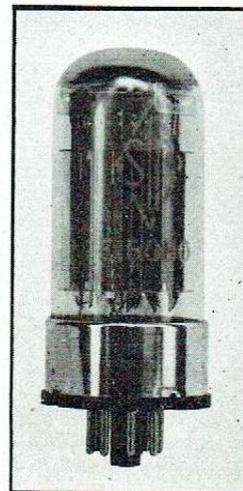
Temporisateurs à répétition qui, une fois mis en route par tel ou tel moyen, établissent un ou plusieurs contacts suivant un cycle prédéterminé se répétant indéfiniment.

Il est utile de signaler que le grand spécialiste de ces « timers » est la Eagle Signal Corporation (U.S.A.), représentée en France par Roche International, Bureau de liaison.

DOUBLE TRIODE DE PUISSANCE E 6080 (S. F. R.)

Pratiquement identique au tube 6 AS 7 W, cette double triode (à culot octal) est chauffée sous 6,3 volts-2,5 ampères. Lorsque sa tension anodique est de 250 volts et que sa grille est polarisée à -31 volts, son courant anodique (par élément) atteint 125 mA. Sa résistance interne est, dans ces conditions, de 280 ohms ; sa pente de 7 mA/V ; son coefficient d'amplification de 2.

Ses dimensions, hors tout, sont : hauteur 108 mm ; diamètre 43,7 mm.



Ecole Branly

C'est sous ce nom que l'Institut Catholique a décidé d'ouvrir en octobre 1955 un INSTITUT SUPERIEUR D'ELECTRONIQUE qui occupera les locaux historiques du laboratoire où œuvrait l'illustre pionnier de la radio.

Les études théoriques et pratiques s'étaleront sur quatre années après le baccalauréat.

Voilà une très heureuse initiative qui vient à son heure pour répondre aux besoins rapidement croissants de l'industrie électronique.

Retour sur la pièce détachée

C'est par erreur que, dans le compte rendu du Salon de la Pièce Détachée publié dans notre dernier numéro les potentiomètres de précision fabriqués par Wireless ont été baptisés « Heli-pot », nom désignant un appareil analogue de fabrication américaine. Celui de Wireless s'appelle « Spirohm ».

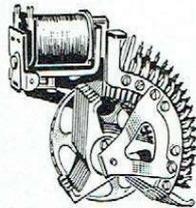
Automatisme

Les Bell Telephone Laboratories de New-York ont établi de nouvelles machines appelées « Monsieur le Meticuleux » qui fabriquent les transistors d'une façon automatique. La fabrication est divisée en quinze phases séparées qui sont accomplies en moins d'une minute. On considère cette machine comme un prototype des futurs mécanismes pour la production automatique.

Prévisions

Prenant la parole au cinquantième congrès annuel de la Société Américaine des Ingénieurs Mécaniciens, le Docteur E. W. Engstrom, Vice-Président du Département de Recherche et de Technologie de la R.C.A., a prédit pour bientôt l'apparition de machines obéissant aux ordres donnés verbalement ; il prévoit également des usines entières commandées par des programmes enregistrés électroniques ; enfin, il prévoit que bientôt les récepteurs de télévision seront présentés sous la forme de cadres plats ayant les dimensions de l'écran reproduisant l'image.

LE PLUS GRAND CHOIX DE RELAIS EN FRANCE !



QUELQUES EXEMPLES :

R.C. 1 : Relais Sélecteur « Strowger » 24 V ; 4 bras à 25 points.

R.C. 2 : Relais Sélecteur « Siemens » 4 bras à 11 points + 1 repos et 1 bras plein.

R.S. 13 : Relais polarisé allemand sous capot plexiglas à cadre mobile et à double potentiomètre, muni d'une embase à 12 contacts latéraux. Ces potentiomètres à 700 ohms, sont à une intensité max. de 0,3 Amp. Tension variable de moins 24 V. à plus 24 V.

Un cadre de commande de 500 ohms, déviant sous 2,2 mA. (max. 50 mA).

R.S. 14 : Mêmes modèle et principe que le « RS. 13 » mais comportant deux cadres de commande, l'un de 300 ohms déviant pour 1 mA, l'autre de 3000 ohms, déviant pour 10 mA.

(Notice technique avec schéma pour « RS. 13 » et « RS. 14 » sur demande ou fournie avec l'appareil.) (Socle spécial gratuit).

R.B. 42 : Relais « SBIK » blindé 24 V. - 120 ohms - 6 Amp. 5 contacts inverseurs (principe à noyau plongeur).

R.B. 43 : Relais « SBIK » (même modèle que le « RB. 42 ») 100 ohms - 10 Amp. 3 inverseurs.

RM. 18 : Relais miniature « Siemens » s/capot plexi. 12-24 V - 1300 ohms - 1 R - 1 T - 1 Amp. 25×25×15 mm 750



IMPORTATION et EXPORTATION
de matériels de télécommunication

VENTE DE TOUTS MATÉRIELS
Professionnels

DEMANDEZ NOTRE TARIF DE RELAIS

Magasins de Vente et Service Province :

18, rue Crozatier, PARIS-12^e - Tél. : DIDerot 98-89

Métro : Gare de Lyon, Reuilly-Diderot - Autobus : 20, 61, 63, 65, 66 et 91

Ouvert tous les jours sauf dimanches et fêtes

TECHNOS

LA LIBRAIRIE TECHNIQUE

5, Rue Mazet - PARIS-VI^e

(MÉTRO : ODÉON)

Ch. Postaux 5401-56 - Téléphone : DAN. 88-50

TOUS LES OUVRAGES FRANÇAIS ET ÉTRANGERS
SUR LA RADIO - CONSEILS PAR SPÉCIALISTE

Librairie ouverte de 9 à 12 h. et de 14 h. à 18 h. 30

Envoi possible contre remboursement avec supplément de 60 fr.
Frais d'expédition : 10 % avec maxim. de 150 fr. (étranger 20 %)

Librairie de détail, nous ne fournissons pas les libraires

EXTRAIT DU CATALOGUE

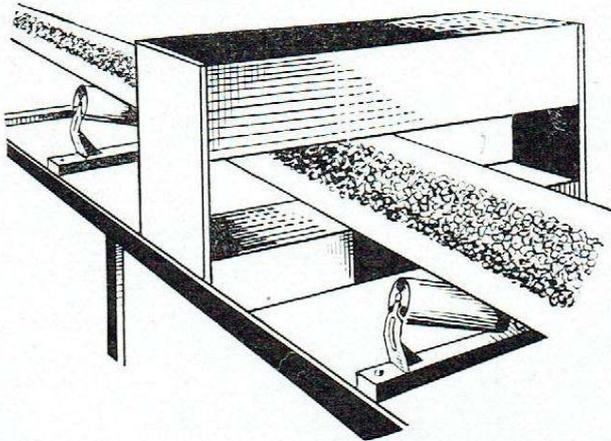
- SERVOMECHANISM ANALYSIS**, par G. Thaler et R. Brown. — Analyse détaillée et mathématique des différents systèmes de servomécanismes. 414 p. (1953) (en américain) 3.000 fr.
- SERVOMECHANISM PRACTICE**, par W.R. Ahrendt (en américain). — Conception et construction de servomécanismes de tous types ; leur mise au point et dépannage. 342 pages (1954) 2.775 »
- SERVOMECHANISMES** (Analyse, synthèse et position actuelle de la question des), par P. Colombani, G. Lehmann, etc...
Tome I : Principes, stabilité, précision, calcul mécanique. 176 pages 550 »
Tome II : Les servomécanismes dans l'équipement radar, l'aéronautique, les techniques navales. Liaisons radio-électriques. 168 pages 550 »
- TECHNIQUE DES MESURES A L'AIDE DES JAUGES DE CONTRAINTES**, par J.-J. Koch. — Seul ouvrage traitant spécialement de la fabrication et de l'utilisation des jauges de contraintes et de l'interprétation des mesures. 96 pages 600 »
- TECHNOLOGIE ET CALCUL DES SYSTEMES ASSERVIS**, par P. Naslin. — Etude technique et expérimentale des servomécanismes. 98 pages (1954) 1.100 »
- THEORIE DES RESEAUX DE KIRCHOFF**, par M. Bayard. — Applications pratiques du calcul matriciel aux réseaux en régime sinusoïdal. 410 pages grand format (1954) 3.200 »
- TOUTE L'ELECTRONIQUE**, par R. Aschen et J. Vivié. — Traité précis et pratique des applications de l'électronique. 350 pages (1952) 1.680 »
- TRAITE DE PHYSIQUE ELECTRONIQUE**, par L. Chrétien. — Cours professé aux élèves ingénieurs de l'Ecole Centrale de T.S.F. 400 pages 1.540 »
- TUBES ELECTRONIQUES A GAZ (Les)**, par L. Chrétien. — Fonctionnement, caractéristiques et applications des Phanatrons, Thyratrons, Ignitrons, Plasmatrons, 128 pages (1953) 630 »
- ULTRASONS (Les)**, par B. Carlin. — Traduction du meilleur ouvrage américain sur cette question. 276 pages, relié (1953) 2.210 »

NOUVEAUTÉS

- CALCUL ANALOGIQUE ET MACHINES ELECTRONIQUES**, par F.-H. Raymond. — Principe et utilisation du calcul analogique, son application aux machines à calculer électroniques. 182 pages (1952 et 1954) 1.800 »
- LEXIQUE GENERAL DES TRANSISTORS**, par M.-R. Motte. — Collection complète de caractéristiques et schémas d'utilisation de transistors. 128 pages (1955) 690 »
- FEEDBACK CONTROL SYSTEMS** (Analysis of), par R.-A. Bruns et R.-M. Saunders (en américain). — Une étude détaillée sur les servomécanismes actuellement utilisés est suivie d'un exposé sur l'application de la contre-réaction à ces dispositifs. Les calculs sont accompagnés de nombreux exemples 2.950 »

CATALOGUE COMPLET sur simple demande

DÉTECTEUR ÉLECTRONIQUE DE MÉTAL E.C.M.

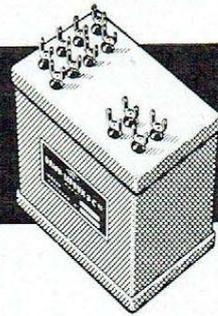


Détecte sur la bande d'amenée toute pièce métallique dangereuse, mêlée incidemment aux matières véhiculées

**Sensible • Simple • Robuste
• Economique •**

Toute documentation sur demande à
SOCIÉTÉ D'EXPLOITATION DES

Ets E. CLEMESSY 5, rue du Cap.-A.-Dreyfus
MULHOUSE (Haut-Rhin)
Tél. 42-40 à 43



AMPLIFICATEURS MAGNÉTIQUES TRANSDUCTEURS

- Pour signaux courant continu ou très basse fréquence.
 - Fonctionnement entièrement statique, étudiés spécialement pour assurer une totale sécurité de service et une absolue stabilité
 - Modèles standards, couvrant une gamme de puissance allant de 20 mW à 500 W et possédant plusieurs circuits de commande isolés permettant le mélange de signaux différents.
- Applications : ● ASSERVISSEMENT,
● TÉLÉCOMMANDE,
● RÉGULATION, etc...
- Fascicule technique adressé sur demande.



MESURES ÉLECTRIQUES
RELAIS • MICROMOTEURS
AMPLIFICATEURS MAGNÉTIQUES
CONTRÔLE THERMIQUE ET INDUSTRIEL

BRION, LEROUX & C^{IE}

40, QUAI DE JEMMAPES - PARIS (X^E)
TÉLÉPHONE : NORD 81-48 et 81-49 - BOTZARIS 85-88

LA MAITRISE PUBLICITAIRE - PARIS

Minutage automatique et précis des opérations industrielles
avec les

COMMANDES TEMPORISÉES (TIMERS)

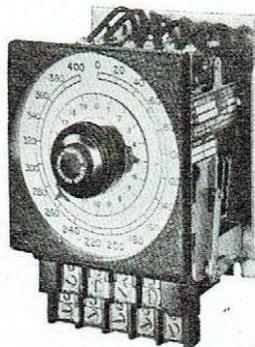
de EAGLE SIGNAL Corporation



- ★ TIMERS MONOCYCLE
- ★ TIMERS RÉPÉTITEURS DE CYCLE
- ★ RELAIS DE PROGRAMMATION

pour

**TÉLÉCOMMANDES
TÉLÉMESURES
MACHINES-OUTILS
INDUSTRIES CHIMIQUES**



Type MICROFLEX - son cadran à 2 aiguilles parcourt l'échelle en 20 tours ou 7.200 degrés et permet un réglage au 1/60 s.

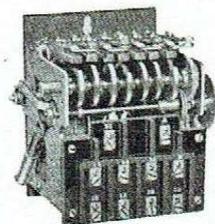
Gamme des temporisations
de 20 s à 60 h
Précision selon le type
de $\pm 1/60$ s à ± 3 mn.

Catalogue E.I. et Prix à

BUREAU DE LIAISON

ROCKE INTERNATIONAL

113, RUE DE L'UNIVERSITÉ, PARIS-7^e - INV. 99-20



Type POLYFLEX - permet la commande de 1 à 11 circuits à intervalles de temps pré-réglables par cames ajustables.

TOUTE LA RADIO

BULLETIN D'ABONNEMENT

à découper et à adresser à la

SOCIÉTÉ DES ÉDITIONS RADIO

9, Rue Jacob, PARIS-6^e

EL. 3 ★

NOM
(Lettres d'imprimerie S.V.P. !)

ADRESSE

souscrit un abonnement de 1 AN (10 numéros) à servir à partir du N° (ou du mois de)
au prix de 1.250 fr. (Étranger 1.500 fr.)

MODE DE RÈGLEMENT (Biffer les mentions inutiles)

● MANDAT ci-joint ● CHÈQUE ci-joint ● VIREMENT POSTAL de ce jour au C.C.P. Paris 1.164-34

ABONNEMENT | RÉABONNEMENT | DATE :

RADIO Constructeur & réparateur

BULLETIN D'ABONNEMENT

à découper et à adresser à la

SOCIÉTÉ DES ÉDITIONS RADIO

9, Rue Jacob, PARIS-6^e

EL. 3 ★

NOM
(Lettres d'imprimerie S.V.P. !)

ADRESSE

souscrit un abonnement de 1 AN (10 numéros) à servir à partir du N° (ou du mois de)
au prix de 1.000 fr. (Étranger 1.200 fr.)

MODE DE RÈGLEMENT (Biffer les mentions inutiles)

MANDAT ci-joint ● CHÈQUE ci-joint ● VIREMENT POSTAL de ce jour au C.C.P. Paris 1.164-34

ABONNEMENT | RÉABONNEMENT | DATE :

TELEVISION

BULLETIN D'ABONNEMENT

à découper et à adresser à la

SOCIÉTÉ DES ÉDITIONS RADIO

9, Rue Jacob, PARIS-6^e

EL. 3 ★

NOM
(Lettres d'imprimerie S.V.P. !)

ADRESSE

souscrit un abonnement de 1 AN (10 numéros) à servir à partir du N° (ou du mois de)
au prix de 980 fr. (Étranger 1.200 fr.)

MODE DE RÈGLEMENT (Biffer les mentions inutiles)

MANDAT ci-joint ● CHÈQUE ci-joint ● VIREMENT POSTAL de ce jour au C.C.P. Paris 1.164-34

ABONNEMENT | RÉABONNEMENT | DATE :

électronique Industrielle

BULLETIN D'ABONNEMENT

à découper et à adresser à la

SOCIÉTÉ DES ÉDITIONS RADIO

9, Rue Jacob, PARIS-6^e

EL. 3 ★

NOM
(Lettres d'imprimerie S.V.P. !)

ADRESSE

souscrit un abonnement de 1 AN (6 numéros) à servir à partir du N° (ou du mois de)
au prix de 1.500 fr. (Étranger 1.800 fr.)

MODE DE RÈGLEMENT (Biffer les mentions inutiles)

MANDAT ci-joint ● CHÈQUE ci-joint ● VIREMENT POSTAL de ce jour au C.C.P. Paris 1.164-34

DATE :

Pour la BELGIQUE et le Congo Belge, s'adresser à la Sté BELGE DES ÉDITIONS RADIO, 204 a, chaussée de Waterloo, Bruxelles ou à votre libraire habituel.

Tous les chèques bancaires, mandats, virements doivent être libellés au nom de la SOCIÉTÉ DES ÉDITIONS RADIO, 9, Rue Jacob - PARIS-6^e

TOUTE LA RADIO N° 197

Prix : 150 Francs Par Poste : 160 Francs

- ★ Repenser à neuf, par E. A.
- ★ L'oscillateur à molécules gazeuses, par M. B. — Une curieuse nouveauté dans laquelle des micro-ondes de fréquence rigoureusement stable sont produites dans une cavité par un jet de gaz ammoniac.
- ★ La micro-électrorhéophorèse, par Pierre Rebeyrotte. — Comment l'électronique apportée à la médecine un moyen de diagnostic extrêmement précieux.
- ★ L'étalonnage des cadrans, par F. Haas.
- ★ Montages antiparasites, par Ch. Guilbert.
- ★ Installation des auto-radios (suite et fin).
- ★ Un impédancemètre d'antenne, par F 3 LG.
- ★ Autofab, la nouvelle machine américaine pour la production automatique à cadence rapide des éléments de montages électroniques.
- ★ Caractéristiques de la double triode noval ECC 85, amplificatrice V.H.F. et changeuse de fréquence F.M.
- ★ Utilisation de l'ECC 85.
- ★ Revue de la presse mondiale.

BASSE FRÉQUENCE

- ★ Le magnétophone M 194, par Albert Barbier.
- ★ Mesures sur les baffles, par G.-A. Briggs.

TÉLÉVISION N° 55

NUMERO SPECIAL DE LABORATOIRE
Prix : 120 Francs Par Poste : 130 Francs

Comme chaque année, le numéro double de juillet-août de notre revue-sœur *Télévision* est consacré aux appareils de mesure et au laboratoire.

- ★ Mire électronique 625-819 lignes.
- ★ Téléviseur pour quatre standards.
- ★ Générateur vidéo-fréquence. — Les amplificateurs vidéo-fréquence peuvent être responsables d'une bonne partie des défauts constatés sur un téléviseur. Un générateur de signaux sinusoïdaux et rectangulaires, couvrant une très large bande, est l'instrument idéal pour procéder à leur mise au point.
- ★ Linéarisation par résistances V.D.R. — Les résistances non linéaires offrent un moyen simple, économique et efficace de linéariser le balayage des téléviseurs.
- ★ Construction d'un atténuateur à piston. — Le réglage de la tension de sortie d'un quelconque générateur ou appareil de mesure n'est pas chose facile dès que la fréquence dépasse la dizaine de mégahertz. L'atténuateur à piston est idéalement adapté à ce cas, mais ne faisait l'objet, jusqu'à maintenant, que de réalisations professionnelles coûteuses. Cet article vous montrera comment on peut en construire un soi-même pour moins de 1 000 francs.

PETITES ANNONCES La ligne de 44 signes ou espaces : 150 fr (demandes d'emploi : 75 fr). Domiciliation à la revue : 150 fr. PAIEMENT D'AVANCE. — Mettre la réponse aux annonces domiciliées sous enveloppe affranchie ne portant que le numéro de l'annonce.

DEMANDE D'EMPLOI

Dame quarante ans, ingénieur ESE, licenciée en sciences, sérieuses références en électronique cherche situation mi-temps. Ecr. Revue n° 780.

OFFRE D'EMPLOI

Sté Importante se développant TV ch. techn. compétent et dynamique. Ecr. Revue n° 787.

ACHATS ET VENTES

Vends millivoltmètre électronique 6 gammes 3 mV, 10 V décrit dans T.L.R. n° 167. Prix : 26.000. F. Haas, tél. GUT. 01-25, le soir ou écrire Revue n° 782.

La Technique la plus moderne




La plus ancienne expérience.

En
Pièces diverses
pour
RADIO & TÉLÉVISION
Supports de tubes
Céillets - Cosses
Rivets creux
QUALITÉ INÉGALÉE

**MANUFACTURE FRANÇAISE
D'CEILLETS MÉTALLIQUES**
SOUS MARQUE DÉPOSÉE
SCSIELE ANONYME AU CAPITAL 120.000.000 DE FRS

64, B^o DE STRASBOURG - PARIS - X - TÉL. BOT : 72-76-

LAMELEC

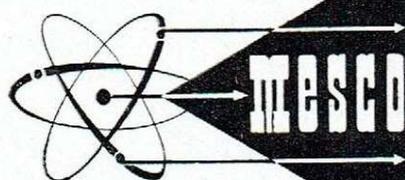
LABORATOIRE DE MÉCANIQUE ÉLECTRONIQUE
S.A.R.L. Capital 15.000.000 F

31, Rue Cousté - CACHAN (Seine) - ALÉ. 35-53

★

QUARTZ PIÉZOÉLECTRIQUES

QUARTZ pour ULTRA-SONS



ÉLECTRONIQUE ET APPLICATIONS DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE

14, RUE RENÉ COCHE A VANVES — TÉL. MICHELET 14-27

COMPTEURS DE GEIGER-MULLER

MESURES DE RADIOACTIVITÉ

APPAREILS DE LABORATOIRE

APPLICATIONS MÉDICALES

ÉLECTRONIQUE INDUSTRIELLE

**PROTECTION CONTRE LES
RAYONNEMENTS**

COMpteurs DE GEIGER-MULLER EN TOUS GENRES

ALIMENTATIONS POUR COMPTEURS DE GEIGER
ÉCHELLES DE COMPTAGE (NUMÉRATION ÉLECTRONIQUE)
INTÉGRATEURS ET ENREGISTREURS DE RADIOACTIVITÉ
CONTROLEURS DE LABORATOIRE

MESURES AUTOMATIQUES D'ÉCHANTILLONS RADIOACTIFS

BÉTA-GAMMAMÈTRES POUR LA PROSPECTION
IONOMÈTRES PORTATIFS

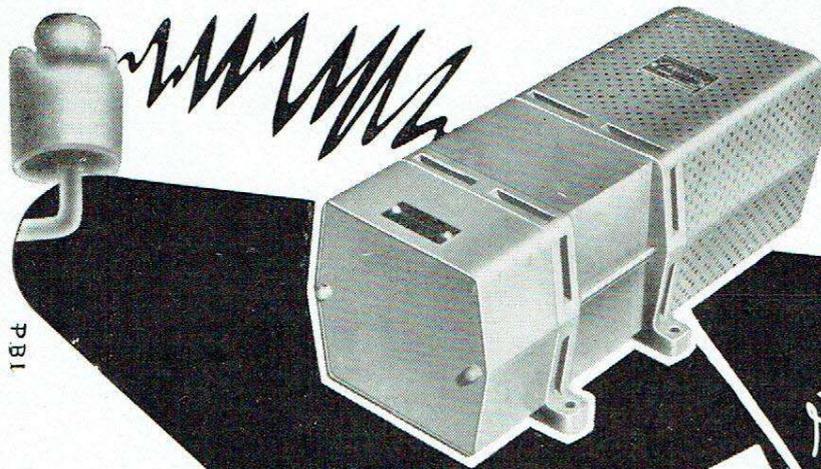
ANALYSEURS POUR RADIOCRISTALLOGRAPHIE

AMPLIFICATEURS LINÉAIRES ET PRÉAMPLIFICATEURS
DISCRIMINATEURS ET SÉLECTEURS D'IMPULSIONS

VOLMÈTRE ÉLECTRONIQUE

RÉGULATEURS DE NIVEAUX INACCESSIBLES

MESURES DE NIVEAUX INACCESSIBLES
MESURES D'OPACITÉ OU DE CONCENTRATION



NE REDOUTEZ PLUS
LES VARIATIONS
DE TENSION

P.B.I.

REGUVOLT

*stabilise
instantanément
sans entretien
sans organe mobile*



M.C.B ET VERITABLE ALTER

11, RUE PIERRE LHOMME, COURBEVOIE - DÉFENSE

20-90

PAS DE QUALITÉ SANS CONTRÔLE

Notre nouveau montage électronique Bté S.G.D.G. permet de mesurer depuis :

50 mV. à 50 KV.

$\frac{1}{1000}$ de μ A à 1 Ampère

0,1 Ω à 1 milliard de M Ω

INTEGRER pendant 90 minutes

QUELQUES RÉALISATIONS

MULTIMESUREUR	.....	R. d'entrée 10 ¹² Ω Courant grille 10 ⁻¹² A
ISO-R-METRE	.....	5 M Ω - 1 Milliard de M Ω
CONTRÔLEUR DE CAPACITÉS	.....	0,5 à 2 millions de μ F
PONT COMPARATEUR	.....	2 sensibilités : 5 et 20 %
MILLI-MICRO	.....	$\frac{1}{100}$ de μ A à 1 Ampère
OHMMETRE ELECTRONIQUE	.....	0,1 Ω à 10 M Ω

EMOUZY.

SPÉCIALISÉ DEPUIS 40 ANS EN RADIO

Usine : 63, RUE DE CHARENTON — PARIS-12^e
Tél. DIDEROT 07-74 — (Métro, Bastille)

FOURNISSEUR DES GRANDS LABORATOIRES

C.N.E.T. C.N.R.S. Centre Atomique Guerre
O.N.E.R.A. E.D.F. P.T.T. Marine, etc.
RENSEIGNEMENTS ET DÉMONSTRATIONS SUR DEMANDE

*Pour votre matériel
professionnel
un seul relais... ACRM*



Type RRA

Modèle Aviation
à accélération élevée
(étanche)

ACRM

NOMBREUX MODÈLES MINIATURES,
SUBMINIATURES ET INDUSTRIELS.

SOCIÉTÉ ANONYME AU CAPITAL DE 21.500.000.fr.s

18, rue de Saisset. **MONTROUGE** (Seine)

TÉL : ALÉ. 00-76

Toute une gamme de pièces spéciales

Ch. G

COMMUTATION



SIGNALISATION

PETIT APPAREILLAGE ÉLECTRIQUE



OUTILLAGE

RADIO



Dyna

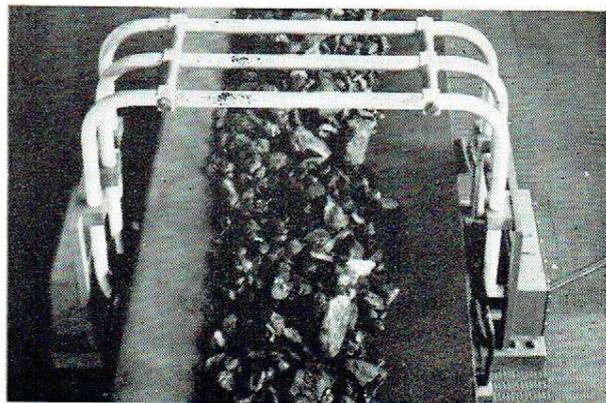
Demandez Notice 40

36, AV. GAMBETTA, PARIS-20° - ROQ. 03-02

PIC

FONTAINEBLEAU

Tél. : 31-21, 38-41



DÉTECTEUR ÉLECTRONIQUE

SIGNALISATION • ASSERVISSEMENT
TÉLÉCOMMANDE

POUR SILOS, TRÉMIES, RÉSERVOIRS
 DÉTECTION DE FERRAILLES
 POMPAGE PNEUMATIQUE DE LIQUIDES CHARGÉS

Le

UGON 2

BREVETÉ S.G.D.G.

**RELAIS
SUBMINIATURE**



GRANDEUR
REELLE

- SENSIBILITÉ 2 milliwatts
- POUVOIR DE COUPURE 24 V. - 0,5 A
- TROPICALISÉ (soudures métal-verre)
- MONTAGE A VOLONTÉ sur support subminiature rond normal ou fils à souder
- H. F. 0,7 PF !



LE PROTOTYPE MÉCANIQUE

16 Bis RUE GEORGES PITARD - PARIS (15°) - VAU. 38-03

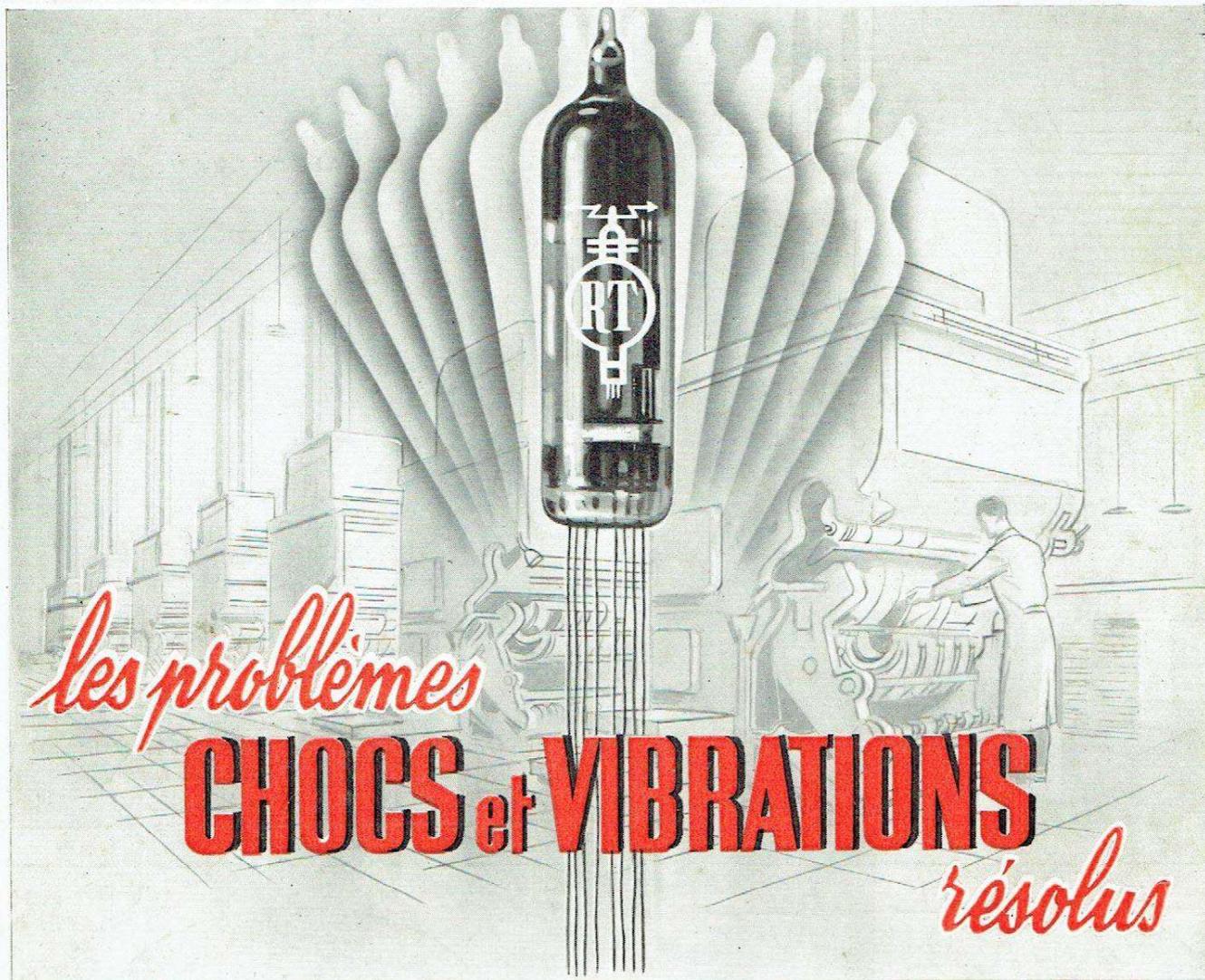
LE MATERIEL DE QUALITÉ
**CABLES
PERENA**

CABLES H.F.-H.T.
COAXIAUX
MICRO-CABLAGE
GAINÉ
Tous fils spéciaux
sur devis



GAMME
COMPLÈTE DE
FICHES COAXIALES
DE QUALITÉ!

PERENA 48 Bd VOLTAIRE 48
PARIS 11° - Tel. VOL 48-90+



PAR L'ADOPTION DES TUBES ÉLECTRONIQUES §
SÉRIE "SÉCURITÉ"

DE LA **RADIOTECHNIQUE**

SÉCURITÉ ÉLECTRIQUE

Résistance aux mises sous tension et coupures répétées - Stabilité des caractéristiques.

SÉCURITÉ MÉCANIQUE

Résistance aux accélérations et aux vibrations. Insensibilité aux chocs thermiques.

SUBMINIATURES		MINIATURES	
5636	5899	5 R4 GY-S	12 AX7-S
5639	5902	6 AM 6-S	5654
5718	6205	5749	5725
5719	6206	6 J6 W	5727
5840		12 AU7-S	



104

S. A. LA RADIOTECHNIQUE - Division Tubes Electroniques
SERVICES COMMERCIAUX : 130, Avenue Ledru-Rollin - PARIS (XI^e)
Usines et Laboratoires : CHARTRES et SURESNES

Globe