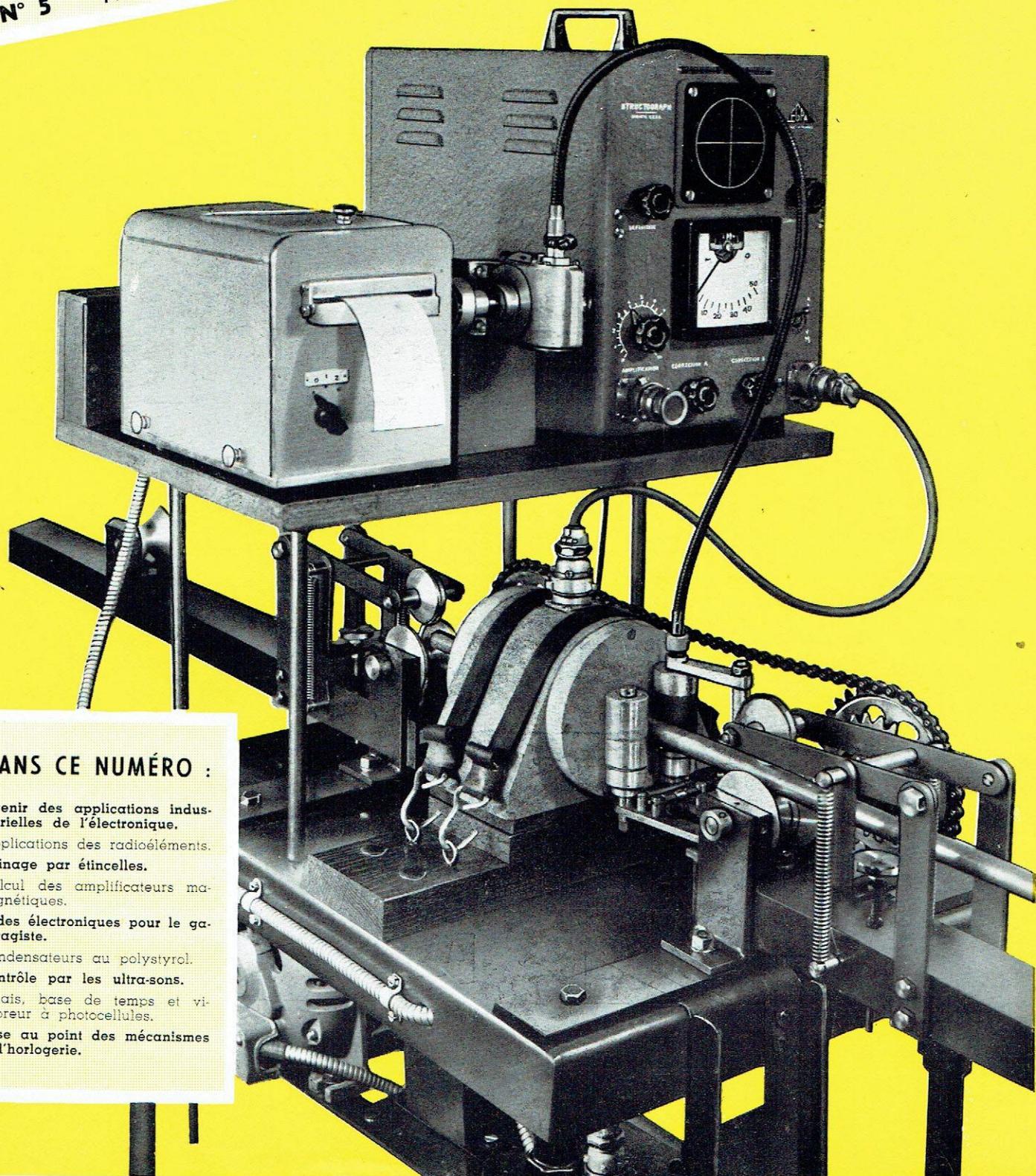


# électronique Industrielle

N° 5

NOVEMBRE-DÉCEMBRE 1955

300 Fr.



## DANS CE NUMÉRO :

Avenir des applications industrielles de l'électronique.

Applications des radioéléments.

Usinage par étincelles.

Calcul des amplificateurs magnétiques.

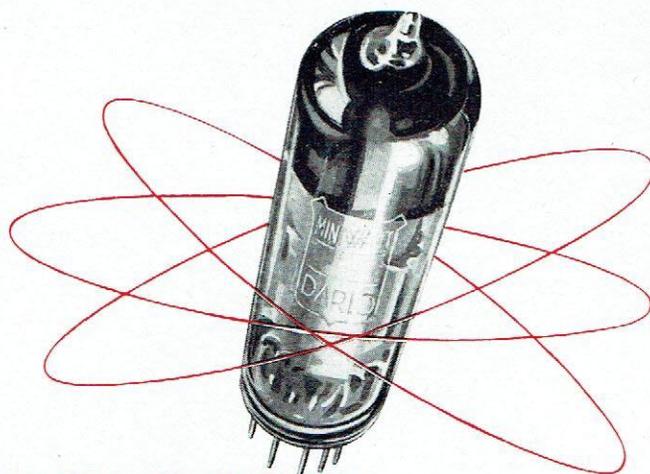
Aides électroniques pour le garagiste.

Condensateurs au polystyrol.

Contrôle par les ultra-sons.

Relais, base de temps et vibreur à photocellules.

Mise au point des mécanismes d'horlogerie.

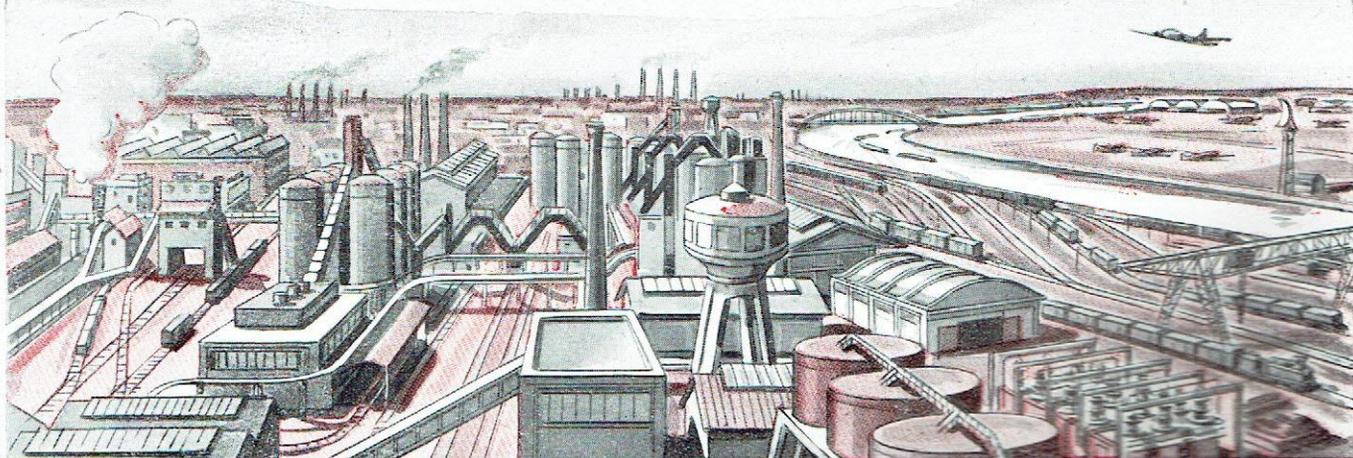


# L'ÉLECTRONIQUE *est au service de* L'INDUSTRIE

## LA RADIOTECHNIQUE

met à la disposition des Constructeurs d'Équipements Électroniques :

- **LES TUBES ÉLECTRONIQUES "DARIO" ET "MINIWATT-DARIO":** Thyratrons, Cellules photoélectriques, Redresseurs, Tubes professionnels de la série "SÉCURITÉ" etc..
- **LES PIÈCES DÉTACHÉES "TRANSCO" DE QUALITÉ:** Condensateurs, Auto-transformateurs variables, Résistances, Ferroxcube, Ferroxdure etc...
- **UN LABORATOIRE D'APPLICATIONS** pour études de circuits. Mise au point de prototypes et recherches diverses.
- **UNE DOCUMENTATION TECHNIQUE** très complète et en particulier le Bulletin d'Informations "ÉLECTRONIQUE & INDUSTRIE"



**S.A. LA RADIOTECHNIQUE - Division Tubes Electroniques et Pièces Détachées**  
Dépt. Électronique Industrielle, 130, av. Ledru-Rollin, PARIS XI<sup>e</sup> - VOL. 23-09

# électronique Industrielle

Revue bimestrielle  
destinée aux promoteurs  
de technique moderne  
et aux utilisateurs  
des méthodes et  
appareils électroniques

publiée par la

**SOCIÉTÉ DES  
ÉDITIONS RADIO**

## ABONNEMENTS ET VENTE :

9, Rue Jacob — PARIS-6°  
Tél. : ODE. 13-65 Ch. P. : 1164-34

★

## REDACTION :

42, Rue Jacob — PARIS-6°  
Tél. : LIT. 43-83 et 43-84

★

## PUBLICITE :

(Advertising)

**S E D I S**

1, Avenue Louis-Pasteur, BAGNEUX  
(Seine)  
Tél. : ALE. 38-10

★

## DATES DE PUBLICATION .

N° 1 . . . . . Mars-Avril 1955  
N° 2 . . . . . Mai-Juin 1955  
N° 3 . . . . . Juillet-Août 1955  
N° 4 . . . . . Septembre-Octobre 1955  
N° 5 . . . . . Novembre-Décembre 1955  
N° 6 . . . . . Janvier-Février 1956

Les articles publiés n'engagent que  
la responsabilité de leurs auteurs.  
Les manuscrits non insérés ne sont  
pas rendus

**PRIX DU NUMÉRO : 300 Fr.**

## ABONNEMENTS :

(un an - 6 numéros)

France et U.F. . . . . **1 500 Fr.**  
Étranger . . . . . **1 800 Fr.**

# Sommaire

N° 5 — 1955

- 152** LE PETIT MORCEAU DE CHARBON, par *E. Aisberg*.  
**153** L'AVENIR DES APPLICATIONS INDUSTRIELLES DE L'ÉLECTRONIQUE,  
par *M. Sollima*.  
**159** LES RADIO-ÉLÉMENTS ARTIFICIELS : III. — Les applications, par  
*P. Lévêque*.  
**162** CALCUL DES AMPLIFICATEURS MAGNÉTIQUES, par *W. Sorokine*.  
**171** L'USINAGE PAR ÉTINCELLES, par *A. Martin*.  
**178** QUELQUES « AIDES » ÉLECTRONIQUES POUR LE GARAGISTE, par  
*Gianfranco Pennisi*.  
**185** MISE AU POINT DES MÉCANISMES D'HORLOGERIE.

## PAGES DÉTACHABLES

- 167** TECHNOLOGIE DES CONDENSATEURS AU POLYSTYROL : tableau des  
principaux modèles disponibles en France, par *J. Henry*.

## A TRAVERS LA PRESSE MONDIALE

- 177** RELAIS PHOTO-ÉLECTRIQUES.  
BASE DE TEMPS PHOTO-ÉLECTRIQUE.  
**181** RÉGULATION AUTOMATIQUE D'UN MOTEUR A COURANT CONTINU.  
RÉACTION DANS UN AMPLIFICATEUR B.F. A TRANSISTORS.  
NOUVEAU FILTRE SÉLECTIF (*filtre en croix*).  
**182** COMMUTATEUR A TRANSISTORS.  
OSCILLOGRAMMES EN COULEURS.  
BASE DE TEMPS DILATÉE.  
**183** CONTRÔLE ULTRASONIQUE DE TÔLES ET FEUILLARDS.  
L'OSCILLOGRAPHIE DES PHÉNOMÈNES TRANSITOIRES.  
**184** COMMANDE PHOTO-ÉLECTRIQUE D'UNE MACHINE A COUPER LE  
PAPIER.  
VIBREUR PHOTO-ÉLECTRIQUE.

## EN COUVERTURE

L'ensemble « Structograph » pour la détection non destructive des défauts internes dans les barres, tubes et profilés. Pour les métaux non ferreux, le procédé est basé sur la perturbation apportée par le défaut à la distribution des courants de Foucault; cet effet se complète pour les métaux ferreux par des modifications locales des propriétés magnétiques. L'importance relative des défauts peut être appréciée par lecture du galvanomètre. Un enregistreur rapide assure la preuve de l'essai, même pour des vitesses de défilement des pièces atteignant 5 mètres par seconde.

(Document LEGPA.)

Autres revues publiées par la

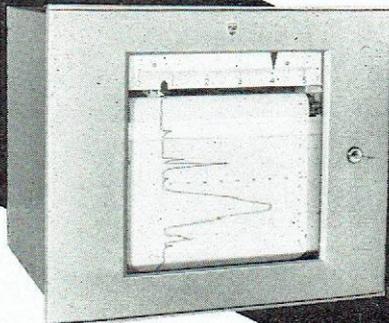
**SOCIÉTÉ DES ÉDITIONS RADIO :**

- ★ **TOUTE LA RADIO** \_\_\_\_\_ (Fondée en 1934)  
★ **RADIO-CONSTRUCTEUR** \_\_\_\_\_ (Fondée en 1936)  
★ **TÉLÉVISION** \_\_\_\_\_ (Fondée en 1939)

# LES POTENTIOMÈTRES AUTOMATIQUES

# PHILIPS

mesurent,  
contrôlent et  
enregistrent,



même en  
des lieux  
éloignés des  
points de mesure

pH,  
Températures,  
Humidité,  
Faibles tensions continues,  
Contraintes,  
Poids.

A leurs qualités de robustesse, précision  
et sensibilité, ils ajoutent

**une grande rapidité de réponse,**  
**une simplicité très poussée,** grâce à

- un nombre de pièces mobiles réduit au minimum,
- un montage en blocs séparés standard et préétalonnés permettant un rechange rapide,
- plusieurs modes de régulation adaptés à chaque usage particulier,
- un traceur de programme à exécution rapide et interchangeable.

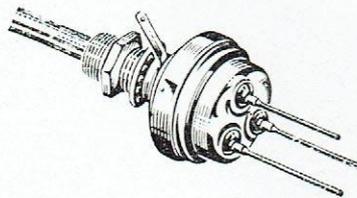
POSEZ-NOUS VOTRE PROBLÈME  
DEMANDEZ NOTRE NOTICE DOCUMENTAIRE N° 637

## PHILIPS-INDUSTRIE

105, R. DE PARIS, BOBIGNY (Seine) - Tél. VILLETTE 28-55 (lignes groupées)

ELVINGER 11461

# POTENTIOMÈTRES



- GRAPHITÉS OU BOBINES
- ÉTANCHES ou STANDARDS
- A PISTE MOULÉE

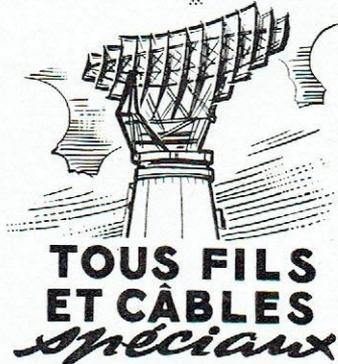
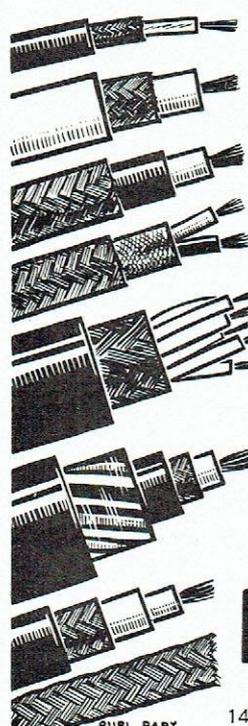
## Variohm



Rue Charles-Vapereau, RUEIL-MALMAISON (S.-&O.) -- Tél. MAL. 24-54

PUBL. RAPY

# ÉLECTRONIQUE



**TOUS FILS  
ET CÂBLES  
spéciaux**

- FILS DE CABLAGE
- CÂBLES COAXIAUX  
(Normes françaises et américaines)
- FILS ET CÂBLES BLINDÉS
- GAINES ET TRESSÉS CUIVRE
- CÂBLES DE LIAISON H.F. & B.F.
- CÂBLES MULTIPLES

# FILOTEX

S.A.R.L. au capital de 50 millions

140-148, r. Eug.-Delacroix, DRAVEIL (S.-&O.)  
Téléph.: Belle-Epine 55-87 +

PUBL. RAPY

Toute la **HF** industrielle  
avec **3** tubes



**SOCIÉTÉ FRANÇAISE RADIOÉLECTRIQUE**  
département lampes

Siège Social : 79, Boulevard Haussmann - PARIS (8<sup>e</sup>)  
Services Techniques et Commerciaux : 55, Rue Greffulhe, LEVALLOIS (Seine)  
P.R. 34-00

## LE PROTOTYPE MÉCANIQUE

QUI A MIS AU POINT

Le

# UGON 2

BREVETÉ S.G.D.G.



## RELAIS SUBMINIATURE

GRANDEUR  
RÉELLE

- 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



VOUS PRÉSENTE

*toujours dans la  
même dimension de  
RELAIS SUBMINIATURE*

LE **UGON 3** QUALITÉS HF

entre excitation et commutation plus petit que 5 pf  
entre contact ouvert et le reste plus petit que 1 pf

LE **UGON 4** POLARISÉ

même caractéristique que le UGON 3 mais  
avec une excitation de 500 microwatts seulement

et d'autres à l'étude  
(Modèles spéciaux sur demande)



## LE PROTOTYPE MÉCANIQUE

16 Bis RUE GEORGES PITARD - PARIS (15<sup>e</sup>) - VAU. 38-03

# TECHNOS

## LA LIBRAIRIE TECHNIQUE

5, Rue Mazet - PARIS-VI<sup>e</sup>

(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

- RADIO LABORATORY HANDBOOK**, par M.G. Scroggie (en anglais). — Manuel complet et détaillé de la technique des mesures. 468 pages (1954) ..... 1.375 fr.
- VOLTMETRES ELECTRONIQUES**, par F. Haas. — Principes de base, réalisation des divers modèles, utilisation pratique. 88 pages (1954) ..... 360 fr.
- DICTIONNAIRE ANGLAIS-FRANÇAIS. — ELECTROTECHNIQUE ET ELECTRONIQUE**, par H. Piraux. — Ouvrage indispensable pour l'étude d'ouvrages en langue anglaise. 296 pages (1952) ..... 1.780 fr.
- DICTIONNAIRE DES UNITES DES GRANDEURS PHYSIQUES**, par Gonnard et Guillou. — Signification et correspondances des unités physiques et radioélectriques. 252 pages ..... 540 fr.
- ELECTRONICS FOR COMMUNICATION ENGINEERS**, par J. Markus et V. Zeluff. — Collection de montages pratiques, formules, abaques sur la radio, les mesures et l'électronique. 610 pages (1952) (en anglais).... 4.500 fr.
- VOCABULAIRE TECHNIQUE TRILINGUE**, par P. Naslin. ... Dictionnaire des termes français, anglais et allemands de radio, électricité et mécanique générale. Répertoires alphabétiques. 400 pages, relié (1951) ..... 2.400 fr.
- ELECTRON TUBE CIRCUITS**, par S. Seely. — Traité d'un niveau élevé sur toutes les applications du tube électronique. 524 pages (en américain) ..... 2.825 fr.
- INTERNATIONAL RADIO TUBE ENCYCLOPAEDIA**, par B.B. Babani. — Le plus complet des manuels de lampes qui comprend également les tubes d'émission, stabilisateurs, tubes cathodiques, cellules photoélectriques, etc. 588 pages grand format (1954) ..... 2.850 fr.
- TECHNIQUE ET APPLICATIONS DES TUBES ELECTRONIQUES**, par H.-J. Reich. — Un cours complet sur la théorie et l'utilisation des tubes électroniques dans l'électronique et dans les télécommunications. 320 pages ..... 1.080 fr.

### NOUVEAUTÉS

- VARISTANCES (Les)**, par J. Suchet. — Les thermistances, résistances non linéaires et redresseurs secs appliqués à l'électronique moderne. 240 pages (1955) ..... 1.500 fr.
- APPAREILS ET INSTALLATIONS TELEGRAPHIQUES**, par D. Faugeras. — Technique, montage, installation et exploitation des appareils téléimprimeurs, télécrypteurs, fac simile, etc. 562 pages (1955) ..... 3.900 fr.
- ULTRA-SONS (Précisions sur les)**, par P. Hémardinquer. — Nature, production et effets des ultra-sons. 80 pages (1955). 450 fr.
- PROPRIETES ESSENTIELLES DES TRANSISTORS**, par J.-M. Moulon. — Les propriétés physiques des transistors ainsi que leur association à des circuits classiques sont traitées à un niveau élevé. 44 pages, grand format (1955). 570 fr.
- TECHNIQUE DE LA MODULATION DE FREQUENCE**, par H. Schreiber. — Ouvrage essentiellement pratique sur la conception des récepteurs F.M. et combinés, leur réalisation et leur mise au point. 176 pages (1955)..... 900 fr.

CATALOGUE COMPLET SUR SIMPLE DEMANDE

# Le petit bout de charbon...

**C**OMBIEN de grammes pesait le petit bout de charbon qui hantait mon enfance ? Je ne me souviens plus exactement. Peu, en tout cas. Pourtant, ce morceau de charbon figurait inmanquablement dans les derniers chapitres des ouvrages de vulgarisation que je consommais à forte dose à l'époque de la guerre mondiale (la première, hélas...).

Après avoir exposé la théorie de l'atome, l'auteur ne manquait jamais de pousser une pointe hardie dans l'avenir. Un pertinent calcul lui permettait de démontrer qu'en utilisant l'immense trésor d'énergie accumulé dans l'atome, on pourrait faire le tour du monde à un paquebot moderne en consommant quelques grammes de charbon. Au lieu de le brûler bêtement, il suffisait de le désintégrer. L'équation d'Einstein établissant l'équivalence de la matière et de l'énergie, donnait à ces vues de l'avenir une sanction mathématique digne de confiance.

Et pourtant, lecteur et auteur n'y croyaient pas. C'était du domaine de Wells, c'était l'utopie, c'était l'abstraction passionnante mais irréaliste...

Il a fallu l'explosion d'Hiroshima pour que fiction devînt réalité, pour que l'homme de la rue découvrit l'atome, pour qu'une peur sans bornes naquît en même temps qu'un immense espoir.

Le petit bout de charbon de mon enfance s'est révélé inutile. À sa place, il a fallu utiliser de l'uranium, du plutonium, que sais-je encore. Mais le paquebot fantôme s'est réalisé sous la forme du sous-marin « Nautilus » propulsé par l'énergie atomique. La vitesse du progrès fut suffisante pour que l'homme mûr pût voir se réaliser les rêves les plus hardis de son enfance.

Il a fallu une guerre d'une âpreté exceptionnelle pour que des moyens non moins exceptionnels fussent mis en œuvre afin d'aboutir à la réalisation de la bombe atomique. Jamais pareil déploiement d'efforts, pareils moyens financiers n'eussent été réunis pour satisfaire les besoins civils les plus pressants. L'œuvre de la mort et de la destruction est, décidément, plus facile à accomplir que toute autre.

Mais puisque le problème a été résolu, puisqu'on a pu libérer en une fraction de seconde l'énorme quantité d'énergie qu'engendre la désintégration de l'atome, il ne restait plus qu'à étaler dans le temps cette libération de l'énergie. En ralentissant le cheminement des neutrons, on a pu ainsi réaliser des piles ou réacteurs atomiques qui produisent de l'énergie sous forme de chaleur laquelle, à son tour, peut être transformée en toute autre sorte d'énergie, ne serait-ce qu'en électricité.

Cette possibilité d'utiliser l'énergie nucléaire à des fins pacifiques et industrielles délivre l'humanité de l'anxiété croissante qu'elle éprouvait en constatant à quelle allure s'épuisent les sources d'énergie cachées dans les entrailles de la terre : le pétrole et le charbon. Les rayons du soleil accumulés depuis des millénaires sous forme de combustibles solides ou liquides sont exploités à une cadence sans cesse croissante. Avant la fin de ce siècle, les mines de charbon et les puits de pétrole risquent d'être taris. La houille blanche ne saurait, à elle seule, procurer des quantités d'énergie suffisantes pour pallier le manque de sources énergétiques traditionnelles.

Victime de son propre essor, l'industrie humaine allait-elle disparaître faute de force motrice ? Il était temps qu'une source nouvelle et difficilement tarissable fût découverte. L'énergie atomique vient au bon moment pour abolir la terrible menace et pour ouvrir à l'industrie une ère nouvelle dont nous ne pouvons nous faire qu'une faible idée. La révolution entraînée par l'invention de la machine à vapeur est peu de chose en comparaison avec les perspectives illimitées qu'ouvre l'utilisation de l'énergie atomique.

La récente conférence qui, sous l'égide de l'O.N.U., a réuni à Genève, du 8 au 20 août, 1.200 savants de 72 nations, a fait le point de l'état actuel de la question. Il en résulte que, de nos jours, le « kilowatt-heure atomique » coûte sensiblement le même prix que le « kWh thermique » des centrales électriques classiques. Mais cette situation

évoluera rapidement. Aux méthodes indirectes de production d'électricité employées actuellement

(atome → chaleur → mouvement → électricité)

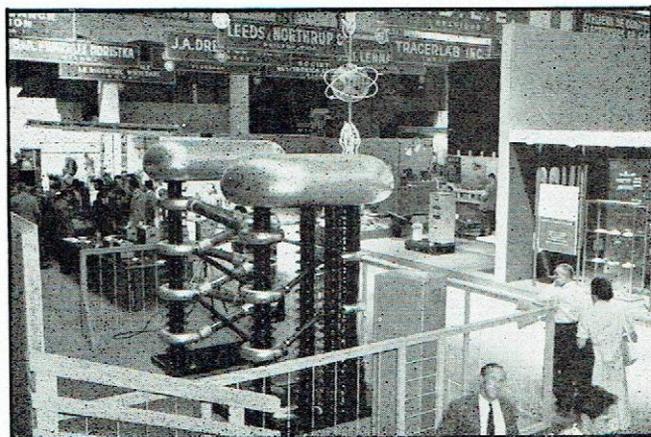
viendra se substituer la méthode directe

(atome → électricité).

Une telle transformation a déjà pu être réalisée sur une petite échelle en mettant à profit les propriétés des semi-conducteurs.

Dans cette révolution qui dotera l'industrie de sources d'énergie presque gratuites, l'électronique joue un rôle de premier plan. Voilà pourquoi nous suivons ici de très près tout ce qui concerne l'utilisation pacifique de l'énergie atomique. Comme l'a dit le président Eisenhower en s'adressant, le 8 décembre 1953, à l'Assemblée générale des Nations Unies : « ... si l'on peut mettre fin à l'effrayant stockage des matériels militaires atomiques, cette force destructrice, qui est la plus forte que le monde ait connue, pourra devenir une force bénéfique pour toute l'humanité ».

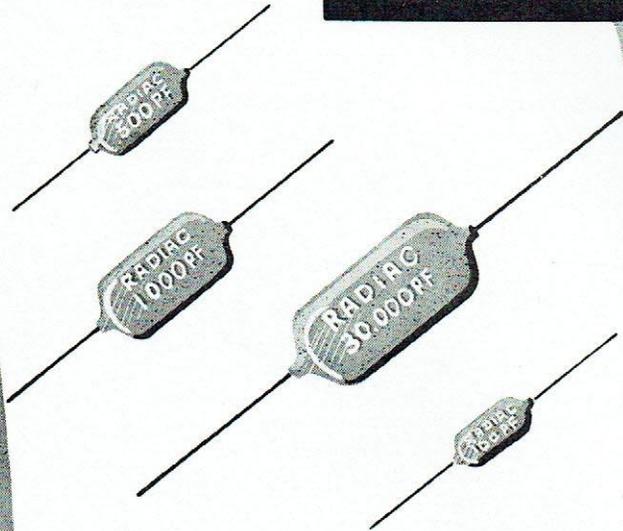
E. AISBERG



Quelques stands de l'Exposition du Congrès Atomique de Genève

*Pour matériel  
professionnel*

ENROBÉS CIRE H. F



C.C.T.U  
Catégorie I

# CONDENSATEURS

## MICA ARGENTÉ

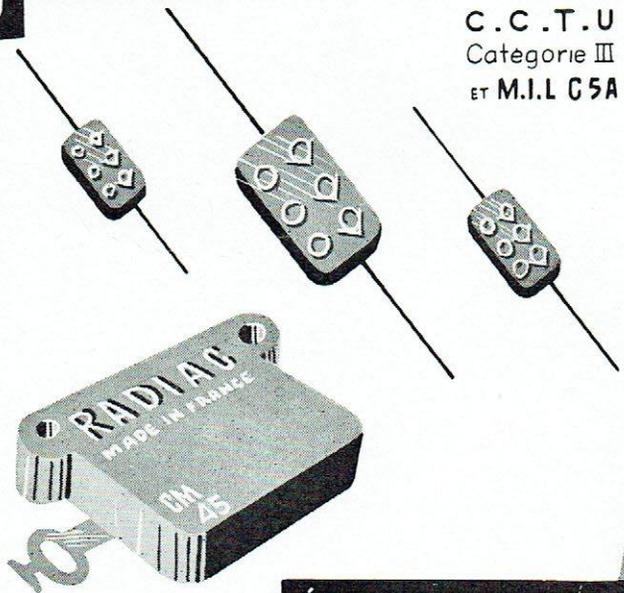
TENSION DE SERVICE JUSQU'A 5 KV

RÉSISTANCE D'ISOLEMENT  
SUPÉRIEURE A 100.000 MÉGOHMS

TANGENTE DE L'ANGLE DE PERTE  
A 1 KC ET 1 MC INFÉRIEURE A  $1 \cdot 10^{-3}$

TOLÉRANCES ÉLECTRIQUES  
LIVRABLES : 10% - 5% - 2% - 1% - 0,5%

C.C.T.U  
Catégorie III  
ET M.I.L G5A



ÉTANCHES MOULÉS  
PLASTIQUE H. F

*A. Arifon sr*

**RADIAC S. A.**

SERVICE C<sup>AL</sup> : 79, R. DU Fbg POISSONNIÈRE - PARIS 9<sup>e</sup> - PRO. 39-51

# APPLICATIONS INDUSTRIELLES de l'Électronique

L'électronique s'est développée pendant longtemps au seul bénéfice des télécommunications. Envahissant ensuite le domaine privé, elle y a trouvé son plus large débouché, en attendant de se rendre absolument indispensable aux forces armées.

Les applications industrielles sont demeurées jusqu'ici très modestes, mais un immense avenir semble s'ouvrir devant elles. Dans tous les domaines, les progrès sont très rapides : appareils de mesure, régulateurs, servomécanismes, machines à calculer, etc... Certains pensent même à un automatisme industriel complet à base d'électronique débarrassant l'ouvrier de toute tâche répétée.

Dans cette évolution, les redresseurs, diodes et transistors aux semi-conducteurs apportent un élément de progrès qui peut être décisif. Tels sont les enseignements d'une conférence présentée le 2 juin 1955 à la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale par M. SOLLIMA, Directeur du Groupe Electronique et Ingénieur en Chef de la Cie Française Thomson-Houston. Compte tenu de l'ampleur des vues développées dans cette vaste synthèse, nous avons tenu à en donner connaissance à l'ensemble des techniciens lisant *ELECTRONIQUE INDUSTRIELLE*.

Visitions une usine quelconque : mécanique générale, fabrique de meubles, filature, etc., et cherchons les applications industrielles de l'électronique. Si nous excluons les récepteurs de radiodiffusion, les électrophones ou les interphones, qui n'ont rien de spécifiquement industriel, que trouvons-nous ? Généralement rien. Alors qu'on ne peut pas faire quelques pas sans voir un moteur électrique, on a l'impression que l'électronique ne sert à rien.

Les statistiques font défaut, mais pour faire image nous dirons qu'en moyenne, dans une usine de 500 personnes, nous rencontrerons peut-être 10 tubes électroniques à usage industriel, soit **0,02 tube par personne**. Encore faut-il préciser que, la plupart du temps, il s'agit d'équipements produisant de la chaleur ou interrompant un courant, c'est-à-dire chargés des fonctions les moins nobles qui se puissent imaginer.

L'étonnement s'accroît si l'on pense à l'extrême diffusion de l'électronique chez les particuliers. En France on compte environ :

10 millions de récepteurs de radio,  
200.000 téléviseurs,  
peut-être 300.000 électrophones,

soit **55 millions de tubes en service** (1). En les attribuant, un peu arbitrairement, aux 28 millions d'adultes en état de travailler, on obtient environ **2 tubes par personne**.

(1) Aux Etats-Unis ce nombre dépasse 1 milliard.

Voilà donc des travailleurs au budget modeste et aux connaissances techniques nulles qui font cent fois plus usage de l'électronique chez eux qu'à l'usine. Avant de parler de l'avenir, il faut évidemment expliquer cette étrange anomalie.

## Historique

L'électronique est née dans les laboratoires de physique. Dès le début elle s'est révélée remarquablement adaptée aux besoins des télécommunications. C'est pourquoi, pendant des dizaines d'années, ces deux techniques se sont développées l'une par l'autre, l'essor remarquable des télécommunications et les progrès extraordinaires de l'électronique étant inséparables.

Au cours de cette période, peu d'ingénieurs songeaient à quelques autres applications de l'électronique. Nul, en tout cas, n'aurait osé envisager des applications industrielles, car l'esprit des laboratoires de physique avait subsisté dans les télécommunications, facilité par la présence obligatoire d'un opérateur qualifié.

Entre les deux guerres, l'électronique connut un brusque changement d'utilisation avec la naissance de la radiodiffusion. Pour la première fois, elle donna lieu à une production de masse et à un abaissement extraordinaire des prix. Mais elle ne fit que peu de progrès dans le sens de la sécurité, les pannes étant sans conséquence. D'ailleurs, des dépanneurs, dont la tâche était

facilitée par la similitude de tous les postes, s'installèrent un peu partout.

Pendant la seconde guerre mondiale, l'électronique connut un immense développement, non seulement dans le domaine des télécommunications, mais aussi dans des domaines totalement différents tels que le radar, les télécommandes, les servomécanismes, le calcul électronique, etc...

Dans toutes ces applications, la recherche des performances extrêmes se fit sans limitation de prix ou de complexité. Outre un personnel nombreux, chargé d'exploiter le matériel, il fallut mettre en place de vastes réseaux d'entretien et de dépannage, puissamment outillés. Malheureusement, toutes ces précautions furent insuffisantes. La complexité, la fragilité et l'excès de consommation des équipements électroniques militaires ont failli compromettre leur rôle dans le succès final.

Depuis la guerre, un effort considérable a été poursuivi pour améliorer la situation : tubes de sécurité, pièces détachées tropicalisées, simplification des schémas, etc... Des résultats remarquables ont été obtenus. Mais les prix demeurent élevés et la présence d'opérateurs qualifiés est presque toujours imposée par les conditions mêmes d'exploitation.

Dans le secteur civil, la véritable marée de la télévision qui s'est produite aux Etats-Unis puis en Angleterre, commence à atteindre la France. Elle ne change rien, au point de vue qui nous occupe, à la situa-

tion précédemment créée par la radiodiffusion.

En définitive, l'industrie courante est restée en marge de tous ces bouleversements. Les progrès extraordinaires qui ont été accomplis ont surtout porté sur les prix, pour les particuliers, et sur les performances pour les autres. Statistiquement, les applications de l'électronique d'aujourd'hui se répartissent ainsi :

**Application principale (80 % ?) :** les particuliers ;

**Applications secondaires :** les télécommunications et les usages militaires ;

Traces négligeables dans l'industrie.

## Obstacles actuels

Les raisons de cet état de fait sont multiples. Dans les industries atardées, la routine et le manque de crédit pourraient être valablement invoqués. Mais dans les industries modernes, soumises à un régime concurrentiel très dur, et contraintes de ce fait à des investissements considérables et continus, ces deux excuses sont absolument sans valeur. Il faut donc bien reconnaître que l'électronique n'a pas atteint le degré de maturité et de perfectionnement qui l'imposera à l'industrie.

La **fragilité** des équipements électroniques actuels est probablement la cause principale de cet état de fait. Malgré les progrès récents très importants, il est à peu près impossible d'utiliser industriellement ces équipements sans un service d'entretien, dont la dépense ne se justifie généralement pas par suite du faible nombre d'équipements à entretenir.

D'autre part, la **complexité** et l'extraordinaire **diversité** des équipements exige un personnel d'autant plus qualifié qu'en électronique rien n'est intuitif. Or, le dépannage en usine n'offre que peu d'intérêt et peu d'avenir. Le personnel très qualifié préfère

répondre aux demandes incessantes de l'industrie électronique proprement dite.

Le **prix** des équipements électroniques est également un obstacle très grave. Les études sérieuses exigent des laboratoires puissamment outillés, sont très longues et consomment des matières et des pièces détachées de grande valeur. La diversité des matériels est telle que chaque étude ne trouve à s'amortir que sur de très petites séries, pesant lourdement sur le prix de chaque équipement.

Signalons enfin une difficulté dont la contradiction n'est qu'apparente : n'importe quel artisan peut bricoler à bas prix un équipement électronique approximatif, dont les déboires desserviront ensuite gravement la cause de l'électronique industrielle.

## Applications actuelles

Malgré toutes ces difficultés, l'électronique a déjà reçu des applications extrêmement variées dans l'industrie. Les unes, aujourd'hui classiques, sont relativement répandues ; les autres, à peine expérimentées, n'existent encore qu'en quelques exemplaires. En voici un catalogue sommaire :

**Chauffage par induction.** — Une pièce conductrice placée dans un champ magnétique alternatif est le siège de courants induits qui l'échauffent. Alors que le secteur ou les alternateurs à haute fréquence sont utilisés pour les grands fours ou les grosses pièces, l'électronique, grâce aux fréquences élevées qu'elle permet, est particulièrement applicable aux petites pièces. Ses applications principales sont la brasure à l'air libre ou en atmosphère contrôlée, la fusion de métaux nobles, le frittage des poudres et la trempe des pièces en acier, y compris la trempe superficielle.

**Chauffage par pertes diélectriques.** — Une pièce isolante placée dans un champ électrique alternatif est le siège de pertes diélectriques qui l'échauffent. Seule l'électronique, par ses fréquences très élevées,

permet d'utiliser ce phénomène. On réalise ainsi le préchauffage des poudres à mouler, la soudure des plastiques en feuilles, le collage du bois, la fusion du verre et le séchage des matériaux les plus divers.

**Soudure par points.** — L'essor considérable de cette technique particulière de soudage électrique est lié à l'obtention de puissances instantanées très grandes et de temps de soudure très courts, évitant la détérioration du métal des pièces. Ces régimes de fonctionnement dépassent les possibilités des contacteurs mécaniques, et c'est l'ignitron, tube électronique spécial, qui permet d'établir et d'interrompre à volonté le circuit d'alimentation des soudeuses modernes.

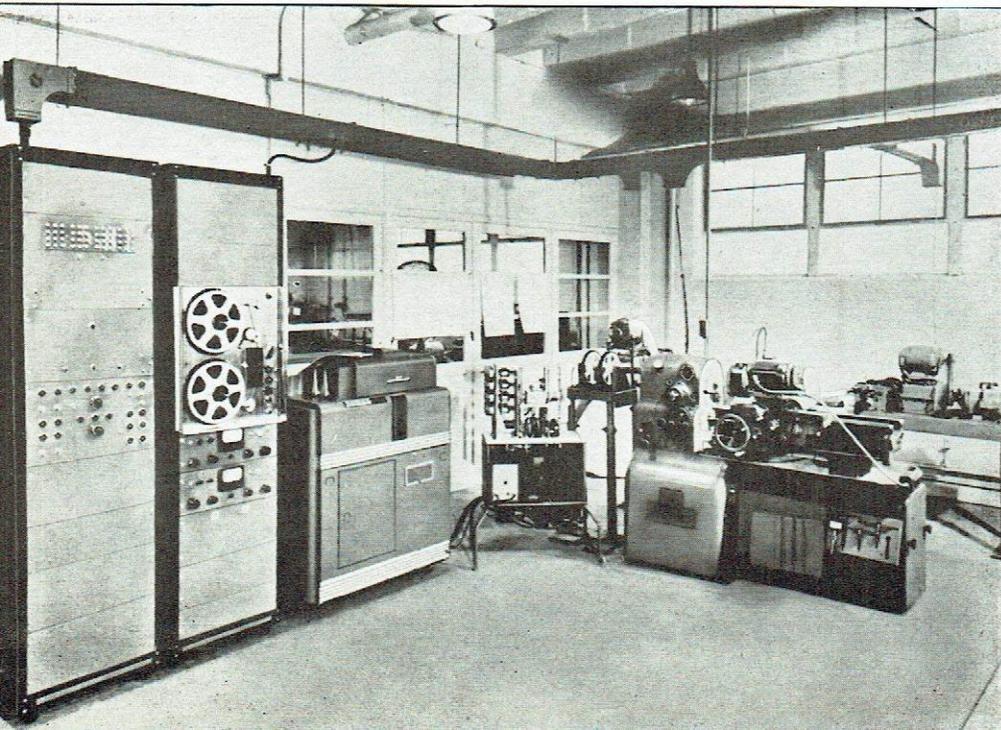
**Mesures électroniques.** — Les appareils les plus divers peuvent être utilisés dans l'industrie.

Le plus remarquable et le plus universel de ces appareils est l'**oscillographe cathodique**. Il permet d'analyser n'importe quel phénomène en fonction du temps et de le traduire sous forme de courbe lumineuse. Aux vitesses extrêmes de balayage, il réalise un véritable « microscope du temps ». Muni de capteurs appropriés, il mesure non seulement toutes les grandeurs électriques mais aussi les déplacements, les vitesses, les accélérations, les forces, etc...

Parmi les autres appareils de mesure, très variés, citons :

- les amplificateurs de tous types ;
- les enregistreurs à amplification électronique ;
- les jauges à fil résistant largement utilisées pour la mesure des déformations mécaniques ;
- les micro-comparateurs électroniques permettant les mesures de longueurs les plus précises (1/10 de micron) ;
- les indicateurs de niveau électroniques qui équipent les grands réservoirs ;
- les accéléromètres ;
- les appareils de mesure des pressions, utilisés notamment dans l'étude des moteurs à piston ;
- les appareils de mesure des vibrations ;
- les machines d'équilibrage dynamique ;
- les appareils de mesure des épaisseurs (couches de peinture, feuilles métalliques, etc...) ;
- les potentiomètres automatiques pour la mesure précise des températures ;
- les jauges électroniques diverses pour la mesure du vide ;
- les photomètres, densitomètres et colorimètres électroniques pour les mesures optiques ;

*Fraiseuse d'ailettes à interpolation automatique. La forme des ailettes d'une turbine à gaz étant calculée point par point, chaque point est enregistré sur carte perforée. Un calculateur analogique interpole automatiquement la courbe entre points calculés successifs et l'enregistreur sur ruban magnétique. Le ruban commande ensuite la fraiseuse.*



*Fraiseuse à commande électronique : La pièce à exécuter est usinée en trois dimensions par une fraiseuse dont tous les mouvements sont commandés électroniquement. Au préalable, les données du plan ont été inscrites en code binaire sur un ruban perforé.*

- les sonomètres pour la mesure des bruits des machines;
- les appareils de mesures chimiques, telles que celle du pH.

## Régulateurs

Un certain nombre des équipements de mesure ci-dessus peuvent être transformés en régulateurs, en les dotant de servomécanismes appropriés. Dans les cas les plus simples il suffit de munir l'appareil de mesure final d'un contact opérant par tout ou rien pour obtenir un effet de régulation suffisant. Citons, par exemple, la régulation de température d'étuves ou de fours de petites dimensions.

Dans d'autres cas, il s'agit d'installations industrielles importantes mettant en jeu des servomécanismes compliqués et puissants. On peut ainsi régulariser la tension d'enroulement dans les métiers à tisser, l'alignement des bords dans les bobines des machines à papier, la vitesse des différents trains des immenses laminoirs en continu, etc...

Bien entendu, dans les installations les plus puissantes, l'électronique proprement dite se borne à la partie « intelligente » du circuit, les puissances finales importantes étant obtenues par des moyens électriques, tels que ces remarquables amplificateurs électromécaniques tournants nommés « *amplidyne* ».

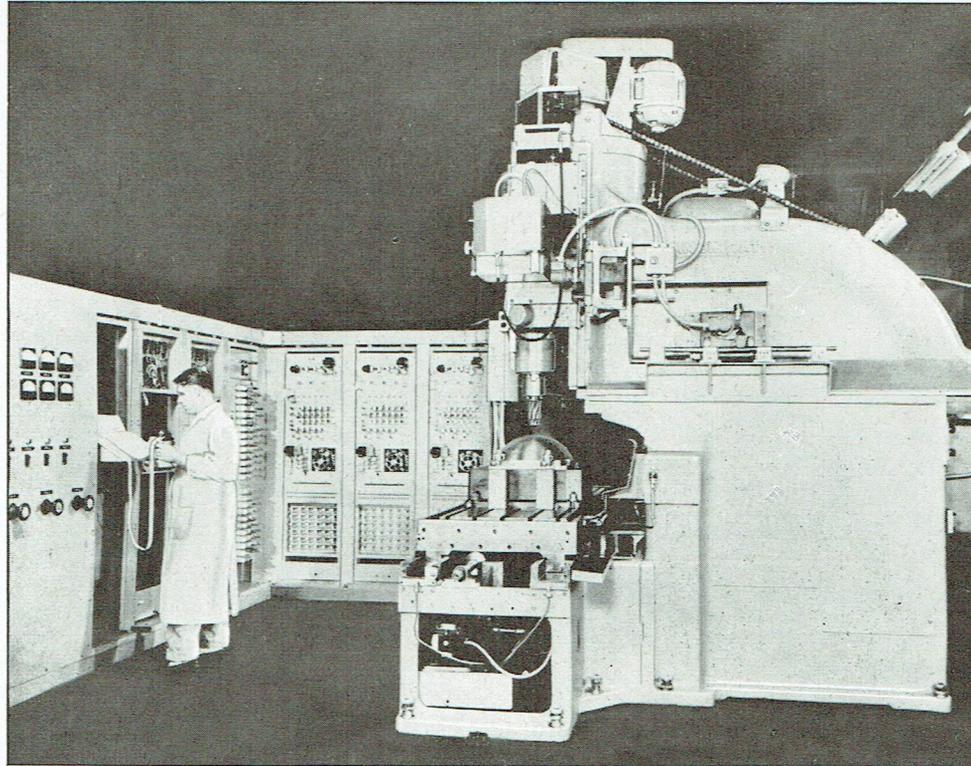
La généralisation de ces régulateurs à servomécanismes constitue l'un des plus grands espoirs de développement de l'électronique industrielle. Partout ils sont susceptibles de **remplacer la vigilance humaine, d'augmenter la production, d'améliorer la qualité des produits fabriqués et surtout de rendre cette qualité constante dans le temps.**

Applications physiques. — **Le microscope électronique**, par ses grossissements extraordinaires, permet d'explorer des domaines inaccessibles au microscope optique.

**Le spectrographe de masse**, suivant son agencement, effectue les dosages les plus délicats de la pétrochimie, permet la détection des fuites les plus infimes dans les enceintes étanches, ou assure la séparation des isotopes dans l'industrie nucléaire.

**Les ultrasons**, créés par des appareillages électroniques, sont utilisés pour faciliter la formation d'émulsions ou les réactions chimiques, ou pour accroître l'efficacité de lavages difficiles.

**La stroboscopie**, enfin, permet l'examen visuel du fonctionnement de machines en



mouvement périodique, en montrant au ralenti les déformations, rebondissements et autres phénomènes parasites dus aux efforts dynamiques. Elle facilite aussi l'examen des appareils soumis à des essais de vibrations.

Télévision industrielle. — La télévision, grâce à des appareils spécialement conçus pour cet usage, commence à pénétrer dans l'industrie. Ces équipements, beaucoup plus simples que ceux qui servent aux émissions publiques, transmettent par câble l'image captée n'importe où, à un ou plusieurs récepteurs placés à quelques dizaines ou centaines de mètres de là. On peut ainsi rendre commode et confortable la surveillance d'une machine ou d'un équipement auprès duquel la présence directe de l'opérateur serait pénible ou dangereuse. On peut aussi centraliser sous les yeux d'un opérateur unique les images captées en des points différents. On peut enfin renforcer à volonté la lumière et le contraste d'une image d'observation visuelle pénible.

Citons comme emploi l'observation à distance des opérations portant sur les matières radio-actives, ou dans les enceintes contaminées des piles atomiques; la surveillance du trafic dans des enceintes industrielles; les examens microscopiques en série.

## Calcul électronique

Le calcul électronique utilise deux grandes classes de calculatrices :

1°) **Les calculatrices analogiques**, dans lesquelles un circuit électrique approprié obéit aux mêmes lois que le phénomène à calculer, moyennant une convention d'analogie entre les grandeurs électriques du circuit et les grandeurs différentes du phénomène. Ces calculatrices sont particulièrement utiles pour l'étude des phénomènes variables.

2°) **Les calculatrices arithmétiques**, presque toujours basées sur le système de numération binaire, qui se bornent à effectuer des calculs numériques.

Dans ces dernières calculatrices, l'étude de la variation d'un phénomène se fait par le calcul d'un grand nombre de points successifs. Car calculatrices arithmétiques ont deux avantages essentiels : leur précision aussi grande que l'on veut, et leur extraordinaire rapidité de calcul. Par contre, elles sont généralement plus compliquées et de mise en œuvre plus laborieuse que les machines analogiques.

Dans l'industrie, certains services de comptabilité ou de statistique très importants sont dotés de calculatrices arithmétiques électroniques. Leur vitesse de calcul prodigieuse assure l'exécution de travaux considérables en très peu de temps. Inter-calées dans une chaîne de comptabilité par cartes perforées, elles permettent l'exécution de tous les calculs intermédiaires dans le temps élémentaire normal de défilement des cartes.

D'autre part, les laboratoires et bureaux de calculs tendent de plus en plus à utiliser des calculatrices arithmétiques ou analogiques électroniques, malgré leur prix élevé. Dans l'optique, par exemple, ces machines donnent en quelques instants le trajet d'un rayon lumineux dans un objectif, permettant son étude rapide, alors qu'à la main les calculs sont interminables. Dans la technique des machines électriques, du radar, et bien d'autres, ces machines permettent soit un gain de temps considérable, soit la solution rapide d'équations inabordable à la main. Dans l'aéronautique, l'étude aérodynamique des fusées ou autres problèmes analogues, ces machines permettent de simuler des conditions de vol, d'essayer les mécanismes d'asservissement et de mettre au point d'innombrables détails de fonctionnement que l'étude en vol réel ne permettrait pas d'observer.

Il est certain que ces calculatrices, de types variés se répandront énormément dans l'avenir, surtout lorsque la technique un peu particulière de leur emploi sera mieux connue des usagers. Ces appareils posent d'ailleurs, pour la première fois dans l'industrie, le problème de l'**entretien préventif** d'un équipement électronique comportant un très grand nombre d'éléments. Les calculatrices arithmétiques, en effet, comportent souvent plusieurs milliers de tubes électroniques ou éléments équivalents (18 000 tubes pour la première calculatrice universelle : l'ENIAC).

## Progrès techniques

Cette énumération, pourtant succincte, des applications industrielles de l'électronique, montre l'immense développement auquel on pourrait s'attendre si les difficultés techniques signalées précédemment étaient levées.

Or, les pièces détachées, sous l'impulsion des nécessités militaires, ont fait des progrès absolument remarquables au cours de ces dernières années. Le temps est très proche où ces pièces cesseront d'être une cause de panne, surtout si on les utilise avec les marges de sécurité voulues.

Par contre, les tubes, malgré des progrès très méritoires, restent l'élément fragile, sujet à usure, et cause habituelle des pannes subites. Par des précautions minutieuses et un entretien préventif sévèrement codifié, les P.T.T. s'accoutument avec succès de cet état de choses. Mais les conditions d'emploi dans l'industrie sont fort différentes : il s'agit d'un régime dur, sans ménagement et sans opérateur qualifié, dans lequel la moindre panne peut immobiliser des chaînes de production considérables, avec des conséquences financières désastreuses.

Heureusement, une révolution technique s'accomplit sous nos yeux. Dans le monde entier, des équipes nombreuses, dotées de crédits considérables, travaillent à la mise au point des **semi-conducteurs**. Diodes, redresseurs et transistors au germanium ou au silicium sont le grand espoir des électroniciens.

Dans leur principe même, il n'y a rien de nouveau ; la vieille galène des débuts était déjà une diode en semi-conducteur aux propriétés merveilleuses. C'est son instabilité et le parfait mystère de son fonctionnement qui ont été la cause de son abandon. La lampe à trois électrodes, inventée peu après, apportait non seulement l'amplification, mais aussi un mécanisme parfaitement logique, voulu, et à l'échelle humaine. La dimension des barreaux qui commandent les électrons, le volume dans lequel se déroulent les phénomènes, tout était parfaitement visible et rassurant.

Et pourtant, quand on y réfléchit librement, quelle déchéance de la galène au tube ! Là où il suffisait de deux pièces, on en a mis des dizaines. Là où le volume utile était une fraction de millimètre cube, on a mis une lampe d'éclairage. Là où il fallait commander un léger flux d'électrons, on a mis une chauffelette à 1000°. Là où il s'agissait de microwatts gratuitement ap-

portés par l'antenne, on a exigé la présence de sources locales multiples et puissantes, agissant avec des rendements dérisoires. Là, enfin, où la rusticité s'alliait à la pérennité, on a introduit un organe délicat, fragile, sujet à usure et terminant prématurément son rôle par une destruction soudaine et irrémédiable.

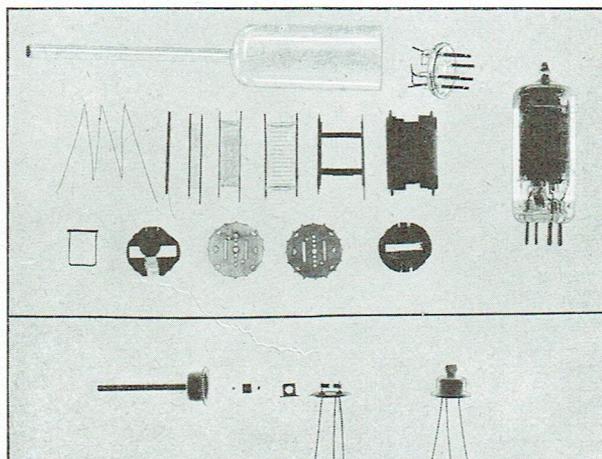
Bien entendu, le tube électronique ne saurait être entièrement remplacé du jour au lendemain. Avec quarante ans de fabrication portant sur plusieurs milliards d'exemplaires, il constitue un exploit de mise au point et de bas prix. Les transistors d'aujourd'hui ne peuvent encore atteindre ni la puissance ni la très haute fréquence. Mais les progrès sont incessants et très rapides, et nul ne sait jusqu'où ils iront.

Dans leur forme la plus simple, la diode, les éléments aux semi-conducteurs réalisent un véritable miracle technique. Il s'agit d'une soudure entre deux fils qui, vue dans

Ainsi s'il faut 2 à 3 watts pour produire 1 watt, il suffit de 2 à 3 milliwatts pour produire 1 milliwatt et de 30 à 50 microwatts pour produire 10 microwatts, alors qu'un tube électronique ordinaire exige toujours ses 2 watts de chauffage, quelle que soit la puissance utile. Le gain de consommation ainsi obtenu en remplaçant des tubes par des transistors est souvent de 100 ou 1000.

Si l'on ajoute que les transistors se contentent de quelques volts, on comprend que pour de très nombreuses applications une petite pile sèche suffit à assurer des centaines ou des milliers d'heures de fonctionnement.

D'autre part, les transistors ne chauffent pas, ou peu, et ils s'accoutument de pièces détachées subminiatures, puisque les puissances en jeu sont infimes. Les équipements à faible niveau qui les utilisent peuvent donc être extraordinairement petits. Cela



*Ce document, qui montre les parties constitutives d'un tube classique et d'un transistor, est éloquent en ce qui concerne la simplification et l'accroissement de robustesse qui résulteront de l'utilisation des triodes à cristal.*

portés par l'antenne, on a exigé la présence de sources locales multiples et puissantes, agissant avec des rendements dérisoires. Là, enfin, où la rusticité s'alliait à la pérennité, on a introduit un organe délicat, fragile, sujet à usure et terminant prématurément son rôle par une destruction soudaine et irrémédiable.

Bien entendu, le tube électronique ne saurait être entièrement remplacé du jour au lendemain. Avec quarante ans de fabrication portant sur plusieurs milliards d'exemplaires, il constitue un exploit de mise au point et de bas prix. Les transistors d'aujourd'hui ne peuvent encore atteindre ni la puissance ni la très haute fréquence. Mais les progrès sont incessants et très rapides, et nul ne sait jusqu'où ils iront.

Dans leur forme la plus simple, la diode, les éléments aux semi-conducteurs réalisent un véritable miracle technique. Il s'agit d'une soudure entre deux fils qui, vue dans

Ainsi s'il faut 2 à 3 watts pour produire 1 watt, il suffit de 2 à 3 milliwatts pour produire 1 milliwatt et de 30 à 50 microwatts pour produire 10 microwatts, alors qu'un tube électronique ordinaire exige toujours ses 2 watts de chauffage, quelle que soit la puissance utile. Le gain de consommation ainsi obtenu en remplaçant des tubes par des transistors est souvent de 100 ou 1000.

Si l'on ajoute que les transistors se contentent de quelques volts, on comprend que pour de très nombreuses applications une petite pile sèche suffit à assurer des centaines ou des milliers d'heures de fonctionnement.

D'autre part, les transistors ne chauffent pas, ou peu, et ils s'accoutument de pièces détachées subminiatures, puisque les puissances en jeu sont infimes. Les équipements à faible niveau qui les utilisent peuvent donc être extraordinairement petits. Cela

facilite leur protection en boîtier étanche et les rend pratiquement indestructibles.

En définitive, il semble que les **équipements électroniques industriels de demain** doivent être conçus de la manière suivante :

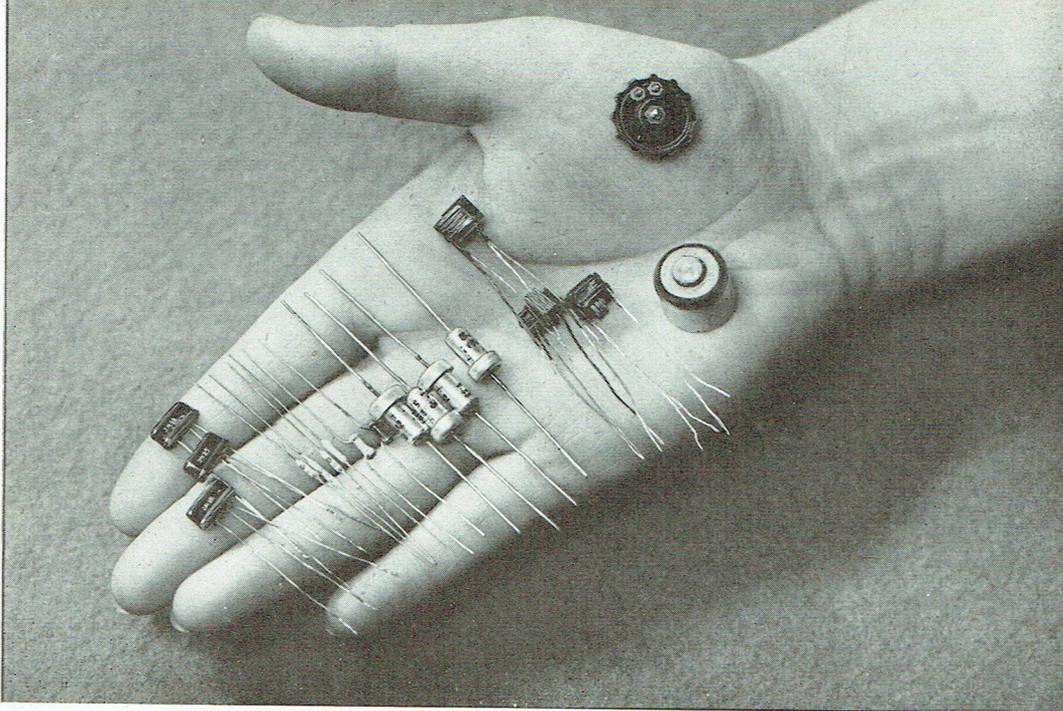
1°) Un ensemble de **circuits d'élaboration des signaux** uniquement équipés de diodes ou de transistors aux semi-conducteurs. Suivant la complexité du problème à résoudre, ces circuits seront plus ou moins nombreux. Dans certains cas, ils pourront être des milliers.

2°) A la sortie de l'ensemble précédent, les ordres seront exécutés par un petit nombre d'organes puissants, généralement des **servomécanismes**. Ces organes seront équipés soit d'éléments aux semi-conducteurs plus puissants, soit d'amplificateurs magnétiques, soit de quelques tubes électroniques de puissance, auxquels se limiteront l'entretien. Le tout se terminant, s'il y a lieu, par les machines tournantes nécessaires.

Il n'est pas inutile de faire le rapprochement avec les êtres vivants : d'innombrables cellules nerveuses minuscules pour les sens, la mémoire et l'élaboration des ordres et quelques muscles puissants pour les exécuter.



Dans cette presse à découper automatique, mise au point par General Electric dans le cadre de l'étude d'un ensemble de production entièrement mécanisé, les indications concernant le choix de l'outil et l'emplacement de la découpe sont fournies par une calculatrice électronique arithmétique alimentée par cartes perforées. Des machines analogues seront capables de percer, river, agraffer, contrôler, etc.



*L'électronique de demain : les transistors permettent la réalisation d'équipements électroniques extraordinairement petits, robustes et peu exigeants en puissance d'alimentation. Les éléments que l'on voit ci-contre suffisent à construire un amplificateur téléphonique à trois étages, complet, pile y compris.*

## Avenir industriel

Lorsque ces progrès seront réalisés, l'électronique envahira l'industrie, soit par la généralisation des applications actuelles dont nous avons déjà parlé, soit dans des domaines originaux.

Sous le vocable « automation », on désigne aux Etats-Unis une tendance nouvelle qui passionne non seulement les milieux industriels, mais aussi l'opinion publique tout entière. Il s'agit d'une généralisation à outrance de l'automatisme industriel, avec un large emploi de l'électronique.

De même que l'électricité a remplacé partout la force musculaire, l'électronique peut, et doit, remplacer partout la vigilance de l'homme et la partie automatique de son intelligence. Ce remplacement se fera par des équipements sensibles, fidèles, extraordinairement rapides et tout à fait indifférents à la fatigue. Il en résultera un accroissement de la production, une amélioration de la qualité, et surtout une parfaite constance de cette qualité.

Suivant le degré de complexité de l'automatisme, on peut réaliser :

- Des appareils de contrôle automatique;
- Des appareils de triage automatique;
- Des machines-outils munies d'un palpeur électronique usinant la pièce conformément au contour d'un gabarit;
- Des machines-outils à enregistrement magnétique répétant seules les mouvements accomplis une première fois par un ouvrier habile;
- Des machines-outils à calculateur électronique usinant la pièce d'après les points cotés d'un dessin, avec interpolation automatique entre ces points;
- Des chaînes complètes d'assemblage automatique avec contrôle des pièces pro-

duites et orientation automatique des pièces vers les machines disponibles;

— Des chaînes complètes d'assemblage automatique avec contrôle complet des pièces détachées à l'entrée de la chaîne et des appareils terminés à la fin de la chaîne.

En réalité, il n'y a pas de limite dans la complexité des automatismes concevables et nul doute qu'un jour il semblera aussi ridicule d'usiner ou de contrôler une pièce à la main qu'aujourd'hui de voir un ouvrier tourner une manivelle. Mais, pour le moment, les frais d'étude, de réalisation et d'entretien limitent les installations de ce genre à quelques études expérimentales isolées.

Toute une technique est à créer, à la fois sur le plan théorique (cybernétique), sur le plan technologique (pièces détachées et sous-ensembles communs), sur le plan pédagogique (formation du personnel spécialisé) et sur le plan pratique (expériences, documentation, propagande).

De plus, il faudra obligatoirement atteindre des prix bas et une robustesse absolue du matériel.

## Conséquences sociales

Cet automatisme à outrance, remplaçant l'ouvrier par l'électronique, inquiète beaucoup de personnes, alors qu'elle en enthousiasme d'autres. « Automation » est-il synonyme de chômage ou de prospérité?

Localement et individuellement, l'automatisme peut évidemment entraîner de sérieux désordres dans l'emploi de la main-d'œuvre industrielle. Il est normal que certains ouvriers se sentent menacés, dans la mesure même où ils se savent inaptes à une réadaptation.

Mais globalement le danger est nul. L'accroissement de production entraînant une baisse des prix, accroît considérablement la

demande. Finalement, il sera possible de réduire une nouvelle fois la durée du travail tout en augmentant le niveau de vie. D'ailleurs, ces transformations ne peuvent être que progressives et ne s'étendront probablement pas à toutes les industries. Il n'en reste pas moins que l'électronique après la force motrice, fera certainement accomplir un nouveau bond en avant au progrès matériel de l'humanité.

## L'électronique dans les bureaux

Jusqu'ici, c'est surtout au travail de l'ouvrier qu'on a voulu substituer l'automatisme électronique. Pourtant, à y bien réfléchir, c'est l'ouvrier qui est actuellement le mieux équipé; c'est lui qui a le plus haut rendement.

Par contre, le travail de bureau est demeuré rigoureusement artisanal, sur tous les plans. Rien n'est plus surprenant que de voir le contraste entre un atelier moderne et un bureau! Tout s'y fait à la main, à l'unité, laborieusement. Aussi n'est-il pas rare de voir plus d'employés que d'ouvriers!

L'électronique pourra-t-elle améliorer cette situation? Bien sûr, les calculatrices électroniques apporteront un secours partiel. Mais il ne s'agit là que d'un détail. Pourra-t-on accomplir une révolution électronique dans les bureaux? Il est bien difficile de répondre, et aujourd'hui on en est même à se demander par quelle voie aborder le problème.

La question va d'ailleurs plus loin. La direction des entreprises est, elle aussi, assurée actuellement par les méthodes les plus empiriques, à la main pourrait-on dire. Aurons-nous un jour la direction électronique?

Une première méthode, immédiatement applicable, consiste à calculer électroniquement les conséquences détaillées d'une décision suggérée par le directeur. Celui-ci pourra alors, en toute connaissance de cause, confirmer ou modifier cette décision.

Mais peut-on aller plus loin? Peut-on introduire dans une machine toutes les données d'une situation et en tirer la décision la plus convenable? Dans la mesure où l'expérience n'est qu'une somme de souvenirs, la machine munie de mémoire ne peut-elle pas rivaliser avec l'homme pour décider?

Mais alors que fera l'homme? D'ailleurs, est-il nécessaire qu'il fasse quelque chose? Répondons, pour aujourd'hui, qu'il lui est au moins utile de faire de l'électronique.

M. SOLLIMA.

# Les radioéléments artificiels

## III. - Les applications

Trois brillants techniciens du *Commissariat à l'Énergie Atomique* ont bien voulu se charger de promener les lecteurs de notre jeune Revue dans le domaine à peine plus ancien des radioéléments artificiels. C'est ainsi que C. FISHER, dans le numéro 2, a décrit la fabrication de ces concurrents avantageux du radium ; B. GRINBERG s'est penché, dans le numéro 4, sur leur mesure. Aujourd'hui, c'est M. LÉVÊQUE, qui va faire un tour d'horizon, malheureusement bien rapide, car il serait possible d'écrire des livres entiers sur le sujet, des applications pratiques dans divers secteurs de l'industrie.

par P. LÉVÊQUE

Les radioéléments, que l'on peut considérer comme des sous-produits des piles atomiques, ont trouvé un large emploi, en particulier dans l'industrie. La majorité de leurs applications utilise, soit les propriétés des rayonnements qu'ils émettent, soit le fait qu'ils peuvent être détectés en très petite quantité. Nous ne citerons que quelques exemples montrant les services qu'ils peuvent rendre dans le contrôle et la recherche industriels.

### I. — CONTROLE

#### 1) Essais non destructifs

Ces essais tendent à prendre de plus en plus d'importance dans l'industrie ; les radioéléments sont particulièrement utiles dans ce cas.

##### a) Radiographie $\gamma$ .

Les sources radiographiques utilisant les émetteurs  $\gamma$  sont petites et bon marché (de l'ordre de 30 000 à 40 000 francs pour une source de 1 curie de Co). Elles couvrent un domaine d'énergie allant de 50 keV (thulium<sup>170</sup>) à 1,3 meV (Co<sup>60</sup>) ce qui permet d'envisager la radiographie de pièces ou soudures en alliage léger, aussi bien que celle de pièces en fer dont l'épaisseur peut atteindre 20 cm. Le tableau 1 résume les principales caractéristiques de ces sources radiographiques.

TABLEAU I

Isotope	Période	Energie du rayonnement $\gamma$ en Mev	Applications
<sup>60</sup> Co	5,3 ans	1,3 — 1,1	2 à 15 cm d'acier
<sup>192</sup> Ir	70 jours	0,4 à 0,6	1 à 5 cm d'acier
<sup>137</sup> Cs	33 ans	0,663	'
<sup>170</sup> Tm	129 jours	0,084 - 0,050 (10 %)	Alliages légers matières plastiques

Comparée aux rayons X, cette méthode est en général plus longue (les temps de pose pouvant varier d'une heure à une dizaine d'heures), mais la commodité de leur emploi (utilisation de tout l'angle solide, possibilité d'introduction de la source à l'intérieur de pièces moulées, etc.), fait que leur utilisation s'est considérablement développée dans le contrôle industriel des pièces moulées et des soudures.

##### b) Analyses.

a) Mesure du rapport C/H (carbone/hydrogène) [1].

La section efficace d'absorption du rayonnement  $\beta$  dépend du nombre d'électrons par unité de masse des constituants de l'absorbant. Pour cette raison, l'hydrogène est environ deux fois plus absorbant que dans les autres éléments ( $\frac{Z}{A} = 1$  pour l'hydrogène

et  $\leq$  à 1/2 pour tous les autres éléments). En mesurant simultanément la densité et l'absorption des rayonnements  $\beta$  d'une source Sr<sup>90</sup> + Y<sup>90</sup> d'un échantillon de pétrole, il est possible de déterminer le rapport C/H. Un tel appareil donne ce rapport en continu.

$\beta$ ) Dosage du plomb tétraéthyle dans l'essence.

L'analyse peut se faire de deux manières :

— En mesurant les variations d'absorption des rayons X de quelques dizaines de milliers d'électrons-volts dans un échantillon.

— En excitant la raie K $\alpha$  du plomb avec une source  $\beta$  intérieure ou extérieure à l'échantillon, et en mesurant l'intensité de cette raie K $\alpha$ .

$\gamma$ ) Analyse par activation directe.

En irradiant simultanément dans une pile un échantillon et un étalon convenable, il est possible de déterminer par comparaison de leurs activités induites, la teneur en un élément donné de l'échantillon. Dans certains cas, aucune séparation chimique n'est

nécessaire, ce qui rend l'essai non destructif. Par exemple, il est possible de doser simultanément le fluor et le chlore dans un échantillon de trifluorochloroéthylène. Les périodes des radioéléments obtenues (12 s pour le fluor et 38 mn pour le chlore) sont suffisamment différentes pour permettre une détermination simultanée de ces deux halogènes.

### c) Jauges d'épaisseur.

Elles utilisent les propriétés d'absorption et de diffusion des matériaux pour les différents rayonnements. Elles peuvent être à absorption ou à rétrodiffusion.

#### a) Absorption.

La source et le détecteur sont placés de part et d'autre du matériau à mesurer. La quantité du rayonnement mesuré par le détecteur est fonction de l'épaisseur de ce matériau. Il est possible, en utilisant un montage d'opposition (une deuxième source et un deuxième détecteur sont placés de part et d'autre d'un échantillon et ce détecteur est monté en opposition avec le précédent), de piloter automatiquement une fabrication. Les épaisseurs mesurables peuvent aller jusqu'à 800 mg par cm<sup>2</sup> pour les émetteurs  $\beta$  courants; au delà de cette épaisseur, on doit utiliser des émetteurs  $\gamma$  mous (thulium) ou une source de rayonnement de freinage (\*).

#### $\beta$ ) Jauges à rétrodiffusion.

La source et le détecteur sont placés du même côté du matériau à mesurer.

Si la source est un émetteur  $\beta$ , il est possible de mesurer les épaisseurs d'un dépôt dont le Z (nombre de protons, donc d'électrons) est différent de celui du support. En effet, le nombre de  $\beta$  diffusés par le matériau est une fonction de son Z; il est d'autant plus élevé que le Z est plus grand; on peut citer comme exemple la mesure de dépôt d'or sur du laiton et de couche de peinture sur l'acier.

Si la source est un émetteur  $\gamma$ , on a une jauge qui permet de mesurer des épaisseurs de tubes métalliques ou de tôles qui ne sont accessibles que d'un seul côté. En utilisant une source de Co<sup>60</sup> par exemple, il est possible de mesurer des épaisseurs de tôle d'acier allant jusqu'à 20 mm.

## 2) Mesures

### a) Débits.

Les mesures de débit se ramènent souvent à une mesure de vitesse d'écoulement d'un fluide dans une canalisation ayant une section donnée. L'utilisation de traceurs radioactifs permet une détection de cette vitesse, même à l'extérieur de tubes métalliques,

(\* Ces sources utilisent le fait que le rayonnement  $\beta$ , étant absorbé dans la matière, produit un spectre de rayons X que nous appelons rayonnement de freinage (Bremsstrahlung).

ce qui évite la pose de parois transparentes, lesquelles peuvent être à l'origine de fuites.

De plus, il est possible d'enregistrer la forme du front d'onde; on mesure généralement le temps de passage de ce front d'onde entre deux points dont la distance est connue.

Une méthode un peu différente, ressemblant à une mesure par dilution isotopique, consiste à libérer dans un conduit gazeux une quantité connue de gaz radioactif et à doser un peu plus loin l'activité par unité de volume du gaz et le temps de passage du gaz radioactif en ce point; on peut ainsi mesurer des débits gazeux de 100 000 m<sup>3</sup>/heure [2].

### b) Niveaux.

Les niveaux utilisant les sources radioactives présentent le gros avantage de ne pas nécessiter d'appareil de mesure situé à l'intérieur de la cuve, ce qui est particulièrement intéressant lorsqu'il s'agit de liquides corrosifs ou inflammables. La jauge la plus courante se compose d'une source et d'un détecteur placés de chaque côté de la cuve et se déplaçant simultanément par un système mécanique approprié; le passage au niveau du liquide se manifeste par une brusque variation de la radioactivité mesurée puisque l'absorption du rayonnement varie énormément à cet endroit. Le plus souvent, la source utilisée est une source de Co<sup>60</sup>.

## II. — RECHERCHES

### 1) Usure

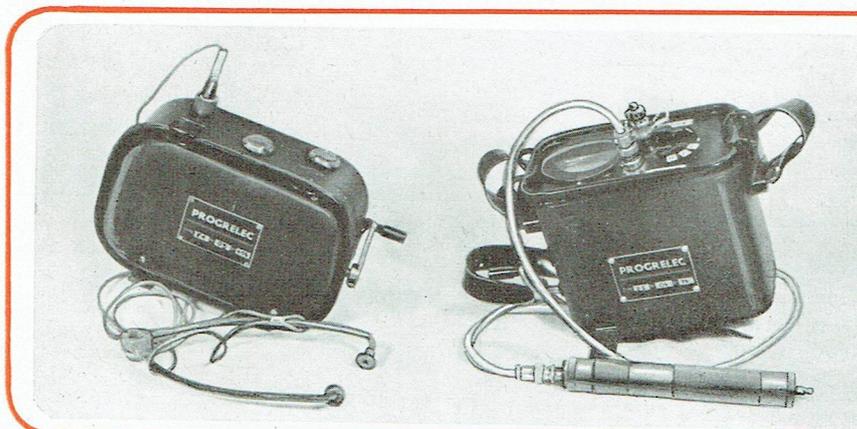
La facilité de détection des radioéléments en très petite quantité rend leur emploi particulièrement utile dans tous les problèmes d'usure; ceux-ci sont extrêmement variés: usure d'outils de coupe, de roulements à billes, de segments de moteur, de pneus, etc...

Dans tous les cas, la pièce examinée est rendue radioactive, soit dans la masse par irradiation totale aux neutrons, soit superficiellement par échange ou imprégnation de produits radioactifs. La quantité de matière enlevée durant l'essai est proportionnelle à la radioactivité perdue par la pièce qui s'use; celle-ci se retrouve soit dans les huiles de lubrification, soit sur les parois avec lesquelles la pièce est en contact par frottement.

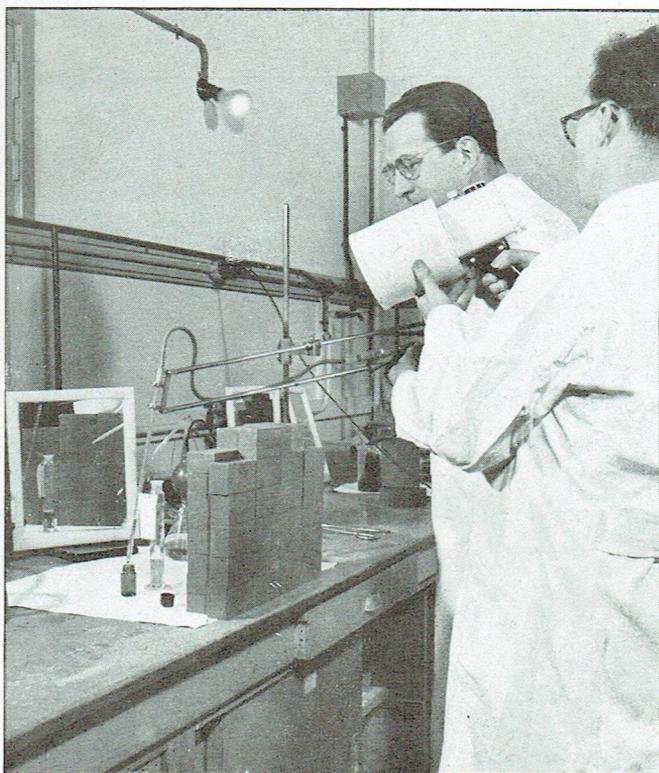
### 2) Fabrication

#### a) Production de produits chimiques.

L'induction de réactions chimiques par l'action du rayonnement en est encore au stade de la recherche. Dans ce cas, le rayonnement est utilisé pour son action ionisante. L'utilisation de machines accélératrices d'électrons (Van de Graff, accélérateur linéaire) et celle de sources de produits de fission séparés ou non permettront d'envisager la création d'un nouveau type d'industrie chimique; les résultats les plus prometteurs semblent être pour l'instant: la réticulation du polythène (son point de « fu-

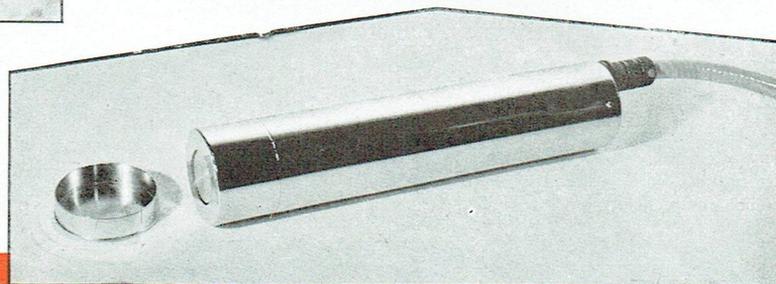


Deux appareils pour la détection des rayonnements radioactifs: Le GAMMATEST (à gauche), détecteur simplifié intéressant pour le repérage d'une source ou d'une zone radioactive dont on n'a pas besoin de connaître avec précision l'intensité de rayonnement. L'appareil peut être alimenté par magnéto ou par piles et vibreur. Il compte depuis quelques coups-minute (rayons cosmiques, radioactivité ambiante) jusqu'à la saturation du compteur, qui se produit vers 10 000 coups-seconde pour un tube de 5 cm<sup>2</sup> de surface utile. L'autre appareil est un détecteur type DRP II, également portatif, alimenté par magnéto (encore qu'il en existe une version à alimentation par pile et vibreur et une par secteur), mesurant 17x10x14 cm et pesant 2 kg. L'observation peut être faite au casque, par lampe clignotante et par lecture d'un galvanomètre intégrateur. (Appareils et documents PROGREL.)



Ci-dessus : Pendant la manipulation de radioéléments (derrière un écran de plomb), un appareil de détection est employé pour déterminer la quantité de rayonnement à laquelle ont été soumis les expérimentateurs (Document PHILIPS INDUSTRIE).

Ci-contre : Sonde à scintillation (cristal transformateur de rayonnement + photomultiplicateur + préamplificateur) et ensemble de mesure de laboratoire (alimentation de la sonde + amplificateur linéaire + sélecteur + échelle de 1 000) de MESCO.



sion » peut ainsi être élevé jusqu'à 300 °C), la polymérisation de l'éthylène gazeux à basse pression, la chloruration d'hydrocarbures aromatiques.

#### b) Mélanges.

Le plus souvent, la production d'un produit fini se fait en discontinu à partir de préparations séparées. Il est important de savoir comment chacune de ces préparations se répartit dans le produit fini. On peut aisément ajouter à l'une d'entre elles un produit radioactif (ayant de préférence une période n'excédant pas quelques jours, afin d'éviter une contamination durable) et suivre avec un détecteur le passage de la radioactivité dans le produit fini. Dans ce type d'application, chaque cas doit être envisagé séparément afin de déterminer si la méthode par radioactivité est possible (calcul de l'activité totale à utiliser, protection possible, etc...).

#### c) Origine du soufre dans les cokes [3].

Il est important pour la sidérurgie de pouvoir disposer de coke métallurgique sans soufre. On ne savait pas si celui-ci provenait des pyrites ou du soufre combiné avec des matières organiques. De la pyrite radioactive fut synthétisée avec du soufre 35 et mélangée au charbon. La radioactivité du gaz dégagé et du coke produit a été mesurée et il a été possible de cette manière de montrer que le soufre restant dans le coke provenait des deux origines possibles.

d) Action du thiosulfate d'ammonium sur le brillant des dépôts électrolytiques d'argent.

L'addition de thiosulfate d'ammonium aux bains électrolytiques

destinés au dépôt d'argent rend celui-ci plus brillant. Afin de déterminer si le thiosulfate était présent dans ce dépôt, une certaine quantité de ce produit fut marqué avec du soufre 35 ; après électrolyse, il a été possible de montrer que le dépôt d'argent est effectivement radioactif ; le thiosulfate empêche vraisemblablement la formation de gros cristaux d'argent [4].

Ces quelques exemples montrent tout l'intérêt que peuvent présenter les radioéléments dans des domaines divers. Les règles de sécurité à observer pour leur manipulation sont simples (ne pas dépasser une dose de rayonnement externe de 300 mr par semaine, éviter toute ingestion de ces produits) et le prix de revient de leur utilisation comparable et souvent inférieur à celui des autres méthodes.

Leur emploi constitue un outil de travail qu'il ne faut pas négliger.

P. LÉVÊQUE.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] Jacobs, Robert B. and Lloyd G. Lewis : *The Oil and Gas Journal*, 52, 128-33 (1953) ;
- [2] Voice E.W., Bell E.B., Gledhill P.K. : *J. Iron Steel Inst.*, 177, part 4, 423-427 (1954) ;
- [3] Eaton S.E., R.W. Hyde and B.S. Old : *Metals technology*, 15, 7, publication technique 2453 (1948) ;
- [4] Eaton S.E., R.W. Fabian and E.H. Nexton : *Metal Finishing*, 50, 63-64 (1952).

# LES AMPLIFICATEURS

# MAGNÉTIQUES

(Suite des trois premiers numéros)

## Bases du calcul d'un amplificateur magnétique simple

Lorsqu'on se propose de calculer un amplificateur magnétique simple, à inductances, conforme par exemple au croquis de la figure 39, les données dont on dispose généralement sont :

- a. — La puissance de sortie  $P_{max}$  lorsque le signal de commande atteint sa valeur maximum ;
- b. — La puissance de sortie  $P_{min}$  lorsque le signal de commande est nul (« marche à vide ») ;
- c. — La résistance ohmique de la charge  $R_c$  ;
- d. — La résistance inductive de la charge  $X_c$  ;
- e. — Le courant maximum  $I_e$ , ou la puissance maximum  $P_e$ , à l'entrée de l'amplificateur, c'est-à-dire du côté du circuit de commande.

En dehors de cela, nous introduirons, pour les calculs qui vont suivre, les notations suivantes :

- $U_a$  — tension de la source à courant alternatif (alimentation) ;
- $r$  — résistance ohmique des enroulements à courant alternatif  $n_a$  ;
- $kX_a$  — résistance inductive des enroulements à courant alternatif  $n_a$  ;

Dans ces conditions, l'expression de la puissance de sortie, lorsque le signal de commande atteint sa valeur maximum, sera

$$P = \frac{U_a^2}{Z_a^2} R_c = \frac{U_a^2 R_c}{(R_c + r)^2 + (X_c + kX_a)^2} = \frac{U_a^2 R_c}{X_a} \cdot \frac{X_a}{(R_c + r)^2 + (X_c + kX_a)^2} \quad (18)$$

Lorsque le signal de commande est nul (marche à vide) nous avons  $k = 1$ , tandis que lorsque ce signal est maximum  $k < 1$ . En d'autres termes, le coefficient  $k$  définit la diminution de la résistance inductive des enroulements à courant alternatif lorsque le courant de commande (suraimantation) est maximum. La valeur de  $k$  doit être trouvée en se basant sur les données du calcul.

Nous pouvons transformer la relation (18) en exprimant d'une façon différente le rapport  $U_a^2/X_a$ . En effet, lorsque le signal de commande est nul nous pouvons admettre, sans trop d'erreur, que  $U_a = E_a$ , en désignant par  $E_a$  la f.e.m. des enroulements à courant alternatif. Il en résulte

$$U_a = E_a = 4,44 f n_a S B_{max} \cdot 10^{-8} \quad (19)$$

Par ailleurs, puisque nous avons

$$X_a = \omega L = 2 \pi f \frac{0,4 \pi n_a^2 S \mu_{eff}}{1 \cdot 10^9} \quad (20)$$

il vient

$$\frac{U_a^2}{X_a} = 2,5 f V_f \frac{B_{max}^2}{\mu_{eff}} \cdot 10^{-8} \quad (21)$$

Dans ces relations nous avons :

$B_{max}$  — valeur maximum de l'induction dans le régime de la marche à vide ;

$\mu_{eff}$  — valeur efficace de la perméabilité, également dans le régime de la marche à vide. Rappelons que l'expression de la perméabilité efficace est définie par le rapport

$$\mu_{eff} = \frac{B_{eff}}{H_{eff}}$$

où  $B_{eff}$  (valeur efficace de l'induction, en gauss) et  $H_{eff}$  (valeur efficace de l'intensité du champ, en oersteds) sont donnés par les relations :

$$B_{eff} = \frac{U_a \cdot 10^8}{4,44 f n_a S}$$

par W. SOROKINE

$$\text{et } H_{eff} = \frac{\sqrt{2} \cdot 0,4 \pi n_a I_a}{1}$$

$n_a$  — nombre total de spires des enroulements à courant alternatif ;

$S$  — section, en  $cm^2$ , de la branche externe du noyau ;

$l$  — longueur moyenne, en  $cm$ , du circuit magnétique pour la composante alternative du flux magnétique ;

$V_f$  — volume du fer, en  $cm^3$ , représentant celui du noyau sans branche médiane.

Les équations (18) et (21) nous permettent alors d'écrire l'expression suivante pour la puissance de sortie :

$$P = 2,5 f V_f \frac{B_{max}^2}{\mu_{eff}} \times \frac{R_c X_a \cdot 10^{-8}}{(R_c + r)^2 + (X_c + kX_a)^2} \quad (22)$$

Calculons la valeur de  $X_a$  pour laquelle la puissance de sortie est maximum. Pour cela, en prenant  $X_a$  comme variable, on forme la dérivée de l'équation (22), et en cherchant la valeur de  $X_a$  qui l'annule, on trouve

$$X_a = \frac{\sqrt{(R_c + r)^2 + X_c^2}}{k} \quad (23)$$

L'expression (18) prend alors l'aspect suivant, pour  $P_{max}$ ,

$$P_{max} = \frac{U_a^2 R_c}{2 \left[ (R_c + r)^2 + X_c^2 + X_c \sqrt{(R_c + r)^2 + X_c^2} \right]} = \frac{U_a^2 R_c}{2 (k^2 X_a^2 + k X_a X_c)} \quad (24)$$

De cette relation nous pouvons déduire le courant  $I_{max}$  dans la charge lorsque le signal de commande est maximum, car

$$I_{max}^2 = \frac{U_a^2}{2 (k^2 X_a^2 + k X_a X_c)}$$

c'est-à-dire

$$I_{\max} = \frac{U_a}{\sqrt{2(k^2 X_a^2 + k X_a X_c)}} \quad (25)$$

La puissance dissipée dans la charge en régime de marche à vide, c'est-à-dire en absence de tout signal de commande, sera

$$P_{\min} = I_{\min}^2 R_c = \frac{U_a^2 R_c}{(R_c + r)^2 + (X_c + X_a)^2} = \frac{U_a^2 R_c}{(1 + k^2) X_a^2 + 2 X_c X_a} \quad (26)$$

où le courant  $I_{\min}$  de marche à vide, obtenu en tenant compte de la valeur de  $X_a$  tirée de l'expression (23) sera

$$I_{\min} = \frac{U_a}{\sqrt{(1 + k^2) X_a^2 + 2 X_c X_a}} \quad (27)$$

Nous pouvons maintenant donner une expression plus précise de la relation (19), car la f.e.m.  $E_a$ , induite dans les enroulements à courant alternatif en régime de marche à vide, est en réalité

$$E_a = I_{\min} X_a = \frac{U_a}{\sqrt{(1 + k^2) + 2 \frac{X_c}{X_a}}} \quad (28)$$

d'où nous tirons

$$U_a = E_a \sqrt{(1 + k^2) + 2 \frac{X_c}{X_a}}$$

Par conséquent, l'expression (19) prend l'aspect suivant :

$$U_a = 4,44 f n_a S B_{\max} \cdot 10^{-8} \times \sqrt{(1 + k^2) + 2 \frac{X_c}{X_a}} \quad (29)$$

Si nous négligeons  $r$  (résistance ohmique des enroulements à courant alternatif) par rapport à  $R_c$ , l'expression (22) peut se simplifier, et la puissance à la sortie, dans les conditions de rendement maximum, c'est-à-dire pour

$$X_a = \frac{\sqrt{R_c^2 + X_c^2}}{k}$$

devient

$$P_{\max} = 1,25 f V_f \frac{B_{\max}^2}{k \mu_{eff}} \times \frac{R_c}{Z_c + X_c} \cdot 10^{-8} \quad (30)$$

où

$$Z_c = \sqrt{R_c^2 + X_c^2}$$

En tenant compte de ce que  $R_c = Z_c \cos \varphi_c$  et  $X_c = Z_c \sin \varphi_c$ , l'expression de la puissance de sortie prend la forme suivante :

$$P_{\max} = 1,25 f V_f \frac{B_{\max}^2}{k \mu_{eff}} \times \frac{\cos \varphi_c}{1 + \sin \varphi_c} \cdot 10^{-8} \quad (31)$$

## Méthode de calcul

En partant des équations (23), (24) et (26) nous déterminons la valeur du coefficient

Novembre-Décembre 1955

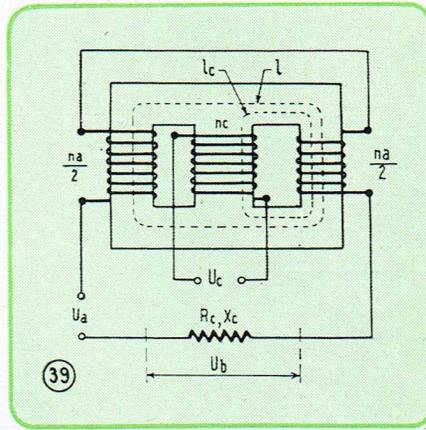


Fig. 39. — Schéma général d'un amplificateur magnétique à inductance, et indication des différentes grandeurs intervenant dans les calculs.

$k$  en tenant compte des données imposées :

$$k = \frac{X_c P_{\min} + \sqrt{X_c^2 P_{\min}^2 + Z P_{\min} [Z (2 P_{\max} - P_{\min}) + 2 X_c P_{\max}]}}{Z (2 P_{\max} - P_{\min}) + 2 X_c P_{\max}} \quad (32)$$

en posant

$$Z = \sqrt{(R_c + r)^2 + X_c^2}$$

On prend généralement  $r = 0,05 R_c$  à  $0,1 R_c$ .

Ayant déterminé la valeur du coefficient  $k$ , nous calculons la valeur optimum de  $X_a$  d'après l'équation (23). Ensuite, à l'aide de la relation (30), nous pouvons calculer le volume du fer  $V_f$ , car dans cette

relation nous connaissons tous les facteurs à l'exception de  $B_{\max}$ . Or, nous pouvons imposer d'avance cette valeur dans les limites de 8 000 à 10 000 gauss pour de la tôle à transformateurs normale, et de 3 000 à 5 000 gauss pour du permalloy.

Pour la valeur choisie de  $B_{\max}$ , et à l'aide des courbes d'aimantation telles que celles de la figure 40, nous trouvons la valeur correspondante de  $\mu_{eff}$  pour le régime de marche à vide, c'est-à-dire en absence de toute suraimantation (courant  $I_c$  dans le circuit de commande nul).

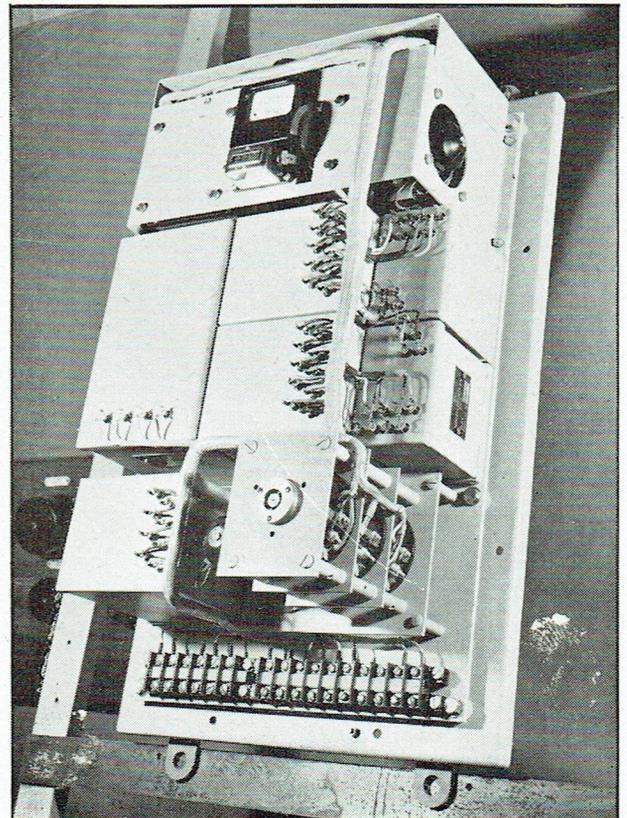
En portant les valeurs de  $B_{\max}$  et le  $\mu_{eff}$  ainsi déterminées dans l'équation (30) nous trouvons le volume du fer  $V_f$  et en déduisons les dimensions du noyau, puisque  $V_f = S l$ .

La tension d'alimentation  $U_a$  se déduit de l'équation (18) ou de l'équation (24), tandis que le nombre de spires  $n_a$  nous sera donné par la relation (29).

Pour le calcul du circuit de commande  $n_c$  nous devons déterminer la valeur de l'induction et de la perméabilité magnétiques correspondant au régime de suraimantation maximum (signal de commande maximum). Dans ce régime, en effet, lorsque l'intensité  $H_c$  du champ dû à la suraimantation (déterminée par le courant continu  $I_c$ ) est maximum, l'induction magnétique diminue et prend une certaine valeur



Un Débitmètre composé d'un ensemble d'amplificateurs magnétiques et effectuant, simultanément, la mesure de deux grandeurs (poids et vitesse), qui sont ensuite multipliées et intégrées, donnant ainsi le débit d'un convoyeur quelconque : à courroie, à tapis ou à chaîne. (Réalisation Brion-Leroux).



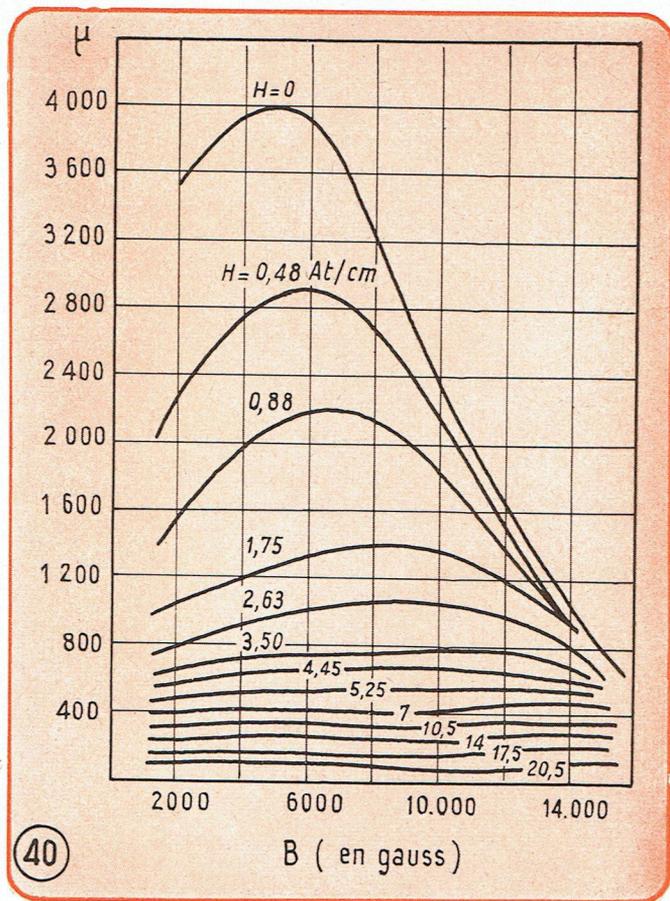


Fig. 40. — Réseau de courbes d'aimantation: perméabilité en fonction de l'induction, valable pour des circuits magnétiques réalisés avec des tôles à transformateurs normales, à la fréquence de 50 Hz. Ces courbes ont été relevées à partir d'un circuit magnétique en tôles  $a = 15$  et  $m = 6,45$  du tableau ci-après.

## Exemple de calcul d'un amplificateur magnétique simple

On demande, par exemple, de calculer un amplificateur magnétique à inductance, suivant le schéma général de la figure 39, et on impose :

- Courant de sortie maximum :  $I_{\max} = 0,1 \text{ A}$  ;
- Tension aux bornes de la charge :  $U_b = 200 \text{ V}$  ;
- Facteur de puissance de la charge :  $\cos \varphi_c = 0,75$  ;
- Fréquence de travail :  $f = 50 \text{ Hz}$  ;
- Courant de marche à vide :  $I_{\min} = 0,1 I_{\max}$  ;
- Courant de commande maximum :  $I_c = 0,05 \text{ A}$ .

### Il s'agit de calculer :

- les dimensions du circuit magnétique (noyau) ;
- le nombre de spires des enroulements à courant alternatif,  $n_a$  ;
- le nombre de spires des enroulements à courant continu,  $n_c$  ;
- la tension de la source d'alimentation,  $U_a$  ;
- la tension maximum du circuit de commande,  $U_c$  ;
- le coefficient d'amplification en puissance,  $K_p$ .

Les différents calculs s'effectueront dans l'ordre suivant:

#### 1. — Puissance de sortie pour le signal de commande maximum :

$$P_{\max} = U_b I_{\max} \cos \varphi_c = 200 \cdot 0,1 \cdot 0,75 = 15 \text{ watts.}$$

#### 2. — Résistance ohmique de la charge.

$$R_c = \frac{P_{\max}}{I_{\max}^2} = \frac{15}{(0,1)^2} = 1500 \text{ ohms.}$$

#### 3. — Résistance inductive de la charge.

$$X_c = \sqrt{Z_c^2 - R_c^2} = \sqrt{2000^2 - 1500^2} = 1325 \text{ ohms,}$$

puisque

$$Z_c = \frac{U_b}{I_{\max}} = \frac{200}{0,1} = 2000 \text{ ohms.}$$

#### 4. — Puissance minimum (marche à vide).

$$P_{\min} = I_{\min}^2 R_c = (0,01)^2 \cdot 1500 = 0,15 \text{ watt.}$$

#### 5. — Valeur du coefficient $k$ , que l'on tirera de l'équation (32) dans laquelle nous aurons

$$Z = \sqrt{(1500 + 150)^2 + 1325^2} = 2115 \text{ ohms,}$$

en admettant que

$$r = 0,1 R_c = 150 \text{ ohms.}$$

Par conséquent, en portant cette valeur de  $Z$  dans l'équation (32) nous obtenons, après les différentes opérations et simplifications,

$B_{\min}$ , car la tension aux bornes des enroulements  $n_a$  diminue également.

Pour déterminer la valeur de  $B_{\min}$  lorsque le signal de commande est maximum on peut utiliser la relation

$$\frac{B_{\min}}{B_{\max}} = \frac{E_a}{E_b} \quad (33)$$

où  $E_a$  est la f.e.m. induite dans les enroulements à courant alternatif en régime de marche à vide, tandis que  $E_b$  est la f.e.m. qui s'y trouve induite lorsque le signal de commande est maximum. En tenant compte des relations établies plus haut nous trouvons

$$E_b = I_{\max} \cdot k X_a = \frac{U_a}{\sqrt{2 + \frac{2 X_c}{k X_a}}} \quad (34)$$

où  $I_{\max}$  est le courant dans la charge lorsque le signal de commande est maximum, valeur que nous tirons de la relation (25). En portant dans la relation (33) les valeurs de  $E_a$  et  $E_b$ , tirées des expressions (28) et (34) nous obtenons

$$B_{\min} = B_{\max} \sqrt{\frac{(1 + k^2) X_a + 2 X_c}{2 \left( \frac{X_c}{k} + X_a \right)}} \quad (35)$$

La perméabilité magnétique, lorsque le signal de commande est maximum, est

$$\mu_b = k \mu_{\text{eff}} \quad (36)$$

L'intensité du champ de suraimantation

$H_c$ , créée par la force magnétomotrice de l'enroulement de commande (ampère-tours) lorsque le signal correspondant est maximum, peut être déterminée à l'aide d'une courbe  $\mu = f(B)$  de la figure 40, passant par le point dont les coordonnées sont  $B_{\min}$  et  $\mu_b$ .

Il est prudent d'augmenter de 15 % à 20 % la valeur de  $H_c$  ainsi déterminée, car les caractéristiques des matériaux magnétiques sont toujours établies en fonction d'une induction à variation sinusoïdale (c'est-à-dire lorsque la tension aux bornes de l'inductance est sinusoïdale) et non pas en fonction de la courbe réelle (déformée) que l'on obtient avec un amplificateur magnétique.

Le calcul de l'enroulement de commande est basé sur l'expression de la force magnétomotrice suivante

$$I_c n_c = H_c l_c,$$

où  $l_c$  est la longueur moyenne, en cm, du circuit magnétique pour la composante continue du champ magnétique.

Si la valeur  $l_c$  du courant de commande, pour laquelle la puissance de sortie de l'amplificateur est maximum, nous est donnée, le nombre de spires de l'enroulement de commande est, évidemment,

$$n_c = \frac{H_c l_c}{I_c}$$

$$k = \frac{198,75 + \sqrt{3,95 \cdot 10^4 + 317,5(6,315 \cdot 10^4 + 3,95 \cdot 10^4)}}{6,315 \cdot 10^4 + 3,95 \cdot 10^4} = 0,058 \text{ très sensiblement.}$$

6. — Résistance inductive de l'enroulement à courant alternatif ( $n_a$ ), que nous tirons de l'équation (23)

$$X_a = \frac{Z}{k} = \frac{2115}{0,058} = 36\,600 \text{ ohms.}$$

7. — Nous choisissons alors une valeur de l'induction magnétique telle que  $B_{\max} = 9000$  gauss, ce qui correspond, d'après la courbe de la figure 40, à une perméabilité  $\mu_{\text{eff}} = 2800$ .

8. — Volume actif du noyau, qui nous est donné par l'équation (30), dont nous tirons

$$V_r = 107,5 \text{ cm}^3, \text{ très sensiblement.}$$

9. — Nous pouvons admettre que tout noyau magnétique classique ayant la forme générale de la figure 41 peut être défini en exprimant ses différentes dimensions en fonction de la largeur  $\alpha$  d'une branche latérale, ce qui nous donne

$$h = m\alpha; \quad 2b = n\alpha;$$

$$c = p\alpha; \quad d = g\alpha.$$

En admettant  $c = d$  (section carrée de la branche centrale), nous calculons le volume du noyau sans branche centrale

$$V_r = 2\alpha c (h + 2b - 2\alpha) f_t = 2\alpha^3 g (m + n - 2) f_t,$$

où  $f_t$  est le coefficient de foisonnement des tôles.

La valeur de  $\alpha$ , ainsi que celle des coefficients  $m$ ,  $n$  et  $g$  nous est donnée par le tableau suivant pour un certain nombre de tôles de dimensions moyennes, courantes sur le marché français.

$\alpha$ (en mm)	$m$	$n$	$g$
11	6,8	6,8	1,91
12,5	5	6	2
12,5	7,2	6,2	2
12,5	7,2	7,2	2
14	5	6	2
14	7,1	7,1	2
14	6,15	6,15	1,71
15	6,45	7,3	2
15	8,1	6,7	2
15	6,9	6,9	2
18	6,95	6,95	2,1

On remarquera que pour presque toutes les tôles carrées ( $h = 2b$ ) la valeur des coefficients  $m$  et  $n$  est du même ordre de grandeur, de sorte que nous pouvons prendre une moyenne,

$$m = n = 6,95$$

et porter cette valeur, ainsi que  $g = 2$ , dans la relation donnant  $V_r$ . Il vient, en prenant  $f_t = 0,9$ , valeur qui convient pour des tôles de 0,35 mm d'épaisseur,

$$V_r = 4\alpha^3 \cdot 11,9 \cdot 0,9 = 42,8\alpha^3.$$

Comme, par ailleurs, nous avons  $V_r = 107,5 \text{ cm}^3$ , on obtient

$$\alpha^3 = \frac{107,5}{42,8} = 2,51,$$

d'où

$$\alpha = \sqrt[3]{2,51} = 1,36 \text{ cm} = 13,6 \text{ mm}$$

On prendra donc les tôles définies, dans le tableau ci-dessus, par les coefficients suivants :

$$\alpha = 14; \quad m = n = 7,1; \quad g = 2.$$

10. — Calculons maintenant la longueur moyenne du circuit magnétique pour la composante alternative du flux ( $l$ ). Exprimée en cm, cette longueur nous est donnée par la relation suivante :

$$l = 2(h - \alpha) - 2(2b - \alpha) = 2\alpha(m + n - 2).$$

En portant dans cette relation les valeurs des coefficients correspondant à la tôle choisie nous obtenons :

$$l = 2,8 \cdot 12,2 = 34,16 \text{ cm.}$$

11. — Cela nous permet de calculer la section  $S$  de la branche latérale du circuit magnétique, puisque

$$S = \frac{V_r}{l} = \frac{107,5}{34,16} = 3,15 \text{ cm}^2.$$

12. — Il en résulte que l'épaisseur  $c$  du circuit sera, en tenant compte du coefficient de foisonnement défini plus haut,

$$c = \frac{S}{\alpha \cdot f_t} = \frac{3,15}{1,26} = 2,5 \text{ cm.}$$

13. — Tension de la source d'alimentation ( $U_a$ ), qui nous est donnée par l'équation (18) dont nous tirons

$$U_a = \sqrt{\frac{P_{\max} Z_a^2}{R_c}}$$

en rappelant que

$$Z_a^2 = (R_c + r)^2 + (X_c + kX_a)^2.$$

En remplaçant les lettres par les valeurs données, ou calculées plus haut, nous obtenons

$$U_a = 380 \text{ volts très sensiblement.}$$

14. — Nombre total de spires de l'enroulement à courant alternatif, que nous tirons immédiatement de la relation (29), qui nous donne

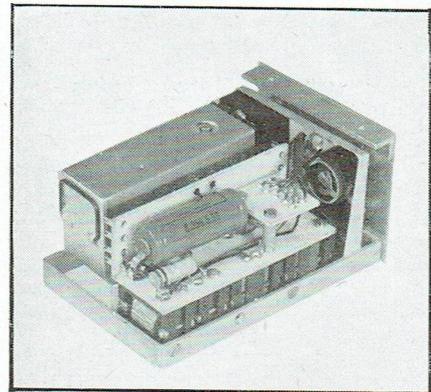
$$n_a = \frac{380 \cdot 10^8}{6,290 \cdot 10^6 \sqrt{1 + 0,0035 + 0,0724}} = 5800 \text{ spires environ.}$$

15. — Calculons maintenant la surface de la fenêtre du noyau, qui est

$$Q = s \cdot t = (h - 2\alpha) 0,5 (2b - 2\alpha - d) = 0,5 \alpha^2 (m - 2) (n - g - 2) = 0,98 \cdot 5,1 \cdot 3,1 = 15,5 \text{ cm}^2,$$

avec les dimensions, respectivement,

$$s = h - 2\alpha = \alpha (m - 2) = 7,07 \text{ cm};$$



On réalise couramment des amplificateurs magnétiques alimentés à partir d'une source alternative à fréquence de 400 à 600 Hz. L'appareil ci-dessus est un amplificateur magnétique fabriqué par LEGPA et prévu pour fonctionner sur 400 Hz.

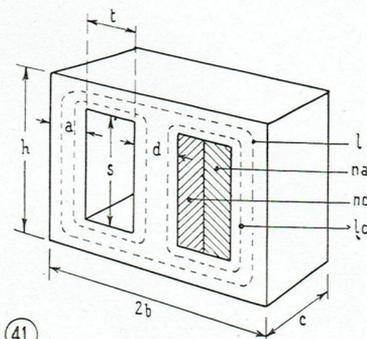
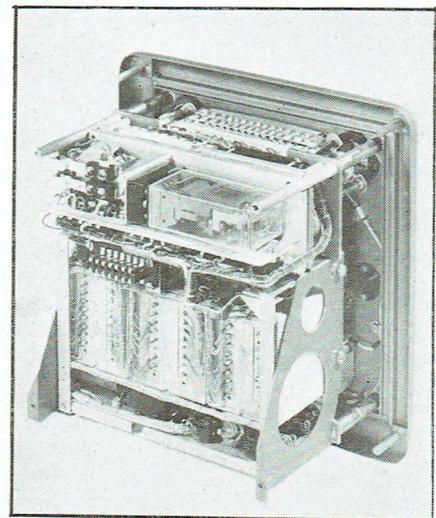


Fig. 41. — Dimensions d'un circuit magnétique intervenant dans les calculs développés, et emplacement des différents enroulements.



Vue intérieure d'un régulateur automatique de température « Servotherm » utilisant des amplificateurs magnétiques. La gamme d'emploi de cet appareil s'étend de  $-100^\circ$  à  $+1500^\circ$  et la précision de déclenchement est de l'ordre de  $\pm 0,5^\circ$  à  $\pm 1^\circ$ . Le relais de commande peut couper 5 A sous 220 V. (Réalisation LEGPA).

$$t = 2b - 2a - d = 0,5 \alpha (n - g - 2) = 1,17 \text{ cm.}$$

16. — La section du fil pour l'enroulement à courant alternatif est donnée par la relation

$$q_a = \frac{Q s_{ma} n_a}{r}$$

où  $Q$  est la résistivité du cuivre (0,0175), exprimée en  $\mu\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ , et  $s_{ma}$  est la longueur moyenne de la spire de l'enroulement considéré, exprimée en mètre. Nous admettons que  $s_{ma} = 11,2 \text{ cm}$ , soit 0,112 m. Il en résulte

$$q_a = \frac{0,0175 \cdot 0,112 \cdot 5800}{150} = \frac{11,38}{150} = 0,0754 \text{ mm}^2.$$

En consultant les tableaux de fils nous voyons que cette section correspond d'assez près à un diamètre de 0,31 mm (31/100).

17. — Contrôlons ces calculs en s'assurant que la densité du courant dans cet enroulement reste dans les limites admissibles.

Cette densité nous est donnée par la relation

$$\delta = \frac{I_{\max}}{q_a} = \frac{0,1}{0,075} = 1,33 \text{ A/mm}^2,$$

valeur tout à fait correcte même pour un fonctionnement continu.

18. — La surface occupée par l'une des moitiés de l'enroulement à courant alternatif, bobinée autour de l'une des branches latérales du noyau est

$$Q_a = \frac{0,5 n_a q_a}{f_a}$$

où  $f_a$  est le coefficient de foisonnement du fil, que nous fixons à 0,35.

Cela nous donne

$$Q_a = \frac{2,9 \cdot 10^3 \cdot 7,5 \cdot 10^{-2}}{3,5 \cdot 10^{-1}} = \frac{2175}{3,5} = 621 \text{ mm}^2.$$

19. — Il nous reste, pour loger l'enroulement de commande, à courant continu,

$$Q_c = Q - Q_a = 15,5 - 6,21 = 9,29 \text{ cm}^2.$$

20. — La valeur minimum de l'induction magnétique,  $B_{\min}$ , lorsque le signal de commande est maximum, nous est donnée par l'équation (35) dont nous tirons, après calcul,

$$B_{\min} = 0,58 B_{\max} = 5200 \text{ gauss.}$$

21. — La perméabilité magnétique  $\mu_b$ , lorsque le signal de commande est maximum, nous est donnée par la relation (36), et nous obtenons

$$\mu_b = 0,058 \cdot 2800 = 162.$$

22. — L'intensité du champ dû à la suraimantation ( $H_c$ ), correspondant à l'induction  $B_{\min} = 5200 \text{ gauss}$  et à la perméabilité  $\mu_b = 162$ , est obtenue à l'aide de courbes de la figure 40, ce qui nous donne 20 ampère-tours par cm, très sensiblement. Nous augmentons cette valeur de 15 %, pour des raisons exposées plus haut, et obtenons

$$H_c = 20 \cdot 1,15 = 23 \text{ At/cm.}$$

23. — La force magnétomotrice de l'enroulement de commande sera

$$I_c n_c = H_c l_c = 23 \cdot 25,6 = 590,$$

où la longueur  $l_c$  (longueur moyenne du circuit magnétique pour la composante continue) est calculée par la relation suivante

$$l_c = 2(h - a) + 2b - a = (2m + n - 3)$$

ce qui nous donne, pour la tôle choisie

$$l_c = 1,4 \cdot 18,3 = 25,6 \text{ cm.}$$

24. — Nous pouvons maintenant calculer le nombre de spires  $n_c$  de l'enroulement de commande, puisque le courant maximum imposé est  $I_c = 0,05 \text{ A}$ . Il vient

$$n_c = \frac{590}{0,05} = 11800 \text{ spires.}$$

25. — La section du fil de l'enroulement de commande sera

$$q_c = \frac{Q_c \cdot f_c}{n_c}$$

où nous adoptons le même coefficient de foisonnement que précédemment, c'est-à-dire  $f_c = f_a = 0,35$ . Il en résulte, puisque  $Q_c = 9,29 \text{ cm}^2 = 929 \text{ mm}^2$ ,

$$q_c = \frac{929 \cdot 0,35}{11800} = 0,0275 \text{ mm}^2,$$

section qui nous fait choisir, dans les tableaux de fils, le diamètre de 0,18 mm

(18/100) qui, lui, correspond à une section de 0,0255 mm<sup>2</sup>.

26. — Contrôlons le calcul en déterminant la densité du courant qui en résulte :

$$\delta = \frac{I_c}{q_c} = \frac{0,05}{0,0255} = 1,96 \text{ A/mm}^2,$$

chiffre encore admissible pour un fonctionnement continu.

27. — La résistance ohmique de l'enroulement de commande sera

$$R_c = \frac{Q s_{mc} n_c}{q_c}$$

où  $s_{mc}$  est la longueur moyenne de la spire de l'enroulement considéré, que nous fixons à  $s_{mc} = 14 \text{ cm}$ . Il en résulte

$$R_c = \frac{2,89}{0,0255} = 1130 \text{ ohms.}$$

28. — La tension maximum du circuit de commande sera

$$U_c = I_c \cdot R_c = 0,05 \cdot 1130 = 56,6 \text{ volts.}$$

29. — La puissance consommée par le circuit de commande sera

$$P_c = 56,6 \cdot 0,05 = 2,83 \text{ watts.}$$

30. — Le coefficient d'amplification en puissance, sans tenir compte de la puissance de marche à vide, sera

$$K_p = \frac{P_{\max}}{P_c} = \frac{15}{2,83} = 5,3.$$

En tenant compte de la puissance de marche à vide nous aurons

$$K_p = \frac{P_{\max} - P_{\min}}{P_c} = \frac{15 - 0,15}{2,83} = 5,25.$$

Ainsi se termine ce calcul, un peu long, mais toujours simple, dont on peut s'inspirer pour d'autres cas analogues.

W. SOROKINE.

#### BIBLIOGRAPHIE

En dehors des sources déjà indiquées dans le premier article de cette série, les calculs ci-dessus ont été adaptés de l'ouvrage **Eléments des systèmes de servo-commande**, par S.L. Popkoff (U.R.S.S., 1955).

## S.O.S. N° 1... S.O.S. N° 2... S.O.S. N° 3

Dans le présent numéro (p. 178), nos lecteurs intéressés par l'équipement électronique de leur atelier trouveront la réponse d'un technicien rompu à la pratique de l'électricité automobile. Nous publierons prochainement la communication de l'un de nos collaborateurs bénévoles sur le réglage des volants magnétiques par un procédé stroboscopique exigeant un appareil de réalisation aisée.

Au sujet de notre S.O.S. n° 2, nous informons les intéressés que nous publierons prochainement une étude sur le contrôle, en cours de fabrication, du centrage d'un conducteur sous isolant plastique par un procédé non destructif. Réalisé industriellement, ce dispositif résout le problème posé et constitue une élégante application de l'électronique à la vérification en usine des fils isolés.

Et voici notre S.O.S. n° 3 : Un de nos nombreux lecteurs parisiens, M. A. SAVORET, nous pose la question suivante : Comment exécuter en série le contrôle de condensateurs (céramique, mica, polystyrol) de valeur comprise entre 2 et 800 pF. La vérification doit, en une seule opération, rejeter toute pièce, dont la tolérance dépasse une valeur déterminée et dont la tangente  $\delta$  est supérieure à une valeur fixée. Elle doit pouvoir être effectuée par un personnel non qualifié. Un contrôle automatique serait souhaitable.

Nous sommes persuadés que cet appel nous vaudra des communications du plus grand intérêt.

# Les CONDENSATEURS au POLYSTYROL

## Introduction

Il n'est pas vain d'affirmer que la recherche de la sécurité de fonctionnement, dans le domaine de l'électronique industrielle comme dans celui des télécommunications, a orienté les efforts des fabricants vers un accroissement de la qualité des pièces détachées. Ces éléments constitutifs, soumis à des influences multiples : variations atmosphériques et climatiques, vibrations, etc..., doivent posséder des caractéristiques très précises et invariables dans le temps.

Parmi les pièces détachées, les condensateurs sont largement utilisés sous des formes diverses, correspondant à des exigences particulières : modèles au mica, à la céramique, au papier et au polystyrol. Nous nous proposons d'examiner les caractéristiques de ce dernier type, que plusieurs fabricants mettent à la disposition des utilisateurs.

## Le polystyrol

Le polystyrol est un produit de la polymérisation du styrène, liquide incolore transparent extrait des hydrocarbures. Il se présente sous la forme d'une masse solide, dure, transparente, qui commence à se ramollir à  $+ 85^{\circ}\text{C}$  et se dépolymérise à  $+ 320^{\circ}\text{C}$ .

Ce corps de densité 1,05 n'absorbe pratiquement pas l'eau. Sa constante diélectrique est de 2,4 à 2,7, sa résistivité atteint  $10^{11}$  à  $10^{13}$   $\text{M}\Omega/\text{cm}$  et sa résistivité de surface, après une immersion de 24 h dans l'eau, est de l'ordre de  $3.10^{10}$   $\text{M}\Omega/\text{cm}^2$ .

Ces caractéristiques, auxquelles il convient d'ajouter le très faible coefficient de dilatation linéaire de  $8$  à  $10.10^{-5}$  par  $^{\circ}\text{C}$ , semblaient le destiner à être utilisé comme un excellent diélectrique. Mais sa faible élasticité : allongement à la rupture de 4 %, le rendait impropre à toute tentative de fabrication en feuilles, et l'addition de plastifiants lui faisait perdre ses propriétés diélectriques.

De nombreux travaux démontrèrent que le fait d'étirer le polystyrol augmentait considérablement son élasticité. On fabriqua alors, par extrusion, des tubes que l'on soumit simultanément à des étirages transversaux et longitudinaux. La découpe des tubes étirés, suivant deux génératrices, permit d'obtenir deux feuilles. Il convient de noter que ce procédé d'étirage conduit à un allongement des molécules qui se présentent, non plus sous la forme ronde primitive, mais sous celle de véritables tiges orientées. Le polystyrol cassant est transformé en feuilles flexibles, légèrement élastiques et résistant à la traction.

Sous cette forme, le polystyrol est connu sous le nom de *Styrofoil* en Angleterre et de *Styroflex* en Allemagne, et se présente en feuilles dont l'épaisseur varie entre 6 et 20  $\mu$ . L'emploi du polystyrol comme diélectrique a été mis au point en Allemagne. Il a permis d'obtenir des caractéristiques remarquables : facteur de qualité, résistance d'isolement, stabilité dans le temps, insensibilité à l'humidité.

## Fabrication des condensateurs

La fabrication des condensateurs au polystyrol s'exécute, comme celle des modèles au papier, sur des machines à bobiner spécialement conçues pour ce travail. Elles sont

équipées avec un appareil de mesure permettant, en cours de bobinage, de contrôler la valeur de la capacité. En général, l'enroulement est arrêté lorsque la valeur de la capacité est inférieure de 1 à 2 % à celle que l'on désire obtenir.

Le bobinage est étuvé à une température déterminée. Il se produit alors une lente contraction des feuilles de polystyrol, d'où un retour des molécules allongées vers leur forme ronde primitive. Cette contraction rend le bobinage indéformable et compact.

Les sorties sont exécutées par *soudure autogène* sur les armatures qui débordent les feuilles de diélectrique. La sécurité des connexions est excellente en H.F. pour des tensions très largement inférieures à 1 mV. Leur disposition réduit l'inductance propre du condensateur à une valeur généralement de l'ordre de 0,1  $\mu\text{H}$ . Notons toutefois que ce mode d'exécution des connexions n'est pas adopté par tous les fabricants.

Les condensateurs bobinés comportent, en plus de l'enroulement principal, des armatures supplémentaires qui, après cuisson, sont ajustées pour obtenir une faible tolérance sur la valeur nominale de la capacité. On atteint dans ces conditions  $\pm 0,5$  %.

## Présentation

Pour une même épaisseur de diélectrique, les condensateurs au polystyrol seraient deux fois plus volumineux que les condensateurs au mica. Mais lorsqu'ils sont soumis à des tensions relativement peu élevées, on peut utiliser des feuilles de polystyrol beaucoup plus minces que celles de mica. Le volume est, dès lors, équivalent à celui de ces derniers types.

La forme des condensateurs au polystyrol est généralement cylindrique. *L.T.T.* fabrique également des modèles annulaires, utilisés dans les compteurs de Geiger et des types plats, très intéressants dans nombre d'applications électroniques. *Siemens (Radiofil, importateur)* livre des modèles cylindriques à sorties sur le dessus, se fixant verticalement par une vis s'engageant dans le trou taraudé du boîtier isolant, jusqu'à 0,5  $\mu\text{F}$  ; il fournit également des condensateurs jumelés à 4 fils, sous boîtier unique, jusqu'à  $2 \times 50$  nF.

Dans la forme cylindrique, les condensateurs au polystyrol existent dans les variantes d'exécution suivantes :

- 1° Condensateurs type miniature, protégés par un revêtement en polystyrol ;
- 2° Condensateurs normaux, sous tube de polystyrol ou de polyéthylène scellé à chaud, sous pression ;
- 3° Condensateurs sous tube métallique, type étanche (*L.T.T.*). Ils sont établis, soit avec une armature reliée à la masse et l'autre à une cosse partiellement noyée dans une perle de verre, soit avec deux cosses isolées suivant le même procédé.

## Influence de la température

Les condensateurs au polystyrol, dont le coefficient de température *négligé* est de  $1,5$  à  $2.10^{-4}$  par  $^{\circ}\text{C}$ , peuvent être employés entre  $- 40$  et  $+ 70^{\circ}\text{C}$ .

La figure 1 montre l'influence de la température sur la résistance d'isolement, exprimée en  $M\Omega/\mu F$ , de condensateurs au papier, au mica et au polystyrol. On voit que, comparativement aux deux premiers types, le condensateur au polystyrol conserve une résistance d'isolement très élevée, variant de  $10^5$  à  $5.10^5 M\Omega/\mu F$  de  $-20$  à  $+30$  °C. Elle est encore d'au moins  $2,5.10^5$  à  $+50$  °C et de l'ordre de  $7.10^4 M\Omega/\mu F$  à  $+70$  °C.

La température influe également sur la valeur nominale de la capacité. La figure 2 indique, pour une série de cycles, la variation de cette valeur. On note que le condensateur au papier varie d'à peu près  $+0,5\%$  pour un seul cycle, et tend ensuite à se stabiliser à  $+0,6\%$  de sa valeur. Le condensateur au mica accuse également une variation positive, mais seulement de l'ordre de  $0,1\%$  après quatre à cinq cycles, et demeure ensuite stable. Le condensateur au polystyrol tend à la stabilisation, après quatre à cinq cycles, à  $-0,05\%$  de sa valeur nominale. Il s'agit là, bien entendu, d'essais dans des conditions particulièrement dures.

La variation dans le temps, pour des variations de température plus petites mais prolongées, affecte la capacité dans une faible mesure. Si l'on prend le nombre fixant la tolérance nominale en %, on peut considérer qu'il est susceptible de varier de moitié au bout d'un an, de 0,8 après deux ans ; sa variation n'excède pas 0,1 par an dans les années suivantes.

## Rigidité diélectrique

Les condensateurs au polystyrol peuvent être soumis à des tensions qu'il convient de définir :

1° La *tension de claquage* est celle qui provoque la détérioration de la pièce ;

2° La *tension d'essai de fabrication* est celle qui est appliquée en usine afin de déceler les défauts de rigidité. Le condensateur ne doit plus être soumis, ultérieurement, à cette tension ;

3° La *tension d'essai de contrôle* est celle qui doit être adoptée par l'utilisateur lors de la recette dans ses services d'essai. Elle doit être appliquée entre les deux armatures pendant une durée maximum de 4 secondes, à la température de  $+20$  °C. Il est possible d'effectuer l'essai en courant alternatif 50 Hz avec une tension efficace sinusoïdale égale à 0,7 fois la tension de contrôle en courant continu.

4° La *tension de service* est celle que le condensateur doit supporter en régime permanent et qui ne doit pas être dépassée. Elle est marquée de façon apparente sur le boîtier.

En général, les condensateurs au polystyrol sont livrés pour des valeurs de tension de service de 50, 250 et 500 V (L.T.T.), 125, 250 et 500 V (Capa et Siemens), 250 V

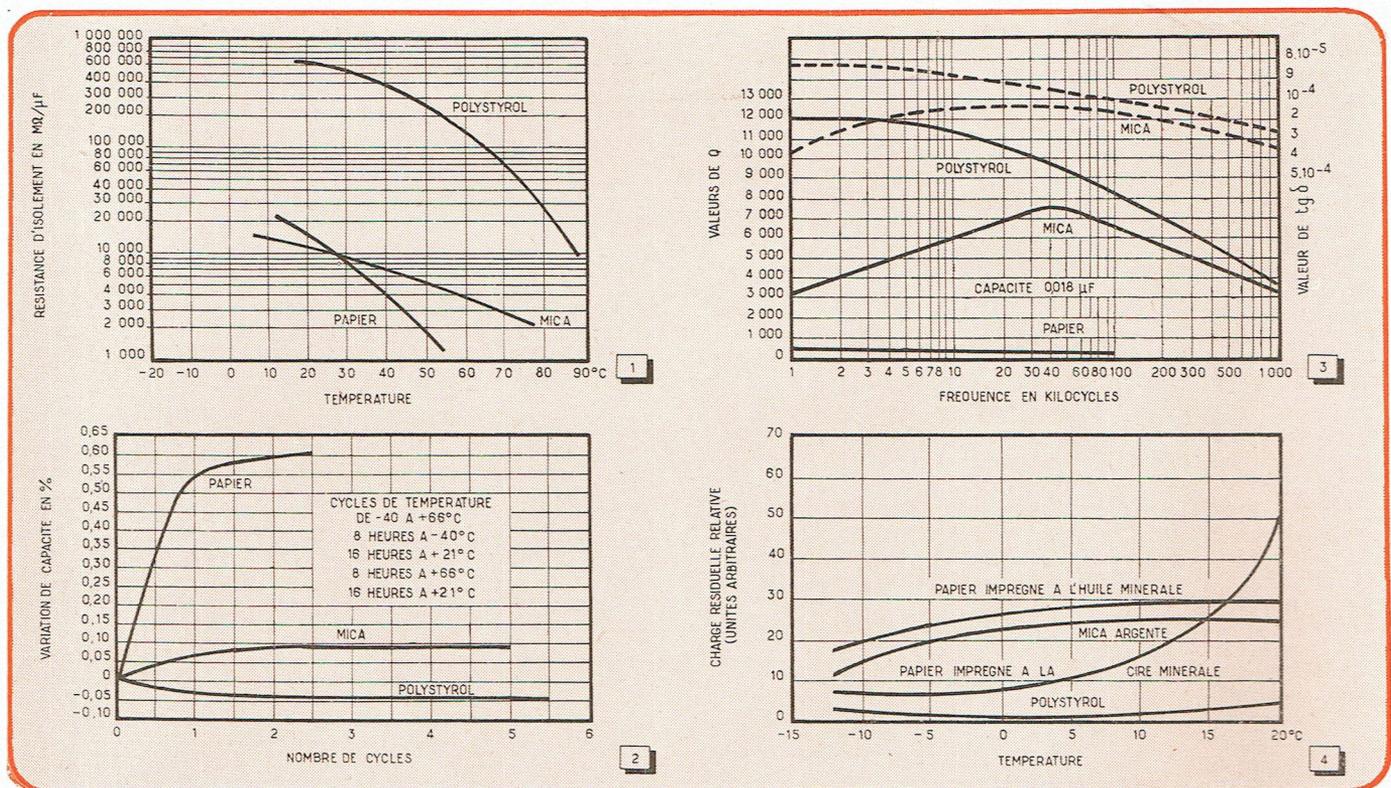


Fig. 1. — Résistance d'isolement des condensateurs au polystyrol, au mica et au papier en fonction de la température ( $-20$  à  $+85$  °C).

Fig. 2. — Variation de capacité des condensateurs au polystyrol, au mica et au papier, en fonction des cycles de température.

Fig. 3. — Valeurs de Q (traits pleins) et de  $tg \delta$  (traits interrompus) en fonction de la fréquence, pour les condensateurs au polystyrol, au mica et au papier.

Fig. 4. — Charge résiduelle relative, en fonction de la température, des condensateurs au polystyrol, au mica et au papier.

# TABLEAU des CONDENSATEURS au POLYSTYROL

	TENSION (V)		DIMENSIONS (mm)		CAPACITE	TOLERANCES %	
	Service	Essai de contrôle	Diamètre	Longueur		Normale	A spécifier
<b>L.T.T.</b>	Modèles normaux sous tube plastique						
	50	125	6	25	0,5 à 1,5 nF	20	10-5-2
	—	—	8	30	5,8 nF	10	5-2-1
	—	—	10 à 18	35	15 à 78 nF	—	5-2-1-0,5
	—	—	10 à 22	45	21 à 190 —	—	—
	—	—	10 à 24	50	13 à 240 —	—	—
	—	—	10 à 28	55	15 à 415 —	—	—
	—	—	10 à 30	60	16 à 580 —	—	—
	250	500	6	25	101 à 500 pF	20	10-5
	—	—	8	30	2 nF	10	5-2
	—	—	10 à 18	35	3,5 à 25 nF	10	5-2-1
	—	—	10 à 22	45	6,5 à 68 —	—	—
	—	—	10 à 24	50	3,9 à 90 —	—	—
	—	—	10 à 28	55	4,3 à 140 —	—	—
	—	—	10 à 30	60	5 à 182 —	—	—
	500	1000	3,5	30	1 à 20 pF	20	10-5
	—	—	6	25	20 à 100 pF	20	10-5
	—	—	8	30	300 pF	—	10
	—	—	10 à 18	35	1 à 8 nF	10	5-2
	—	—	10 à 22	45	2 à 20 —	10	5-2-1
	—	—	10 à 24	50	1,2 à 32 —	—	—
	—	—	10 à 28	55	1,5 à 52 —	—	—
	—	—	10 à 30	60	1,7 à 68 —	—	5-2-1-0,5
	Modèles étanches sous tube métallique, une sortie perle de verre						
	250	125	16 à 31	75	70 à 500 nF	20	10-5-2
	250	500	16 à 42	—	20 à 430 nF	10	5-2
	500	1000	—	—	7 à 150 —	—	—
	Modèles étanches, sous tube métallique, deux sorties perles de verre						
250	500	27 à 42	75	125 à 410 nF	10	5-2-1-0,5	
500	1000	—	—	50 à 150 —	—	—	
<b>CAPA</b>	125	250	5	12	5 à 650 pF	20	10-5-2,5
	—	—	6	—	651 pF à 1 nF	—	—
	—	—	7	24	1,1 à 2,5 nF	—	—
	—	—	8	—	2,6 à 3,5 —	—	—
	—	—	9	—	3,6 à 5 —	—	—
	250	500	5	12	5 à 300 pF	—	—
	—	—	6	18	310 pF à 1 nF	—	—
	—	—	7 à 9	24	1,1 à 5 nF	—	—
500	1000	5	12	5 à 300 pF	—	—	
—	—	6	18	310 à 800 pF	—	—	
—	—	8 à 10	24	810 pF à 5 nF	—	—	
<b>S.I.G.</b>	250	500	10 à 12	35	5 à 20 nF	20	2
	—	—	13 à 19	52	50 nf à 0,1 $\mu$ F	—	—
	—	—	26 à 53	—	0,25 à 1 $\mu$ F	—	—
<b>SIEMENS</b>	125	250	4	10	2 à 250 pF	20	10-5-2,5
	—	—	4,5 à 6	—	300 pF à 1 nF	—	—
	—	—	6,6 à 7,8	20	1,25 à 5 nF	—	—
	—	—	7,5 à 11	30	6 à 20 —	—	—
	250	500	7,7 à 9	20	1,25 à 5 —	—	—
	—	—	9 à 10,5	30	6 à 10 —	—	—
	500	1000	6 à 7	20	5 à 100 pF	—	—
	—	—	7,2 à 8	—	125 pF à 1 nF	—	—
	—	—	8,4 à 13	—	1,25 à 5 nF	—	—
—	—	11,6 à 14,5	30	6 à 10 —	—	—	
<b>SUFLEX</b>	250	500	6	17	5 pF à 1 nF	10	5-2
	—	—	7	22	1,1 à 2 nf	—	—
	—	—	10	—	2,1 à 6,6 —	—	—
	—	—	12	30	6,7 à 10 —	—	—
	—	—	—	—	10 à 100 —	—	—
	500	1000	6	17	5 pF à 1 nF	—	—
	—	—	7	22	1 à 2 nF	—	—
	—	—	10	—	2 à 6,6 —	—	—
—	—	12	30	6,6 à 10 —	—	—	
—	—	—	—	10 à 100 —	—	—	

(S.I.C.) et 250 et 500 V (*Suflex*, *Frankel* importateur). La tension d'essai de contrôle est fixée par *L.T.T.* à 2 fois la tension de service, 2,5 fois par *S.I.C.* et 3 fois par *Capa*.

Il convient de signaler que les tensions de service ci-dessus sont considérées comme *sécurité courante*. Lorsqu'il s'agit d'un fonctionnement dans des conditions particulièrement dures, il convient de réduire la tension appliquée à la moitié de la tension de service. Cette valeur prend alors le nom de *haute sécurité*.

## Résistance d'isolement

La mesure de la résistance d'isolement est effectuée sous une tension continue égale au maximum à la tension de service, *sécurité courante*. Elle est exécutée, après une minute d'électrisation, à la température de + 20°C. Les valeurs minima à obtenir, exprimées en MΩ par μF, sont de 12.10<sup>4</sup> au-dessous de 50 nF, de 8.10<sup>5</sup> de 50 à 200 nF et de 12.10<sup>8</sup> au-dessus de 200 nF.

Dans les limites de température prévues, la résistance d'isolement R' mesurée pour une variation de température Δθ ne doit pas être inférieure à :

$$R' = \frac{R}{20,065 \Delta \theta} \text{ ou en gros } \frac{0,05 R}{\Delta \theta}$$

R étant la résistance d'isolement minimum indiquée plus haut.

La mesure de cette valeur *après stockage de 2 ans* doit indiquer une résistance égale à la moitié des nombres précédemment cités. Il convient, avant de l'exécuter, de nettoyer les pièces et, s'il s'agit de condensateurs sous tube polystyrol ou polyéthylène, de les sécher à l'étuve.

Les condensateurs du type *miniature* conservent dans ces conditions un isolement au moins égal à 10<sup>4</sup> MΩ.

## Capacité

La valeur de la capacité est mesurée par une méthode de résonance ou de comparaison, à une fréquence comprise entre 800 et 1000 Hz. Elle doit être comprise dans les tolérances prévues.

Suivant les fabricants, les condensateurs sont établis avec des tolérances plus ou moins serrées. *S.I.C.* livre, suivant la progression 1 - 2,5 - 5 - 10, depuis 5 nF jusqu'à 1 μF. *Capa* fournit toutes valeurs comprises entre 5 pF et 5 nF. *Siemens* exécute, en type miniature, de 2 à 250 pF et en type normal de 2 pF à 25 nF, ainsi que jusqu'à 0,5 μF en format moins réduit. *Suflex* adopte comme limites extrêmes 5 pF et 10 nF, et sur demande, jusqu'à 0,1 μF. Enfin *L.T.T.* fabrique toutes valeurs, de 1 à 20 pF dans le type miniature et de 20 pF à 0,5 μF dans l'un quelconque de ses modèles normaux, avec une gamme de tolérances très vastes.

## Puissance maximum en courant alternatif

Lorsqu'un condensateur au polystyrol est soumis à une tension alternative superposée à une tension continue, la valeur maximum de la composante alternative doit être telle que la tension totale résultante ne dépasse pas de plus de 10 % la tension nominale de service en courant continu.

Par ailleurs, la puissance dissipée par suite des pertes doit demeurer inférieure à 50 mW par 0,1 μF, ce qui limite la puissance apparente appliquée à 10 VAR par 0,1 μF. Enfin l'intensité efficace ne doit pas excéder 2 A quelle que soit la valeur de la capacité.

Si le condensateur est soumis à une tension alternative sinusoïdale pure, la tension de crête ne doit pas dépasser la valeur de la tension nominale de service en courant continu. Elle est limitée par les conditions de puissance apparente et d'intensité indiquées ci-dessus.

## Qualité

La qualité d'un condensateur est exprimée par son facteur de surtension Q, rapport de la réactance à la résistance ou, le plus fréquemment dans l'industrie, par la tangente de son angle de pertes, soit  $\text{tg } \delta = 1/Q$ . Cette dernière valeur précise mieux la qualité de la pièce, qui est fonction de celle de son diélectrique.

La figure 3 montre que la  $\text{tg } \delta$  d'un bon condensateur au papier est de l'ordre de 10<sup>-2</sup>, soit Q = 10<sup>2</sup>. Le condensateur au mica, toujours très justement apprécié, accuse sur la plage des fréquences audibles une variation de Q de 3 à 6.10<sup>2</sup>. En fait, le tracé de la courbe de sa  $\text{tg } \delta$  en ordonnées linéaires est moins impressionnant et correspond bien aux caractéristiques exigées de lui dans la pratique de la construction électronique. Aux fréquences de radiodiffusion, sa  $\text{tg } \delta$  ressort à une moyenne de 3,5.10<sup>-4</sup>, soit un Q de 2,8.10<sup>3</sup>.

Le condensateur au polystyrol s'en distingue par de meilleures qualités aux fréquences audibles basses et moyennes : Q = 12.10<sup>3</sup>, soit une  $\text{tg } \delta$  de 8,3.10<sup>-5</sup>. Il est donc supérieur au type mica, et le demeure à 1 MHz, où sa  $\text{tg } \delta$  est de l'ordre de 2,5.10<sup>-4</sup>, soit un facteur de surtension Q de 4.10<sup>3</sup>. Les courbes en pointillé de la figure 3 montrent l'allure des variations de la  $\text{tg } \delta$  suivant la fréquence.

## Humidité

Le polystyrol étant *pratiquement imperméable à l'eau*, les condensateurs l'employant comme diélectrique conservent un isolement très élevé en *atmosphère humide*. Dans le cas d'une brusque condensation, un simple étuvage suffit pour leur rendre toutes leurs qualités primitives.

Lorsque l'humidité relative de l'ambiance est inférieure ou égale à 75 %, il convient d'utiliser la protection sous tube de matière plastique, car la condensation s'effectue sur le boîtier et le retour aux conditions initiales est plus rapide. Dans le cas où le degré d'humidité de l'atmosphère est susceptible de varier dans des proportions considérables, il est indispensable d'employer le type étanche.

## Charge résiduelle

L'utilisation d'un diélectrique aussi stable que le polystyrol pur influe énormément sur la valeur de la charge résiduelle d'un condensateur, mesurée après court-circuit rapide de ses armatures. Cette charge dépend de la température à laquelle est soumis le condensateur.

La figure 4 montre, comparativement aux modèles au mica et au papier imprégné, la valeur de la charge résiduelle exprimée en unités arbitraires. On voit qu'entre -12°C et la température ambiante, soit + 20°C, la charge résiduelle du condensateur au mica argenté augmente de 6 fois, tandis que celle des types au papier imprégnés à l'huile minérale et à la cire augmente de 10 et 15 fois. L'avantage est donc incontestablement au condensateur au polystyrol.

Cette qualité, jointe à la haute résistance d'isolement, destine entre autres utilisations les condensateurs au polystyrol aux circuits à constante de temps, amplificateurs à courant continu, compteurs de radiations, calculateurs électroniques, etc...

## Conclusion

Par l'utilisation de faibles quantités de matières et la mise en pratique de méthodes de fabrication en série, les condensateurs au polystyrol peuvent être obtenus à des prix de revient modérés. Après avoir fait leurs preuves dans les télécommunications (les modèles fabriqués par *L.T.T.* ont fait l'objet de la spécification L.S.T.C. 198 du Service de Recherches et du Contrôle Technique, Département Transmission de l'Administration Française des P.T.T.), ils s'imposent dans le domaine de plus en plus vaste de l'électronique industrielle par l'ensemble remarquable de leurs qualités.

J. HENRY.

Un procédé qui est devenu une réalité industrielle en plein essor

# L'usinage par étincelles

par Albert MARTIN

## RAPPEL DE NOTIONS GÉNÉRALES

On entend par usinage un enlèvement de matière destiné à modifier la forme d'un objet fourni à l'état brut. Les machines et les procédés mis en œuvre diffèrent suivant la géométrie des figures, le degré de précision des dimensions et des états de surfaces, et la nature du matériau.

La géométrie des figures et le degré de précision régissent le choix de la machine : tour, fraiseuse, perceuse, aléuseuse, etc... La nature du matériau dirige le choix du procédé.

Jusqu'ici on pouvait considérer deux modes principaux :

Par enlèvement de copeaux, pour les matériaux de dureté faible ou moyenne : alliages non ferreux, aciers mi-durs ;

Par abrasion, pour les matériaux de grande dureté : aciers rapides, aciers trempés, carbures métalliques.

Le premier mode utilise des outils présentant une arête coupante : outils de tours, de raboteuses, ou plusieurs arêtes coupantes : fraises, scies, forets, qui découpent des copeaux plus ou moins gros. Le second mode utilise des meules qui frottent sur la matière en l'usant. On peut constater d'ailleurs que la différence entre les deux procédés n'est pas très absolue étant donné que l'on peut considérer les meules comme des outils coupants à arêtes multiples qui seraient les grains de carborundum ou de diamant, les copeaux se trouvant être réduits à de très petites dimensions.

Dans les deux cas l'énergie nécessaire à l'usinage se présente sous la forme mécanique : elle est d'une part dynamique, fournie par une chaîne d'organes moteurs entraînant la pièce ou l'outil ou les deux simultanément et d'autre part statique, fournie par une chaîne de réaction comprenant l'outil, son support, le bâti de la machine, l'ensemble devant être proportionné en dimensions à la grandeur du travail d'usinage.

Il faut beaucoup tenir compte de cette énergie statique dans la conception d'une machine-outil, car elle cause des flexions dans les organes constituant la chaîne de réaction. Ces déformations sont bien entendu nuisibles au maintien des caractéristiques dimensionnelles, donc entraînent une perte de précision dans l'exécution du façonnage.

Nous ne nous étendons pas davantage sur ces considérations d'ordre général, qui ne font que rappeler des notions sans doute connues de nos lecteurs, mais dont le bref exposé permettra de mieux comprendre la différence essentielle avec les procédés électriques.

## NÉCESSITÉ D'UN NOUVEAU MODE D'USINAGE

Jusqu'à ces dernières années, les deux procédés d'usinage par enlèvement de matière énumérés ci-dessus étaient les seuls mis à la disposition des ateliers.

Ils étaient bien quelquefois mis en défaut lorsqu'il s'agissait de réaliser avec précision des formes évidées au profil complexe

dans des métaux durs : outillages à découper par exemple ; l'ingéniosité des outilleurs suppléait aux défaillances de la technique.

La nécessité de produire à des prix de revient toujours moins élevés conduisit les bureaux d'études à s'orienter, soit vers les pièces obtenues par découpage, soit vers de plus grandes vitesses de coupe sur les machines-outils. Dans l'un comme dans l'autre

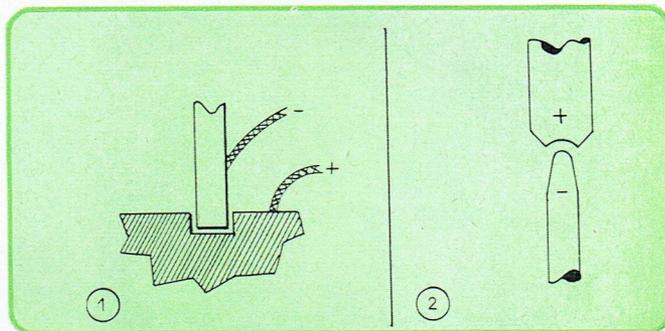


Fig. 1. — Si l'électrode-outil et la pièce à usiner sont reliées à une source de tension pulsée, la pièce placée au + s'use plus vite que l'électrode placée au —.

Fig. 2. — La même dissymétrie est bien connue dans le domaine de l'éclairage par arc, où le charbon relié au + s'use plus vite que l'autre.

cas, il fallait des outils toujours plus durs. Tant et si bien qu'un beau jour le matériel qui servait jusque-là à confectionner l'outil est devenu l'outil lui-même, puis la pièce à usiner. Le cercle était fermé sur l'usinage par énergie mécanique.

## L'USINAGE PAR ÉNERGIE ÉLECTRIQUE

### Principe

D'après différents auteurs, la modification de forme d'une pièce métallique par action unique de l'énergie électrique est assez ancienne. PRIESTLEY aurait, le premier, observé le phénomène en faisant éclater une étincelle dans l'air entre une plaque et une pointe ; cela remonte à 1768. Puis on utilisa le procédé en faisant éclater cette fois l'étincelle dans un milieu liquide, pour préparer des solutions colloïdales de métaux.

Les époux LAZARENKO, en U.R.S.S., paraissent avoir été les premiers à envisager l'utilisation de ces observations pour l'usinage des métaux (1946). Ils remarquèrent, au cours d'expériences, qu'en régime d'étincelles intermittentes, l'anode s'usait plus que la cathode et à l'image de celle-ci, suivant un phénomène analogue à celui de l'arc continu (fig. 1 et 2).

C'est d'ailleurs le cas général des phénomènes d'électrolyse où il y a transport de métal de l'anode vers la cathode.

Cependant, dans le cas de l'usinage, le métal enlevé à la pièce ne se dépose pas sur l'électrode, mais se disperse dans le liquide diélectrique.

## Étude théorique

Cette découverte n'a pas failli à la règle générale : on en a connu les effets et on les a utilisés avant de dégager d'une façon précise le principe théorique de base, en particulier à définir la règle sur l'influence de la nature du métal de l'électrode en fonction de la nature du métal à usiner et sur le choix de la composition du liquide diélectrique.

Depuis les premières expériences, plusieurs théories ont été émises par les différents expérimentateurs. Nous retiendrons celle qui nous paraît la plus plausible et que, par ailleurs, nous avons pu vérifier et compléter par nos propres observations. Des bases sérieuses ont été données par E.M. WILLIAMS, membre AIEE, dans une communication intitulée « Theory of Electric Spark Machining ». D'après cet auteur, l'érosion serait due principalement aux forces causées par le champ électrique créé par la très forte densité de courant qui prend naissance au moment de la rupture du diélectrique interposé entre l'électrode outil et la pièce.

Cela pose la fonction de base du générateur de courant électrique : délivrer d'une façon intermittente un courant électrique de haute intensité. C'est, en d'autres termes, un générateur d'impulsions.

Avec le développement du radar, ces modes de fonctionnement sont devenus familiers aux radioélectriciens et aux électroniciens. Le principe est connu : accumuler de l'énergie pendant un temps  $T$  au bout duquel cette énergie est délivrée pendant un temps  $t$  beaucoup plus court que  $T$ . La puissance correspondant à l'énergie  $Q$  délivrée pendant l'unité de temps, on conçoit que si  $P_1$  représente la puissance fournie par l'alimentation et  $P_2$  la puissance délivrée à chaque impulsion, on aura :

$$P_1 = \frac{Q_1}{T} ; \quad P_2 = \frac{Q_2}{t}$$

d'où :

$$P_2 > P_1.$$

En pratique on aura :

$$Q_2 < Q_1,$$

car on ne connaît pas de générateur de rendement 100 0/0. Il faut donc que  $t$  soit petit par rapport à  $T$ .

En électronique, on connaît deux principaux accumulateurs d'énergie répondant aux conditions énoncées ci-dessus :

L'accumulateur électrostatique : condensateur ;

L'accumulateur électromagnétique : circuit inductif.

Nous étudierons successivement les caractéristiques propres à chacun de ces dispositifs. Auparavant, il est nécessaire de préciser certaines particularités de ce mode d'usinage.

Prenons le cas le plus courant, qui est celui du perçage, par exemple la réalisation de la matrice d'un outil à découper. L'électrode doit être conçue de telle sorte qu'elle représente la forme en plein de la section de l'évidement que l'on désire obtenir dans la pièce de métal dur (acier traité ou carbure de tungstène) qui constituera la future matrice. Les cotes de la section de l'électrode seront établies en tenant compte qu'il doit exister un certain jeu entre l'évidement obtenu et l'électrode qui aura servi à l'obtenir, ce jeu représentant la distance disruptive de l'étincelle.

Pour des caractéristiques électriques déterminées, il n'y a plus d'usinage au-delà de cette distance, qui s'obtient donc d'elle-même tout autour de l'électrode. En revanche, l'extrémité de l'électrode, que l'on peut assimiler à la pointe perforatrice d'un foret, doit être maintenue à cette distance convenable au moyen d'un dispositif « d'avance » ; car du fait même de l'usinage, le métal à travailler se « dérobe » devant l'électrode (fig. 3).

Le processus d'éclatement des étincelles peut se concevoir de la manière suivante : quel que soit le fini de surface de l'électrode et de la pièce à usiner, il existe toujours à l'échelle microscopique des irrégularités. Lorsque les deux surfaces sont en re-

gard, leurs points ne sont pas tous à des distances identiques. La première étincelle éclatera entre les deux points les plus rapprochés. Il y a, à ce moment, enlèvement de métal d'où augmentation de la distance entre ces points. La prochaine étincelle éclatera donc entre deux autres points et ainsi de suite jusqu'à ce que tous les points de l'électrode soient équidistants de ceux de la pièce travaillée. Cependant, pour qu'il en soit exactement ainsi dans la pratique, c'est-à-dire pour que chaque relief élémentaire de l'électrode engendre un cratère de surface correspondante sur la pièce, il est nécessaire que l'étincelle soit de courte durée, car les travaux cités plus haut de E.M. WILLIAMS ont montré que la surface du cratère élémentaire dépend de la durée de passage du courant et croît avec elle.

Il y a donc intérêt, lorsque l'on désire obtenir une « image » fidèle de tous les détails de forme d'une électrode, en particulier les angles vifs sortants ou rentrants, à travailler avec un temps de conduction très bref, donc à disposer d'une énergie délivrée sous la forme d'impulsions.

## GÉNÉRATEUR A ACCUMULATEUR ÉLECTROSTATIQUE

C'est le premier en date.

Etabli en 1919 par KOHLSCHUTTER, il ne fut réellement utilisé que vers 1946 par les époux LAZARENKO pour l'usinage des métaux durs (fig. 4).

### Caractères généraux

C'est un circuit fort classique qui s'apparente à celui des bases de temps RC. Mais ici, la décharge du condensateur ne s'effectue pas à travers un tube électronique (thyatron par

Fig. 3. — La régularité et la précision de l'usinage par étincelles s'expliquent par le fait que l'étincelage est d'autant plus intense que la distance entre pièce et outil est faible, ce qui produit une régularisation automatique du jeu entre pièce et outil.

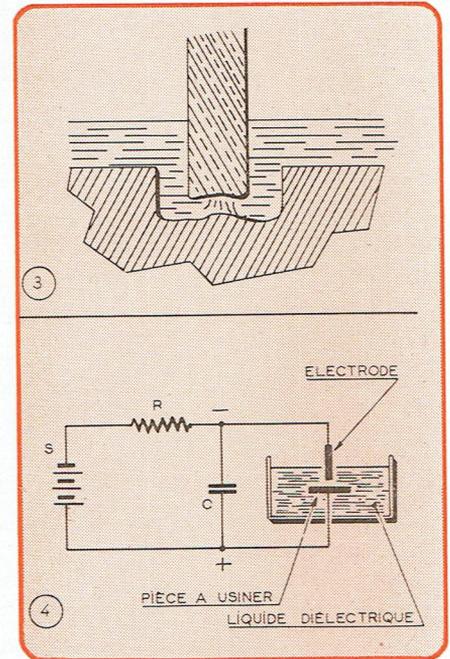
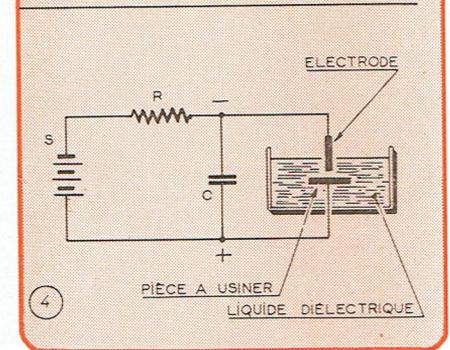


Fig. 4. — Le premier générateur employé par les époux Lazarenko était simplement constitué par un condensateur chargé par l'intermédiaire d'une résistance et qui se déchargeait périodiquement lorsque la tension à ses bornes était suffisante pour l'amorçage de l'arc.



exemple) et une résistance où son énergie est dissipée, mais à travers l'espace compris entre l'électrode et la pièce à usiner, cet espace étant occupé par le fluide diélectrique.

Si cette différence est essentielle, par rapport au circuit de la base de temps, quant à l'utilisation de la décharge du condensateur, les conditions de fonctionnement sont fort semblables.

En particulier, la résistance  $R$  doit être suffisante pour que la source  $S$  ne puisse débiter de façon appréciable dans le circuit de décharge, ce débit pouvant créer un arc permanent et

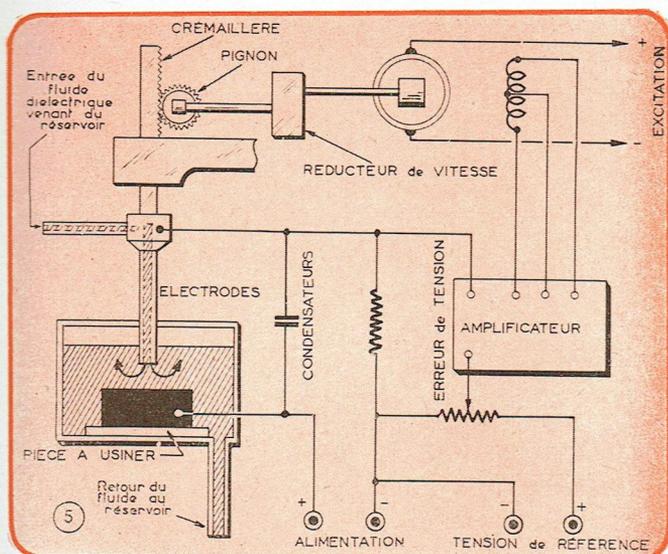


Fig. 5. — Dans les machines modernes, l'avance de l'électrode-outil est commandée par un servo-mécanisme de sorte que le courant d'arc, donc la distance outil-pièce à usiner, soit automatiquement maintenu constant.

empêcher par conséquent la recharge du condensateur; la source S doit présenter une force électromotrice suffisante pour que la tension en fin de charge du condensateur atteigne une valeur provoquant la rupture de la pellicule électrique (à rapprocher de la tension d'ionisation d'un tube à gaz); la décharge doit présenter aussi peu que possible un caractère oscillant, car il faut respecter les polarités indiquées, si on ne veut pas voir l'effet d'érosion se porter également sur l'électrode; enfin, si la forme du courant de charge n'a pas en elle-même l'importance qu'elle revêt dans une base de temps, il y a quand même intérêt à rester dans la partie droite, si on ne veut pas que le temps de charge devienne exagérément long. Cela implique un certain rapport entre la force électromotrice de la source et la tension de rupture du film diélectrique interposé entre l'électrode et la pièce.

## Détermination des conditions de fonctionnement

### 1° TENSION DE DECHARGE

Nous avons vu précédemment que la tension de rupture doit varier entre certaines limites dépendant des qualités de l'usinage.

La valeur de cette tension est déterminée par la distance entre l'électrode et la pièce en cours d'usinage et par le pouvoir diélectrique du liquide employé.

Au-delà d'une certaine distance, la précision obtenue devient mauvaise; cependant, la difficulté de maintenir une distance correcte au fur et à mesure de l'avancement du travail croît en raison inverse de la valeur de la distance, et cela se conçoit aisément. De toute manière, un servo-mécanisme est indispensable. On doit alors adopter un compromis qui détermine le pouvoir diélectrique du liquide. Les autres caractéristiques de ce liquide sont son pouvoir capillaire d'où découle sa facilité de pénétration dans le « jeu » outil-pièce et sa propriété de « reformer » rapidement la lame isolante après chaque rupture (à rapprocher du temps de désionisation des tubes à gaz); cette dernière caractéristique est une de celles qui limitent supérieurement la valeur de la fréquence de récurrence des décharges.

### 2° ENERGIE DE DECHARGE

C'est l'énergie utile à l'usinage. L'expression de cette énergie est de la forme :

$$Q = CV$$

Le travail exercé par la libération de cette énergie au moment où la tension aux bornes du condensateur varie de V à zéro est :

$$E = \int_V^0 CV; \\ E = \frac{1}{2} CV^2.$$

Elle est donc proportionnelle à la capacité du condensateur et au carré de la tension de charge. La valeur de tension de charge est déterminée comme il a été indiqué plus haut. Il reste donc le choix de la valeur de C. Toutes choses égales par ailleurs, cette valeur détermine : la fréquence de récurrence des décharges, la durée et la puissance de chaque décharge. La durée et la puissance de chaque décharge sont définies par le degré de précision géométrique que l'on désire obtenir pour la pièce usinée. On pourra donc choisir les valeurs de C suivant qu'il s'agit d'opérations « d'ébauche » ou de « finition ».

Quant à la fréquence de récurrence, elle dépend de la tension à fin de charge du condensateur, c'est-à-dire, pour une valeur choisie de C, à la fois de la tension de crête du générateur qui permet de travailler plus ou moins dans la partie sensiblement droite du début de la courbe de charge, et de la distance d'étincelage. On peut encore diminuer la valeur de la résistance interne du circuit de charge, ce qui en diminue la constante de temps, mais on est limité dans cette voie pour éviter que le générateur ne se trouve en court-circuit au moment de la charge en amorçant un arc permanent; phénomène à rapprocher du fonctionnement des bases de temps à tubes à gaz comme il a été dit plus haut.

En définitive, la tension de crête du générateur étant aussi déterminée par construction, la dernière grandeur reste la distance d'étincelage. Or cette dernière, nous l'avons vu précédemment, est essentiellement variable, puisque, par suite même du processus d'usinage, elle tend constamment à augmenter. Aussi se trouve-t-on devant l'obligation de commander le mouvement de l'électrode par un mécanisme assurant le maintien d'une distance aussi constante que possible.

Dans une des premières machines à usiner qui furent offertes aux industriels et mises en démonstration à l'Exposition Européenne de la Machine-Outil à Bruxelles en 1953 : la machine Sparcatron, le contrôle de la distance est réalisé de la façon suivante :

Un servo-mécanisme est couplé électriquement au circuit de décharge comme indiqué par la figure 5, extraite de la notice descriptive de la machine. Un signal de tension proportionnelle au courant de décharge est prélevé aux bornes d'une résistance et comparé à une tension de référence. La valeur de cette tension de référence est choisie en fonction du degré de finition compatible avec la valeur de C.

Si la distance d'étincelage varie, le courant moyen de charge varie également et un signal d'amplitude proportionnelle à la valeur de l'écart de réglage et de polarité correspondante avec le sens de l'écart (distance trop grande ou trop petite) est appliqué à l'entrée d'un amplificateur qui commande la rotation, dans le sens convenable, d'un moteur électrique à courant continu. Une transmission permet alors à l'électrode de descendre ou de monter automatiquement sans l'intervention d'un opérateur.

D'autres dispositifs ont été cherchés dans ce domaine : en particulier la firme suisse Agie à Bâle a mis au point, pour sa machine Agietron, un servo-mécanisme à commande pneumatique.

En France, le C.N.R.S. a repris et perfectionné le procédé LAZARENKO et s'est attaché, sous la direction de M. Marc BRUMA, à tirer le meilleur parti de l'ensemble générateur-condensateur.

En particulier, nous avons vu que la résistance du circuit de charge nécessaire pour éviter le débit en court-circuit du générateur par amorçage d'un arc permanent limitait la fréquence de récurrence et l'énergie disponible. Les travaux du C.N.R.S. ont abouti à réaliser un synchronisme entre le circuit de charge et le circuit de décharge; autrement dit, le fonctionnement du générateur est arrêté au moment de la décharge.

La fréquence des impulsions de charge est donnée par un générateur tournant et la fréquence des impulsions de décharge est maintenue en synchronisme par le servo-moteur de commande de l'électrode.

Différentes machines reposant sur ces brevets sont présentées actuellement : d'une part en France par la *Soudure Electrique Languepin*, d'autre part en Belgique par la compagnie des Compteurs et Manomètres de Liège, sous le nom d'*Elektra*.

Ces machines étaient présentées à l'*Exposition Européenne de la Machine-Outil* à Milan en septembre 1954.

## GÉNÉRATEUR A ACCUMULATEUR ÉLECTROMAGNÉTIQUE

En France, une firme s'est attaquée au problème en partant sur une forme inédite de générateur ; ici, l'accumulateur est un bobinage sur *Ferroxcube* et le circuit de charge est commandé par un tube à vide du type « émission ».

Les points particuliers de ce système sont les suivants :

Appareillage purement statique ;

Fréquence de récurrence imposée par un étage pilote, donc indépendante du circuit d'usinage ;

Forme des impulsions de courant dans le circuit d'usinage déterminée par les constantes de l'étage de puissance, donc possibilité d'obtenir des temps de conduction très courts, ce qui est favorable à la précision dans le respect de la géométrie des pièces usinées ;

Etage autorégulateur électronique faisant travailler le tube de puissance à courant anodique moyen constant, malgré les variations d'impédance du circuit d'usinage. Cet étage a également un rôle de sécurité en commandant l'arrêt de la descente de l'électrode ou même sa remontée en cas d'incident de marche en cours d'usinage ;

Mécanisme automatique de descente de tête très simplifié ne comportant qu'un moteur électrique avec réducteur à engrenages et muni d'un réglage de vitesse par rhéostat.

## DESCRIPTION DE LA MACHINE

### Partie mécanique

La machine, qui fut également présentée à l'*Exposition Européenne de Milan*, sous le nom d'*Usimu* (brevets *Qualitex*), comprend un socle dans lequel est logé le générateur électronique et une machine-outil réalisant le travail d'usinage proprement dit.

La machine-outil est une rectifieuse d'établi *Lip*, dont la descente de tête par vis et bloc à colonnes convient parfaitement à la précision requise, aucun effort mécanique n'étant d'ailleurs demandé. A la descente normalement manuelle de la tête sur la machine d'origine a été adjoint un dispositif de commande automatique consistant en un réducteur de vitesse à engrenages mû par un moteur électrique universel à inversion de marche automatique et réglage de vitesse manuel par rhéostat.

L'inversion de marche est commandée à partir de l'étage autorégulateur et la vitesse, déterminée en début de travail par manœuvre d'un rhéostat, demeure inchangée jusqu'en fin de l'opération d'usinage. A ce moment, une butée de fin de course réglable arrête automatiquement la machine.

### Partie électronique

Cette partie est groupée dans le socle qui contient les châssis de l'appareillage électrique. Ces châssis sont amovibles de manière à faciliter les visites et les dépannages.

Les éléments constitutifs sont :

1° Un étage pilote, comprenant :

Un multivibrateur à fréquence réglable ;

Un étage de mise en forme des signaux ;

Un étage de réglage de la largeur de base des signaux ;

Un étage de correction automatique de cette largeur, cet étage commandant en outre l'inversion de marche du moteur de descente ou le blocage du multivibrateur ;

2° Un étage de puissance comprenant :

Un tube d'émission type QB5/1750 *Philips* ;

Un transformateur de sortie sur *Ferroxcube* à impédance secondaire réglable ;

3° Un étage redresseur pour alimentation d'anode du tube de puissance et équipé de deux redresseurs à vapeur de Hg type DCG 5/3000 *Philips* ;

4° Un étage redresseur pour alimentation d'écran du tube de puissance et équipé de deux redresseurs à vapeur de Hg type 2 XM 600 *Mazda*.

5° Un relais temporisateur pour délai de préchauffage des tubes à gaz ;

6° Un disjoncteur de mise sous tension ;

7° Un relais de sécurité ;

8° Des ventilateurs centrifuges pour le refroidissement ;

9° Un oscilloscope de contrôle équipé d'un tube DG 7/5, et relié à la sortie du transformateur pour surveillance générale du fonctionnement.

Eventuellement, cet oscilloscope peut être utilisé également pour le dépannage de la machine elle-même, en branchant son entrée en différents circuits (fig. 6).

### Détails de réalisation du groupe électronique

Le schéma de principe de l'étage de puissance est reproduit en figure 7.

Le tube tétrode QB5/1750 fonctionne en classe C. En l'absence de signaux, son courant plaque est nul. Sa grille est attaquée par l'étage pilote qui fournit des signaux rectangulaires d'amplitude égale à environ 500 V. Le courant plaque du tube sature le noyau du transformateur de sortie. Le brusque arrêt du courant plaque engendre une variation de flux importante et une pointe de tension de la forme indiquée apparaît au secondaire. Cette forme est naturellement le début d'une oscillation amortie. Les autres oscillations sont annulées par suite de la période suivante de conduction du tube par le processus indiqué par la figure 8.

Les spécialistes en télévision verront un rapprochement avec le transformateur de lignes. L'auteur, ayant pratiqué la télévision avant l'usinage par étincelage, est venu à cette réalisation en pensant à ce transformateur. Evidemment, les dimensions ne sont pas les mêmes ! Le noyau en *Ferroxcube* est constitué de pièces en C grand modèle de *La Radiotechnique*, assemblées par collage à l'*Araldite* pour constituer un double E de 60 x 65 mm de section magnétique. Le bobinage lui-même a posé de sérieux problèmes d'isolement. On ne coupe pas sans réactions le courant plaque d'un tube de 1 kW ! Et les surtensions atteignent plusieurs dizaines de milliers de volts. Ce sont d'ailleurs ces surtensions, induites dans un secondaire qui les ramène à des valeurs compatibles avec leurs destinations, qui assurent le processus d'usinage. Le rapport de transformation est tel que l'on peut toucher sans risques l'électrode-outil sous tension. Le bobinage est entièrement moulé, sous vide, dans l'*Araldite*.

Allant même plus loin dans cette voie, nous avons construit un transformateur de 3 kW. A cet effet, *La Radiotechnique* a réalisé pour la première fois en Europe un noyau double E en *Ferroxcube* constitué entièrement de C et de barreaux standards collés et usinés et offrant une section magnétique de 128 x 53 mm. L'ensemble de ce circuit magnétique pèse 15 kg.

Le secondaire est un tube refroidi par circulation d'huile.

Inutile d'ajouter que l'étude de tels transformateurs est pratiquement inaccessible aux calculs étant donné la forme des signaux, et que les résultats acquis sont le fruit d'expé-

Fig. 6. — Diagramme de la section électronique de la machine « Usimu ». L'oscilloscope permet le contrôle visuel de la forme de la tension de sortie. Il peut être éventuellement raccordé en différents points de l'installation pour la surveillance ou le dépannage.

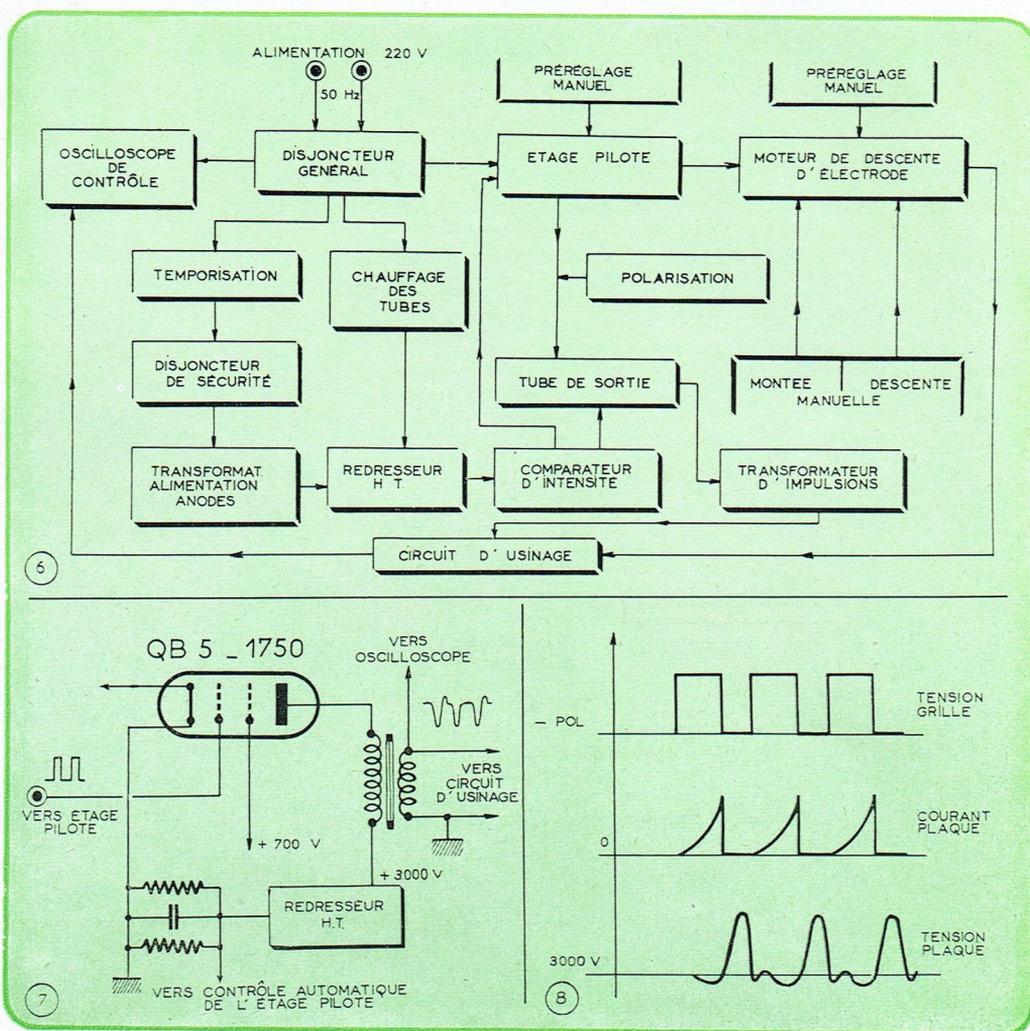


Fig. 7. — L'étage de sortie des générateurs « Usimu » est équipé d'une tétrode de puissance type QB 5/1750. On remarquera qu'il s'agit d'un étage amplificateur d'impulsions. Le circuit de commande automatique de l'étage pilote est tel que le tube de sortie ne débite aucune puissance si la distance entre l'outil et la pièce devient trop faible (court-circuit). La puissance est rétablie dès que la distance a été rendue normale par le dispositif automatique de descente et de remontée de l'électrode-outil.

Fig. 8. — Tensions et courants relatifs aux électrodes du tube de puissance.

riences patientes et nombreuses portant non seulement sur les résultats électriques, mais surtout sur les performances d'usinage, les caractéristiques de l'énergie fournie : valeur de la tension, durée, etc... conditionnant la précision des cotes et le fini de surface des usinages.

Dans le retour du circuit anodique, une résistance de 50  $\Omega$  fournit une tension de commande fonction du débit du tube de sortie. Cette tension, dont une fraction réglable par potentiomètre est appliquée à l'étage pilote, permet la variation automatique de largeur du signal rectangulaire d'attaque de grille, donc le temps de conduction du tube de puissance. A la limite, c'est-à-dire si l'électrode vient à toucher la pièce usinée, le secondaire du transformateur débite en court-circuit, et un étage du pilote supprime les impulsions de commande pour quelques instants pendant lesquels le moteur de tête, dont la marche est inversée, dégage l'électrode jusqu'à suppression du court-circuit. Le processus d'usinage reprend ensuite automatiquement.

Par réglage du potentiomètre (visible à gauche sur la photographie), on peut d'ailleurs régler ce seuil de déclenchement pour toute valeur du courant anodique moyen, donc même avant le court-circuit franc.

Voici donc exposé, pour les électroniciens, le principe de ce générateur unique à notre connaissance en France dans le domaine de « l'étincelage », et qui fait d'ailleurs l'objet de brevets.

Un compte rendu publié dans *La Machine Moderne* de mai 1955 fait état de l'avenir qui s'ouvre en U.R.S.S. aux généra-

teurs sans condensateur dits « à caractéristiques indépendantes » bien qu'aucune précision ne soit donnée sur leur mode de fonctionnement.

## Exemples de travaux

Quelques exemples non limitatifs de travaux exécutés par cette machine dans des pièces en acier traité ou en carbures métalliques sont représentés par les photographies illustrant cet article.

Inutile de préciser que les possibilités sont extrêmement variées.

## AUTRES APPLICATIONS DU PROCÉDÉ

Sans doute le travail le plus spectaculaire réalisé par « étincelage » consiste-t-il dans la confection de matrices à découper ou à emboutir en métal dur tel que montré précédemment.

Mais il n'y a, *a priori*, aucune raison de ne pas faire bénéficier les autres modes de façonnage des avantages offerts par ce procédé.

Ainsi les travaux réalisés par abrasion à la meule diamantée peuvent-ils être facilement transposés dans le domaine de l'usinage par étincelles. La meule diamantée est alors remplacée par un simple disque en cuivre rouge ou en laiton. Ce disque ne frotte d'ailleurs pas sur la pièce à usiner et travaille à la manière d'une électrode. Cela présente un très gros avan-

tage dans l'affûtage des outils à mise rapportée en métal dur par rapport à l'utilisation de la meule: l'absence d'échauffement par frottement, cet échauffement étant à l'origine de criques internes ou d'éclatements sur les arêtes de coupe.

Toujours dans le même domaine, on peut aussi réaliser des profils de formes pour la confection d'outils à profiler en *Widia*: filetages par exemple.

Dans les travaux de rectification, les avantages dus à l'absence de frottement sont également appréciables. Nous citerons entre autres applications la rectification des extérieurs d'empilages de tôles de transformateur sans risques de remettre les tôles en court-circuit par formation de bavures, comme cela se produit en utilisant la meule classique.

Un travail analogue au fraisage est également possible.

Enfin, si l'usinage des métaux durs est l'application principale et immédiate du procédé, il existe des travaux inverses où l'usinage des métaux mous ou gras présente de sérieuses difficultés, si l'on utilise les méthodes classiques: émoussage des outils, déformation des pièces usinées, naissance de bavures indésirables; là encore, l'étincelage apporte souvent la solution.

Nous ne saurions trop recommander aux chefs de fabrication de se garder de toute incrédulité préconçue et de poser leur problème aux spécialistes qui examineront chaque cas.

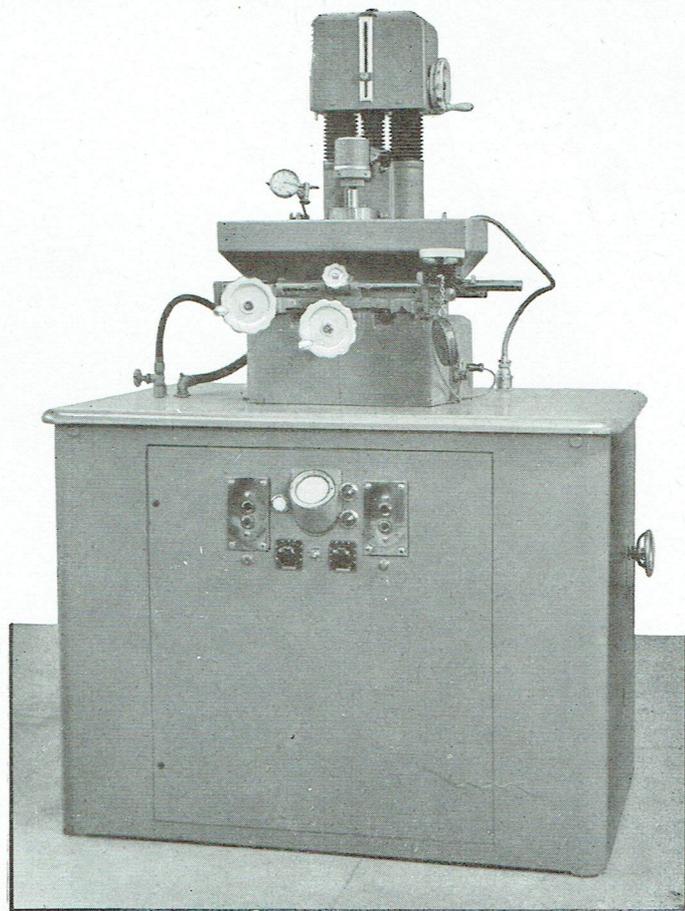
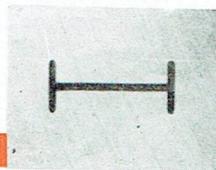
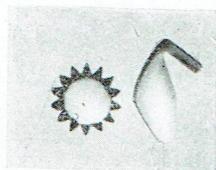
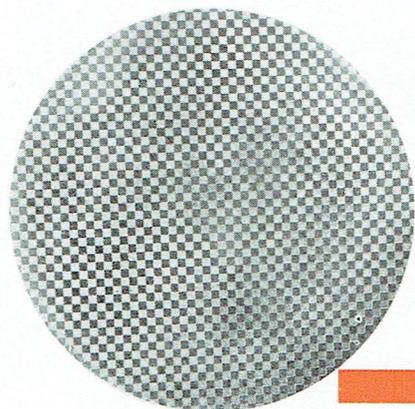
## CONCLUSION

Voilà donc un mode d'usinage que l'on a pu qualifier de révolutionnaire. Là encore, par la dernière machine décrite, l'électronique a démontré ses applications multiples.

L'électron convenablement « domestiqué » peut aussi bien travailler les métaux durs que transmettre les sons et les images. Toujours est-il, pour en revenir au procédé d'usinage, qu'il s'agit désormais d'une réalité industrielle, la fabrication en série des machines-outils correspondantes étant désormais commencée.



Quelques pièces usinées sur « USIMU ». La matrice du bas est destinée à la frappe de disques pour compteurs électriques.



La machine « USIMU », décrite dans cette étude. On remarque au centre du tableau de commande l'oscilloscope de contrôle.

Et nous terminerons en citant cet extrait d'un exposé que M. Marc BRUMA, attaché de recherches au C.N.R.S., a dressé sur ce problème, dans le n° 547 de décembre 1954 de *La Machine Moderne*:

« Ce ne sont pas des perfectionnements que l'effet d'électro-érosion apporte aux techniques d'usinage déjà connues, mais bien la promesse d'une nouvelle technique d'usinage, fondamentalement différente et dont les possibilités sont telles qu'elle va rayer le mot « impossible » du vocabulaire des mécaniciens. Parallèlement à son développement, cette nouvelle technique en puissance qu'est l'usinage par étincelles entraînera une révolution dans la manière de penser des ingénieurs, dessinateurs d'études, mécaniciens d'ateliers ».

A. MARTIN,

Ingénieur de la Sté QUALITEX.

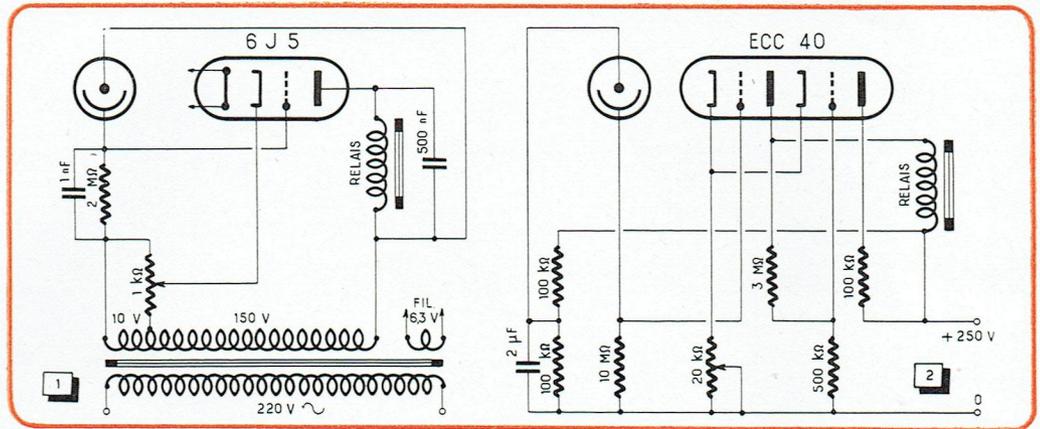
## BIBLIOGRAPHIE

- American Machinist, septembre 1951;
- Machinery, novembre 1951;
- Electrical Engineering, mars 1952;
- Steel, juillet 1952;
- Mass Production, septembre 1954;
- La Machine Moderne, juillet 1953;
- La Machine Moderne, décembre 1954;
- Ingénieurs et Techniciens, mars 1954;
- Ingénieurs et Techniciens, décembre 1954;
- La Machine-Outil Française, avril 1954;
- La Machine-Outil Française, juin 1954;
- La Machine-Outil Française, août-septembre 1954;
- La Machine-Outil Française, octobre 1954;
- L'Usine Nouvelle, numéro de printemps 1954;
- L'Usine Nouvelle, 6 janvier 1955;
- L'Industrie Française, octobre 1954;
- La Machine Moderne, mai 1955;
- La Machine Moderne, juin 1955;
- La Machine-Outil Française, juin 1955.

### 3 montages à CELLULES PHOTO

Fig. 1. — Ce relais photo-électrique se contente d'une alimentation en courant alternatif brut.

Fig. 2. — L'utilisation d'une bascule de Schmitt permet une commutation particulièrement précise.



D'une étude générale sur les applications industrielles des cellules photo-électriques à vide, nous prélevons deux schémas qui nous semblent intéressants par leur simplicité.

Le premier montage (fig. 1) est alimenté en courant alternatif brut. Tube et cellule sont connectés de façon qu'ils conduisent pendant la même demi-période du courant d'alimentation. La tension moyenne sur la

grille du tube augmente avec l'éclairement de la cellule. Quand elle dépasse une certaine valeur — réglable par le rhéostat inséré dans la cathode — le courant de plaque moyen devient suffisamment élevé pour provoquer l'attraction du relais. Le montage est surtout indiqué quand la cellule est exposée à des variations d'éclairement rapides et franches.

Si on désire la fermeture d'un relais pour

une très faible variation de l'éclairement, il est préférable d'utiliser le schéma de la figure 2. Ici, la cellule photoélectrique commande une bascule de Schmitt ; on obtient ainsi une très forte variation du courant de plaque pour une modification assez faible de la tension de grille. Fermeture et coupure du relais se font ainsi d'une manière très franche. — F.M.

### BASE DE TEMPS PHOTO-ÉLECTRIQUE

E. Klein, *Elektronik*, Munich, N° 5-1955, p. 123-125.

En oscillographie industrielle, on a souvent besoin d'analyser un phénomène en fonction d'un mouvement mécanique. Si ce mouvement est à vitesse constante, on peut utiliser, pour une reproduction oscillographique du phénomène à observer, un générateur de dents de scie comme base de temps. Toutefois, la méthode n'est applicable que si la fréquence de répétition du phénomène ne va-

rie pas dans des limites trop larges (essai d'un moteur à explosion à différentes vitesses). Dans un tel cas, il est préférable de commander la base de temps directement par le phénomène analysé.

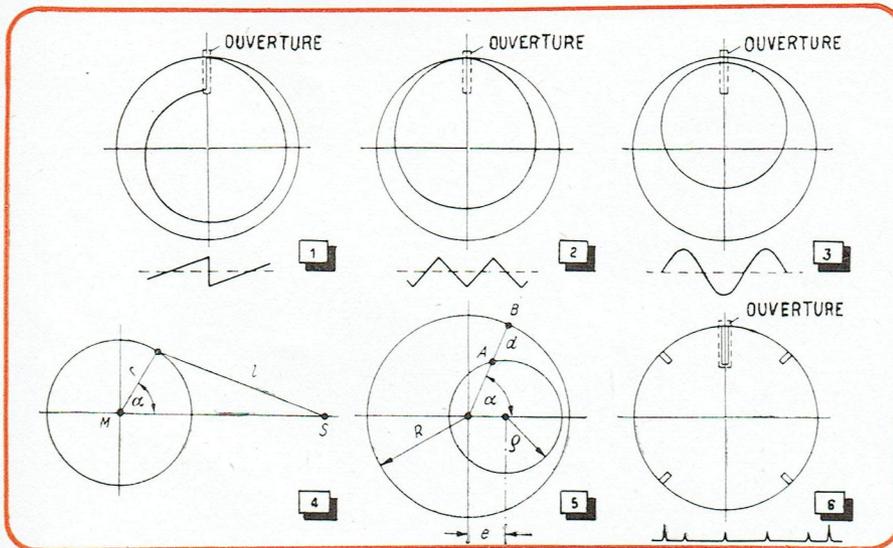
Dans le cas d'un moteur à explosion, on pourrait installer sur l'arbre un contact commandant un contact chargeant un condensateur qui se déchargerait ensuite dans une ré-

sistance. Un tel dispositif délivrerait une dent de scie de la fréquence de rotation du moteur, mais il serait difficile de maintenir son amplitude indépendante de la vitesse de rotation. De plus, une dent de scie n'est pas nécessairement la base de temps la plus commode ; dans le cas d'un moteur à explosion, par exemple, il peut être intéressant d'observer la pression dans le cylindre en fonction du mouvement du piston. Il serait très peu commode d'engendrer la tension correspondante d'une manière électronique. L'auteur utilise des disques de contour spécial, fixés sur l'arbre du moteur et disposés entre une ampoule et une cellule photo.

La figure 1 montre un disque permettant d'obtenir une tension en dent de scie aux bornes d'une cellule photo-électrique. Avec un disque comme celui de la figure 2, on obtient un signal triangulaire, particulièrement commode pour observer si l'aller et le retour d'un phénomène sont symétriques. Un disque excentré (fig. 4) est utilisé pour obtenir une tension fonction du mouvement du piston mentionné plus haut. Cette tension n'est pas une sinusoïde parfaite ; elle contient de nombreuses harmoniques de sa fondamentale. En mettant en équation les données des figures 4 et 5, on peut montrer que la condition recherchée est remplie quand on rend le rapport  $r/l$  (fig. 4) égal au rapport  $e/\rho$  (fig. 5). Il convient de remarquer que le diamètre du grand cercle  $R$  (fig. 5) n'intervient que comme composante continue et ne possède aucune signification pratique.

Avec une deuxième cellule photo-électrique et un disque conforme à la figure 6, on peut obtenir des tops de marquage. Ces derniers peuvent être superposés au signal analysé ou être appliqués au wehnelt du tube cathodique en vue d'une modulation lumineuse.

S.H.



Des tensions de base de temps de diverses formes sont obtenues en fixant, sur l'arbre du moteur examiné, des disques de forme spéciale disposés entre une ampoule et une cellule photo-électrique.

## Quelques "aides" électroniques pour le garagiste :

- Indicateur précis d'angle pour l'arbre à cames
- Ensemble pour vérification des bobines d'allumage
- Appareil pour la mesure (capacité et isolement) des condensateurs

A la suite de notre S.O.S. n° 1, nous avons reçu de plusieurs lecteurs, tous spécialistes de l'automobile, de fort intéressantes communications. La première émane de M. Gianfranco Pennisi, de Madrid, lequel a réalisé lui-même les appareils nécessaires aux contrôles sur lesquels nous avons été questionnés et joint à la connaissance approfondie des voitures modernes l'habileté du mécanicien et l'esprit de l'électronicien. Voici la réponse de notre collaborateur bénévole, que nous remercions, au nom de nos lecteurs, très chaleureusement.

### Contrôle de l'angle de came

La résistance ohmique du primaire de la bobine d'allumage étant de l'ordre de 0,5 à 3 Ω, il est très difficile de contrôler l'ouverture des vis platinées en courant continu. Voici l'appareil que j'utilise depuis plusieurs années.

Il s'agit d'un oscillateur (fig. 1), dont la fréquence est réglée entre 500 et 1000 Hz, équipé avec un tube EL 41. Le bobinage  $L_1$  exécuté sur circuit magnétique fermé de 4 cm<sup>2</sup> de section comporte 5000 spires de fil de 0,1 émaillé avec prise médiane. Le bobinage  $L_2$  est constitué par 400 spires de fil de 0,3 émaillé. La fréquence peut être ajustée, aux essais, en modifiant l'épaisseur de l'entrefer. L'ensemble est

alors solidement bloqué, étuvé pendant quelques heures et trempé dans la paraffine ou l'ozokérite.

Les sorties de l'enroulement  $L_2$  sont reliées, d'une part à la masse de la voiture, d'autre part à la borne « rupteur » du primaire de la bobine d'allumage. Elles sont également connectées à la masse de l'appareil et à la grille d'un indicateur cathodique : EM 4, EM 80 ou EM 85. Les deux tubes sont alimentés sous 250 V par un ensemble classique valve et cellule de filtrage.

Lorsque les vis platinées sont en contact, le secondaire  $L_2$  ainsi que la grille de l'indicateur cathodique sont court-circuités : l'angle du secteur ombré est maximum. Lorsque les vis s'ouvrent, le secteur ombré diminue brusquement, la réactance du primaire de la bobine d'allumage étant suffisante pour qu'une tension naisse à ses bornes. Il est recommandé pour cet essai de débrancher le condensateur du rupteur.

### Essai de la bobine d'allumage

Pour exécuter un essai correct de la bobine, il convient de la débrancher. Les appareils indispensables aux diverses vérifications sont les suivants :

*Essai H.T.* L'appareil est constitué (fig. 2) par un transformateur alimenté

par le réseau, dont la tension secondaire est redressée par une valve à vapeur de mercure AX 50 et filtrée par une cellule classique. La bobine de filtrage  $L_1$  est réalisée sur circuit magnétique de 9 cm<sup>2</sup> de section et comporte 500 spires de fil de 0,4 émaillé. La bobine  $L_2$  est formée par 12 000 spires de fil de 0,1 émaillé bobinées sur circuit magnétique de 16 cm<sup>2</sup> de section.

Un condensateur  $C_3$  se charge, par la H.T., à travers le primaire de la bobine d'allumage à vérifier, puis se décharge dans un thyatron PL 57 Philips ou tout autre type suffisamment puissant pour supporter le courant de pointe, qui varie entre 7 et 15 A suivant la bobine. Les charges et décharges successives peuvent être assimilées à des oscillations en dents de scie, dont la fréquence maximum est de l'ordre de 500 Hz. Un enroulement supplémentaire du transformateur alimente un redresseur sec R et permet d'obtenir, après filtrage, une tension de polarisation négative appliquée à la grille du thyatron.

Le procédé de mise au point de l'appareil est le suivant : brancher l'appareil sur le réseau, attendre 2 mn, afin que la cathode du thyatron soit chaude, puis brancher le primaire de la bobine aux bornes A et B et relier la borne libre du

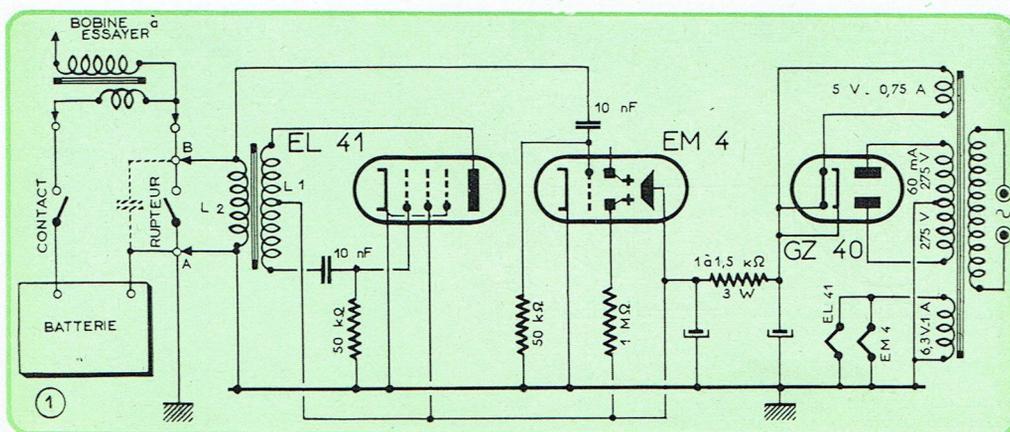


Fig. 1. — L'appareil pour le contrôle de l'angle de l'arbre à cames est un oscillateur commandant un tréfle cathodique par l'intermédiaire du rupteur du moteur

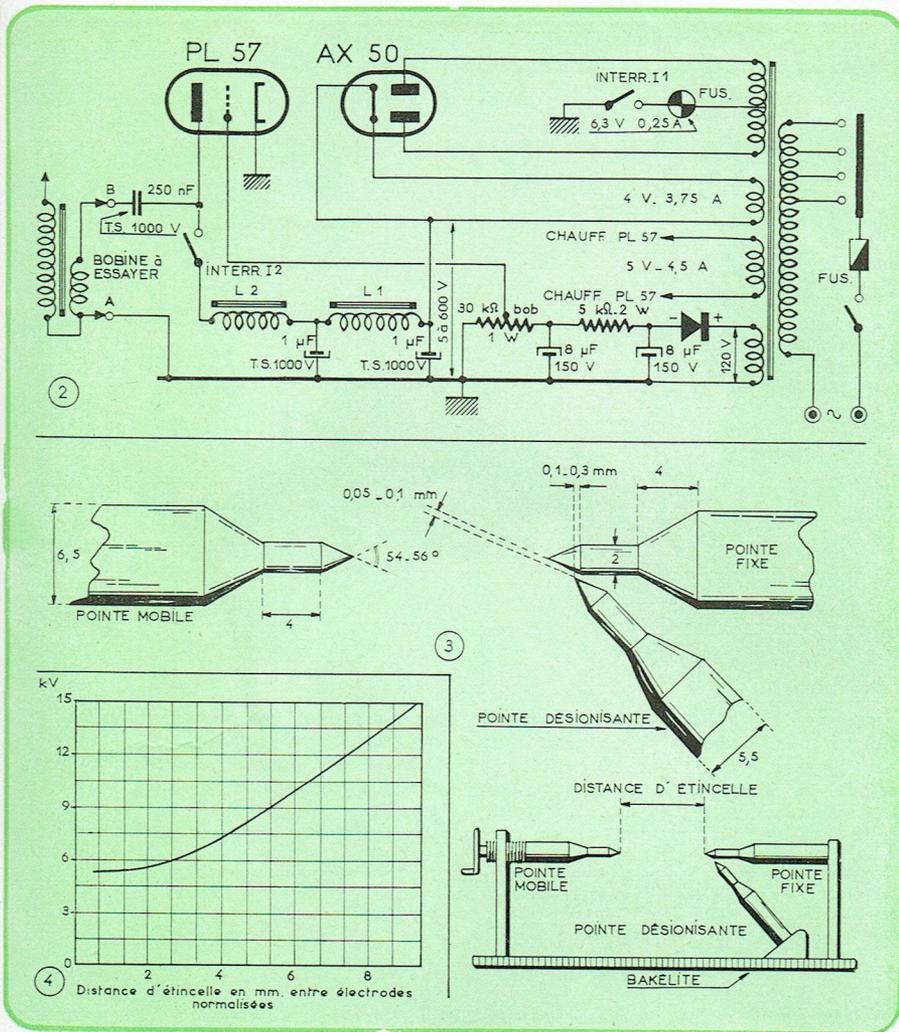


Fig. 2. — Pour l'essai des bobines, on envoie dans le primaire un courant de forme spéciale fabriqué par ce générateur

Fig. 3. — Le spintéromètre permet d'apprécier la H. T. d'après la longueur de l'étincelle

Fig. 4. — Correspondance entre haute tension et longueur d'étincelle

secondaire à la pointe fixe du spintéromètre normalisé décrit ci-après, la borne A étant reliée à la pointe réglable. Fermer alors l'interrupteur  $I_1$  coupant la H.T. de l'appareil, puis l'interrupteur  $I_2$ : des étincelles doivent jaillir entre les pointes du spintéromètre; leur fréquence peut être modifiée au moyen du potentiomètre P. Il convient de ne pas attendre une fréquence trop élevée, sans quoi le condensateur  $C_0$  ne se chargerait pas complètement.

Le fonctionnement n'a pas lieu si la désionisation du thyatron ne se produit pas. Il convient alors de retoucher le potentiomètre P, en ouvrant l'interrupteur  $I_2$ , puis en le refermant, jusqu'à ce que l'on obtienne des étincelles nourries entre les pointes du spintéromètre. Le potentiomètre est alors bloqué à la position obtenue.

Le *spintéromètre* normalisé est constitué par une pointe réglable, reliée à la masse de l'appareil, une pointe fixe connectée à la borne H.T. de la bobine en essai et une pointe désionisante isolée. Elles sont montées sur une platine en carton bakélisé de l'ordre de 10 mm d'épaisseur. La figure 3 précise la forme et les dimensions de ces pièces, ainsi que leur disposition sur le socle isolant. Les praticiens de l'électricité automobile, qui sont d'excellents mécaniciens, n'éprouveront aucune difficulté pour concevoir une aiguille, solidaire de l'électrode mobile, se déplaçant devant une graduation appropriée et suffisamment amplifiée pour une lecture aisée.

La courbe de la figure 4 indique la tension fournie par le secondaire de la bobine d'allumage en fonction de l'écartement des pointes du spintéromètre.

*Mesure de l'intensité primaire*: Cette mesure doit être effectuée avec la bobine montée sur la voiture. Il suffit de débrancher la connexion reliant la batterie au primaire de la bobine, et d'intercaler en série un ampèremètre électromagnétique de 5 A, de *très faible résistance propre*: 0,2 à 0,3  $\Omega$ . Le courant primaire doit être de 1,5 à 3 A suivant le régime du moteur et la tension de la batterie.

*Mesure de la chaleur de l'étincelle*: Il est très difficile de déterminer la quantité de chaleur dégagée par l'étincelle dans un temps donné. Aussi se borne-t-on à contrôler la *qualité* de la bobine. On doit obtenir une série d'étincelles en reliant le secondaire au spintéromètre réglé pour 3 à 4 mm entre pointes et en branchant aux bornes de celui-ci une résistance de 150 à 200 k $\Omega$ . Cela équivaut à une puissance *instantanée* d'environ 350 à 400 W. La résistance devant être *non inductive*, elle peut être constituée par un tube de verre de 2,5 cm<sup>2</sup> de section et de 50 cm de long rempli d'eau distillée.

## Essai du condensateur

*Capacité*: La mesure de cette valeur peut être effectuée à l'aide d'un des nombreux ponts fabriqués par les constructeurs d'appareils de mesure.

La capacité doit être de 0,2 à 0,3  $\mu F$  pour une bobine d'allumage de voiture, de magnéto de motocyclette ou de volant magnétique. Pour les volants magnétiques de vélomoteurs jusqu'à 50 cm<sup>2</sup>, le condensateur doit valoir 0,15 à 0,18  $\mu F$ . Ces valeurs sont des maxima.

*Résistance d'isolement*: Cette mesure peut être exécutée avec un générateur de courant continu H.T. dont la figure 5 donne le schéma. Aux bornes de la tension redressée et filtrée, un potentiomètre constitué par 3 résistances permet d'appliquer, grâce à un commutateur, 700 - 1400 ou 2100 V au condensateur à essayer. Un microampèremètre de 50  $\mu A$  de déviation totale, en série avec le condensateur, permet de mesurer le courant de fuite.

Il convient d'ajuster la valeur de la chaîne de résistances  $R_0$  de telle sorte que, le commutateur K étant mis sur la position 2100 V, le microampèremètre dévie à fond. Par ailleurs, la résistance d'isolement de l'interrupteur T doit être d'au moins 1000 M $\Omega$ , car elle est en shunt sur l'appareil de mesure et l'ensemble de résistances  $R_0$ . Enfin, il est possible, ainsi qu'il est représenté en pointillé sur le schéma, de connecter aux bornes d'essai X et M, une résistance de 5 k $\Omega$  en série avec un poussoir  $I_2$  à très haut isolement, qui peut être aisément constitué par une lame mobile reliée à la masse et un contact fixe, isolé par une barrette de Plexiglas ou de Téflon. Bien entendu, la borne X doit être, également, très soigneusement isolée. L'interrupteur  $I_1$  peut être constitué par un poussoir de réalisation analogue à celle de  $I_2$ . L'essai consiste à connecter le condensateur aux bornes X et M, à mettre le commutateur K sur la position voulue, à



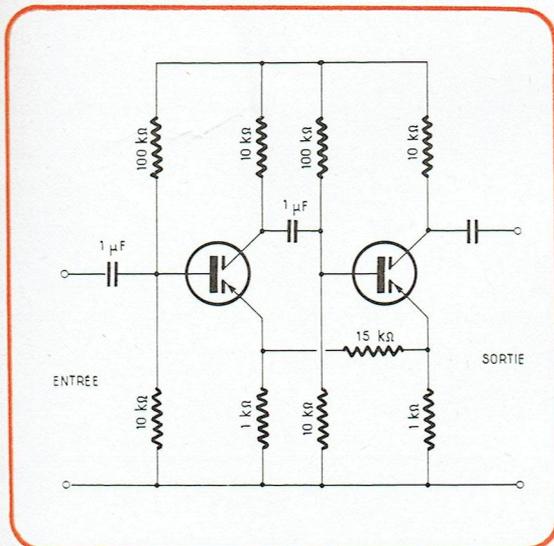
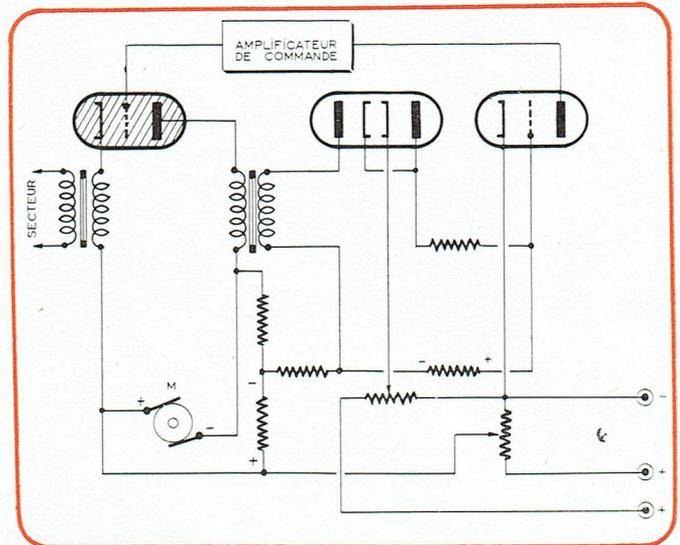
# A travers la Presse...

## RÉGULATION AUTOMATIQUE D'UN MOTEUR CONTINU

H. BECKER, *Elektronische Rundschau, Berlin, N° 9/1955, p. 313*

Pour certaines applications, on a besoin d'un moteur dont la vitesse de rotation soit maintenue constante d'une manière automatique. Le principe proposé par l'auteur est illustré par la figure ci-contre. On utilise un moteur shunt dont le courant de rotor est seul réglé. Ce rotor est alimenté par un thyatron et connecté en série avec un transformateur dont le secondaire délivre une tension qui est redressée par une diode et mise en opposition avec la tension sur le rotor. Une seconde diode travaille en limiteuse ; elle est prévue pour éviter une surcharge du moteur et des tubes, cela notamment au démarrage. — B.C.

Dispositif pour maintenir constante la vitesse de rotation d'un moteur shunt à courant continu.



## RÉACTION DANS UN AMPLIFICATEUR B.F. A TRANSISTORS

F.-C. ALEXANDER, *Electronics, New-York, N° 12/1955, p. 188*

Pour maintenir constant le courant moyen circulant dans un transistor en dépit des variations de la température, on prévoit souvent une polarisation automatique en insérant une résistance dans l'émetteur. On obtient ainsi un fonctionnement analogue à celui d'un tube électronique recevant une polarisation automatique par la résistance de cathode. Tout comme dans ce dernier cas, la résistance d'émetteur d'un étage d'amplification à transistors provoque une contre-réaction, quand elle n'est pas pontée par un condensateur.

Quand un amplificateur possède deux étages ou plus, travaillant en montage E.C., on peut remplacer ces condensateurs de découplage par une résistance connectée entre les émetteurs de deux étages. On obtient ainsi une réaction qui compense la contre-réaction initiale ; ce procédé est également connu des tubes électroniques. Comme le gain d'un transistor ne varie que très peu avec la température et la tension d'alimentation, cette réaction est très stable.

La contre-réaction introduite par les résistances stabilisatrices est compensée par une réaction obtenue en connectant une résistance entre les deux émetteurs.

Le schéma de la figure ci-contre illustre ce principe. Les valeurs indiquées pour les résistances sont des ordres de grandeur ; pour une utilisation pratique, elles doivent être recalculées en tenant compte de l'amplification de courant des transistors utilisés et du point de repos choisi. — B.C.

## NOUVEAU FILTRE SÉLECTIF

E.-M. REID, *Electronic Engineering, Londres, N° 10/1955, p. 444-446*

Comme filtres sélectifs R-C, on utilise couramment le pont de Wien et les filtres en double T et en T ponté. L'auteur a mis au point un nouveau type de filtre qui se montre beaucoup plus sélectif que les filtres que nous venons de citer.

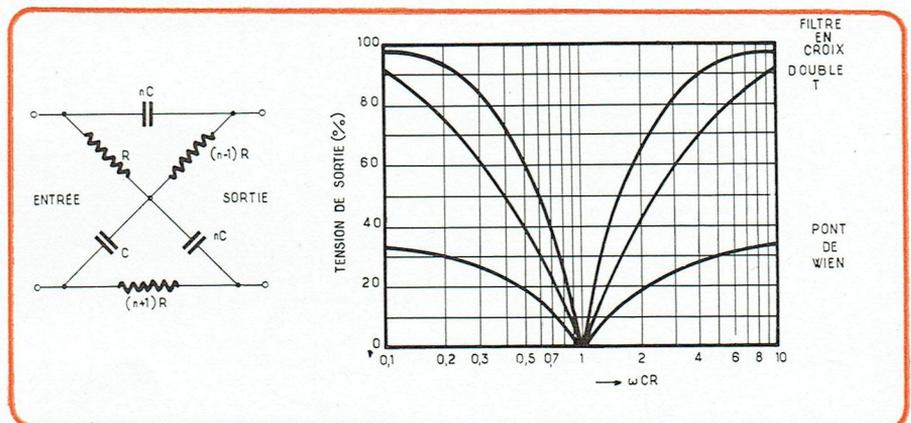
Son schéma de principe est publié ci-contre avec sa courbe de réponse, comparée à celles du pont de Wien et du double T. On voit que la sélectivité du filtre en croix est nettement meilleure. Pour son fonctionnement correct, il faut prendre le coefficient n, indiqué dans le schéma, égal ou supérieur à 10. La fréquence se calcule par l'égalité :

$$f = \frac{1}{2 \pi C R}$$

Exemple :

R = 5,55 kΩ ; C = 0,1 μF ; n = 10.  
 nC = 1 μF ;  
 (n - 1)R = 50 kΩ ;  
 (n + 1)R = 61 kΩ ;  
 f = 286 Hz.

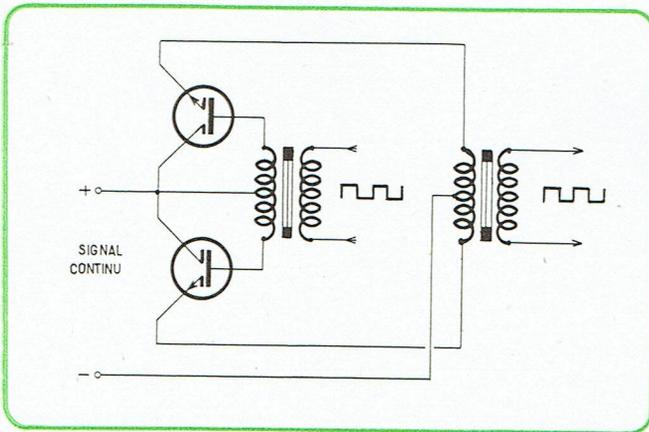
H.S.



Le filtre en croix avec sa courbe de réponse.

## COMMUTATEUR A TRANSISTORS

R. L. Bright et A. P. Kruper, *Electronics*, N° 4-1955, p. 135-137.



Deux transistors, alimentés par le signal continu à mesurer, le transforment en un signal alternatif qu'on peut aisément amplifier et mesurer.

Pour la mesure de très faibles courants ou tensions continus, on utilise couramment un procédé où le signal à mesurer est interrompu périodiquement par un commutateur mécanique (vibreur). Le signal alternatif ainsi obtenu est amplifié ensuite par des moyens classiques.

On peut très avantageusement remplacer le commutateur mécanique par une paire de transistors, montés comme la figure ci-contre l'indique. Ces transistors sont utilisés en inversant leurs connexions de collecteur et d'émetteur. On obtient ainsi une amplification de

courant plus faible, mais également une réduction importante du seuil de saturation inférieur. Dans de telles conditions de branchement, un transistor n-p-n peut encore travailler sous une tension d'alimentation de 1 mV et avec un courant de 1  $\mu$ A.

C'est, en effet, le signal continu à mesurer qui sert ici d'alimentation pour les transistors. Leurs bases sont commandées par une tension rectangulaire ; à la sortie, on recueille donc un signal alternatif dont l'amplitude est proportionnelle au signal continu de commande.

## OSCILLOGRAMMES EN COULEURS

H. Hille, *Elektronik*,  
Munich, N° 6-1955, p. 129-131.

Pour comparer les caractéristiques de différents éléments de construction (tubes, bobinages, filtres, etc.), il est parfois commode de les faire fonctionner en régime dynamique et de comparer les oscillogrammes obtenus dans ces conditions. Cette comparaison peut s'effectuer d'une manière particulièrement précise, quand on photographie les divers oscillogrammes obtenus en les superposant sur une même pellicule. Cependant, cette méthode peut avoir l'inconvénient que les différentes courbes s'enchevêtrent à un point tel qu'on n'arrive plus à les distinguer. De plus, on commet fréquemment des erreurs quand les diverses courbes relevées sont assez semblables.

D'après la proposition de l'auteur, on peut éviter ces inconvénients en photographiant les oscillogrammes sur une pellicule en couleurs et en disposant des filtres de couleur entre le tube cathodique et l'appareil de photo. Il est nécessaire d'utiliser un tube avec un écran d'un blanc composé à peu près uniformément de toutes les couleurs du spectre. Pour ses essais, l'auteur a utilisé un tube expérimental Telefunken DW 13-14. Grâce à son écran plat, ce tube est particulièrement apte pour la photographie des oscillogrammes ; une post-accelération lui donne une excellente luminosité. Avec une caméra d'une ouverture de 1/1,5 et une pellicule pour prises de vues en couleurs très sensible, le temps de pose est de 1/10 s ou inférieur. — M.F.

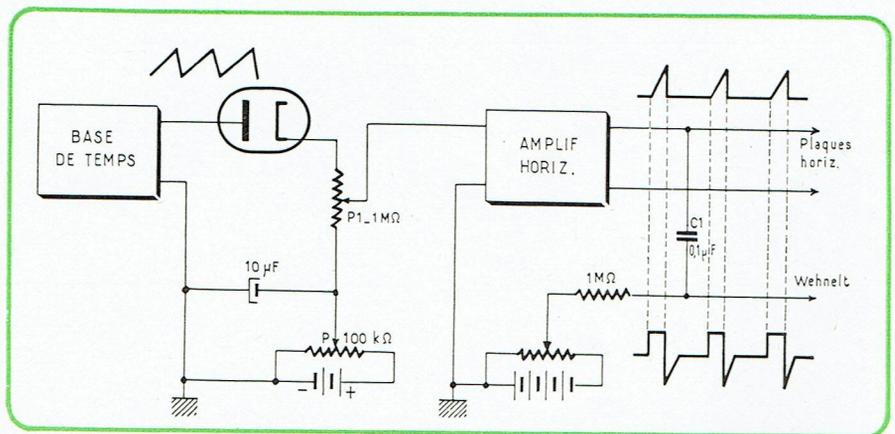
## BASE DE TEMPS DILATÉE

H. Richter, *Funk-Technik*, Berlin, N° 6-1955, p. 151-152.

Il n'est pas très facile de reproduire, sur l'écran d'un oscilloscope, une impulsion qui dure une milliseconde et qui se produit 50 fois par seconde. En balayant à 50 Hz, l'impulsion est reproduite sous forme d'un trait, et on ne peut plus en distinguer les détails. Avec une base de temps fonctionnant à une fréquence plus élevée, la synchronisation devient difficile ; et, pendant vingt balayages, le spot ne reproduit qu'une fois l'impulsion, ce qui provoque un contraste de luminosité gênant. Finalement, il reste la possibilité d'appliquer, aux plaques de déviation horizontale, une tension plusieurs fois plus grande que celle qui est nécessaire pour le balayage de l'écran. Evidemment, il n'est pas toujours facile de se procurer des tensions aussi élevées.

Si on a souvent des impulsions à analyser, il est indiqué de monter une « loupe de base de temps » dont la figure ci-contre illustre le principe. La tension de sortie d'une base de temps ordinaire est appliquée à une diode dont le potentiomètre P permet de régler la polarisation. Ainsi, on arrive à découper une partie plus ou moins grande de l'impulsion. Le potentiomètre P<sub>1</sub> dose l'amplitude du signal conduit à l'amplificateur horizontal. Cette amplification devient nécessaire du fait qu'on n'utilise qu'une partie de la dent de scie. Le gain devant être d'autant plus grand que la partie découpée de la dent de scie est plus petite, il convient de coupler les potentiomètres P et P<sub>1</sub>.

La base de temps doit fonctionner à une fréquence qui est égale à la cadence des impulsions. Une synchronisation retardée peut alors devenir nécessaire. L'écran n'étant ba-



On peut obtenir une image agrandie d'une impulsion en ne balayant qu'avec une partie de la dent de scie.

layé que pendant une fraction de la période de la dent de scie, le spot reste immobile pendant le reste du temps. Une extinction est donc recommandée. Pour cela, on peut appliquer la tension de déviation par l'intermédiaire du condensateur C<sub>1</sub> aux bornes de la résistance R. Les valeurs de ces deux éléments dépendent de la fréquence de la base de temps ; si elles sont correctement choisies,

on obtient une chute de tension constante aux bornes de R pendant la montée de la tension de déviation. En agissant sur P<sub>2</sub>, on s'arrange pour que, en absence de signal, le wehnelt soit suffisamment négatif pour bloquer le rayon cathodique. Ainsi, le spot ne devient visible que quand la chute de tension sur R diminue la polarisation initiale du wehnelt. — F.M.

# CONTROLE ULTRASONIQUE DE TOLES ET FEUILLARDS

W. Lehfeldt, *Elektronische Rundschau*, Berlin, N° 4-1955, p. 135-138.

Les deux défauts les plus courants qui peuvent apparaître dans des matériaux laminés sont les soufflures et les hétérogénéités. Les soufflures se présentent sous forme d'écailles plus ou moins grandes et séparées du corps de la tôle par une mince couche d'air. Des hétérogénéités se montrent aux endroits où les éléments non métalliques (carbone, soufre, etc.) que le fer contient normalement possèdent une densité anormalement forte.

Avec la méthode de l'écho ultrasonique, seules les soufflures peuvent être appréciées, et cela uniquement quand leur épaisseur est de plusieurs millimètres. A des distances aussi réduites, l'écho se produit immédiatement après l'impulsion émise, qui doit donc être d'une durée très courte. Cela conduit également à l'utilisation de vibrations d'une fréquence très élevée. A partir de 10 MHz, la propagation de l'ultrason devient très mauvaise dans les métaux, et il est ainsi pratiquement impossible d'apprécier un défaut à une distance inférieure à 3 mm.

La méthode de « transparence » décrite par l'auteur permet l'examen de tôles aussi minces qu'on veut, et cela avec un appareillage relativement simple et très facile à manier. Sur chaque face de la tôle à examiner, on dispose une tête émettrice et une tête réceptrice (fig. 1). Le contact ultrasonique est assuré par une couche d'eau; un tuyau est raccordé à un réservoir qui compense les pertes de liquide inévitables lors du passage de la tôle entre les têtes.

Le diamètre utile des têtes est de 10 mm; des soufflures couvrant une surface de 10 mm<sup>2</sup> peuvent encore être appréciées avec précision. Même à l'examen d'une tôle brute, la vitesse de défilement peut atteindre 1 m/sec. Avec

plusieurs paires de têtes juxtaposées, on peut contrôler une tôle sur toute sa largeur. L'installation de l'appareillage de contrôle peut donc être faite avantageusement à la sortie du laminoir même. D'après les calculs que l'auteur développe, le prix de revient serait de 2 fr environ par mètre carré de tôle contrôlée.

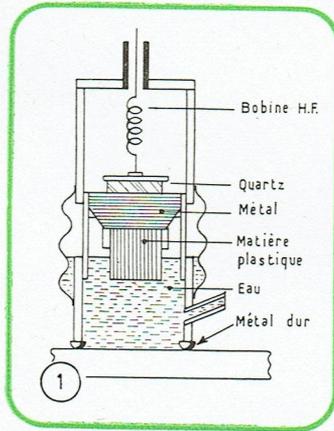


Fig. 1. — Pour le contrôle ultrasonique par transparence, deux têtes comme celle-ci sont disposées de chaque côté de la feuille de tôle.

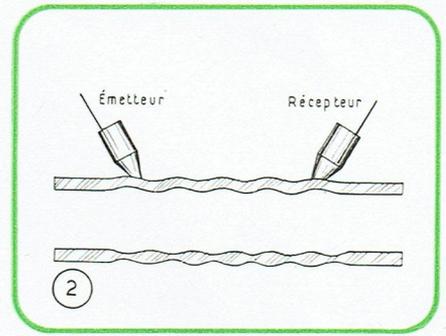


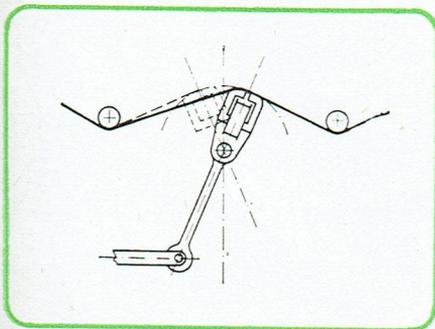
Fig. 2. — La présence d'hétérogénéités dans une tôle peut être décalée par l'excitation d'ondes longitudinales ou de pression.

La méthode décrite ne permet d'apprécier que les soufflures et ne détecte pas les hétérogénéités. Il s'agit là, d'ailleurs, de défauts moins importants, gênants seulement pour certains procédés d'emboutissage. Toutefois, il est possible de les dépister par le procédé illustré par la figure 2. Deux têtes respectivement émettrice et réceptrice sont apposées sur une même surface de la tôle avec une certaine inclinaison et à une distance de 20 à 40 cm. La tôle est ainsi contrainte à des vibrations longitudinales ou de densité dont la propagation est affectée par la dureté du matériau. La vitesse de défilement de la tôle ne peut dépasser 20 cm/s. L'installation au laminoir, où on travaille généralement avec des vitesses plus élevées, se trouve exclue de ce fait; par contre, la méthode est à conseiller à l'utilisateur qui tient à conserver ses outils d'emboutissage le plus longtemps possible. — S.H.

# L'OSCILLOGRAPHIE DES PHÉNOMÈNES TRANSITOIRES

K. Löfler, *Elektronik*, Munich, N° 4-1955, p. 73-77.

Il est relativement facile de rendre un phénomène transitoire visible sur l'écran d'un tube cathodique, quand on peut le reproduire à volonté. Or, il existe des phénomènes transitoires spontanés dont on ne peut prédire



Lecture, par tête oscillante, d'un phénomène transitoire enregistré sur ruban magnétique.

l'apparition et d'autres qui demandent une mise en œuvre trop onéreuse pour qu'on puisse les reproduire fréquemment.

Pour obtenir un oscillogramme dans de telles conditions, on laisse généralement dérouler un film photographique devant l'écran du tube cathodique, et on attend patiemment l'apparition du phénomène. Il serait plus élégant d'utiliser, pour l'enregistrement, la « mémoire magnétique » (Voir « *Electronique Industrielle*, N° 2, p. 48). Contrairement à la pellicule, le ruban magnétique peut être réutilisé indéfiniment; cependant, il ne permet pas de voir immédiatement l'allure du phénomène enregistré.

On sait qu'on peut reproduire périodiquement un phénomène transitoire enregistré sur bande en formant une boucle fermée avec le ruban. Or, avec une vitesse de déroulement de 76 cm/s, une oscillation de 10 000 Hz est reproduite à raison de 131 périodes par centimètre. Dans ces conditions, il est pratiquement impossible de former une boucle qui ne contiendrait que quelques périodes.

Pour l'analyse de tels phénomènes, l'auteur propose un procédé où le ruban reste immobile et où la tête lectrice effectue un mouvement de va-et-vient. La figure ci-contre

illustre le principe utilisé. L'allure du mouvement de la tête est sinusoïdale; il suffit donc d'appliquer aux plaques de déviation horizontale de l'oscilloscope un signal correspondant. La fréquence de balayage peut être comprise entre 5 et 10 Hz, l'amplitude entre quelques millimètres et quelques centimètres.

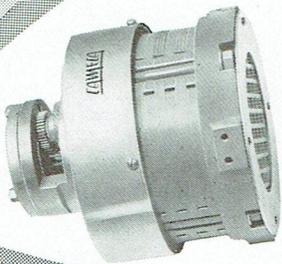
Aux extrémités de la course, la tête ne possède plus qu'une vitesse très réduite; on ne peut donc obtenir une lecture fidèle que sur 85 % environ de l'espace couvert par le balayage. Le retour du balayage gêne l'observation, car il est reproduit en opposition de phase par rapport à l'aller. On peut prévoir un commutateur commandé par le mouvement de la tête et qui court-circuite le signal de cette dernière pendant le retour, ou qui supprime le spot sur le tube cathodique, ou encore qui inverse la polarité de la tête.

Certains phénomènes complexes sont constitués par quelques centaines de périodes qu'il est impossible de reproduire d'une manière suffisamment déliée sur l'écran d'un tube cathodique. On peut alors procéder à une analyse « sous la loupe » en faisant défiler lentement le ruban devant la tête vibrante. — C. C.

**CAMECA**

FRANCE 35

COMPAGNIE D'APPLICATIONS MÉCANIQUES A L'ELECTRONIQUE AU CINÉMA ET A L'ATOMISTIQUE  
103, Boulevard Saint-Denis - COURBEVOIE - DÉFense 23-65

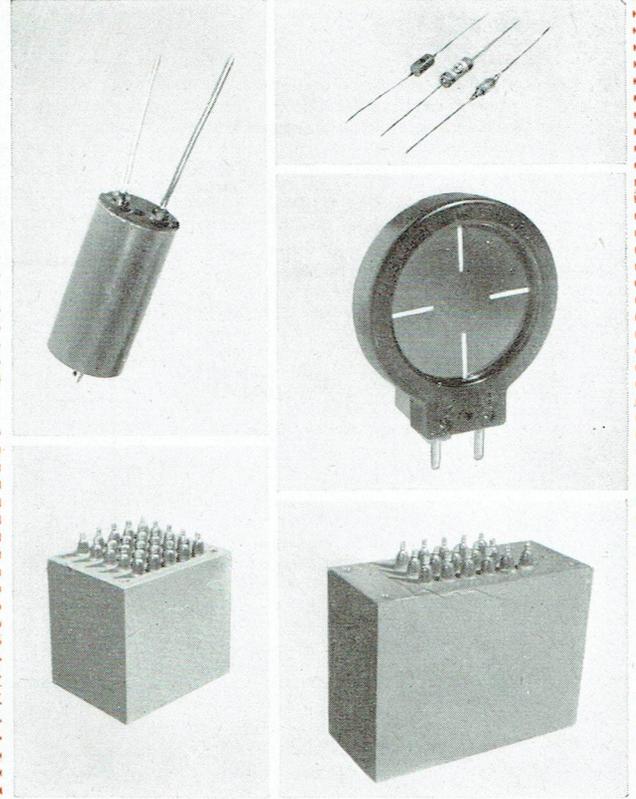


moteur d'asservissement à faible inertie

**TÉLÉCOMMANDE**  
*SERVO-MÉCANISMES*

*TACHYMÉTRIE*

**TÉLÉMESURE**



**EN BOITIERS  
ÉTANCHES  
ÉLÉMENTS  
REDRESSEURS  
DE  
HAUTE QUALITÉ**

- WESTALITE • OXYMÉTAL
- GERMANIUM
- CELLULES PHOTO-ÉLECTRIQUES WESTAPHOT

COMPAGNIE DES FREINS ET SIGNAUX

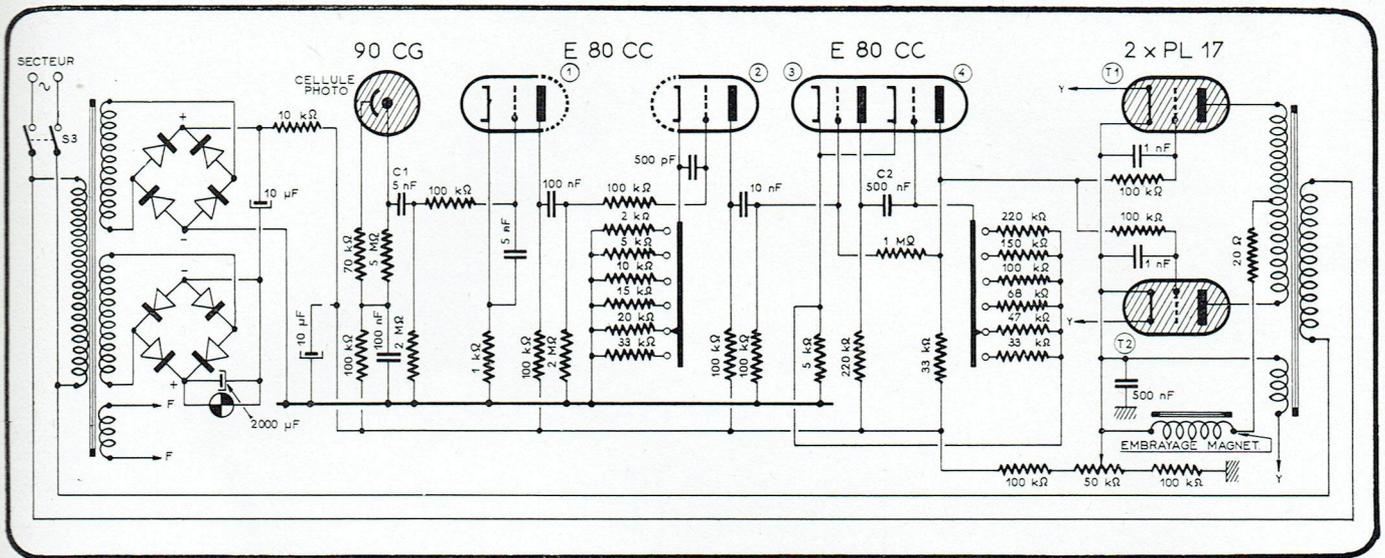
**WESTINGHOUSE**

DÉPARTEMENT REDRESSEURS

51, Rue Lacordaire - Paris-15<sup>e</sup> - LECourbe 46-20

# COMMANDE PHOTO-ÉLECTRIQUE D'UNE MACHINE A COUPER LE PAPIER

R. Kretzmann, Elektronische Rundschau, Berlin, N° 9/1955, p. 324.



Un repère passant devant une cellule photo-électrique commande l'arrêt du défilement d'une bande de papier pendant un temps variable entre 0,1 et 1 seconde.

L'impression de textes publicitaires sur des papiers ou cartons d'emballage se fait souvent de façon que le rouleau ne soit découpé qu'après plusieurs impressions successives. Après le découpage, l'impression doit, évidemment, apparaître bien au milieu de la feuille.

Si le papier défile à une vitesse relativement lente, la commande peut être faite par un relais électro-magnétique. Dans le cas étudié par l'auteur, la vitesse de défilement était de 25 cm/s; un dispositif électronique, conforme au schéma ci-contre, fut suf-

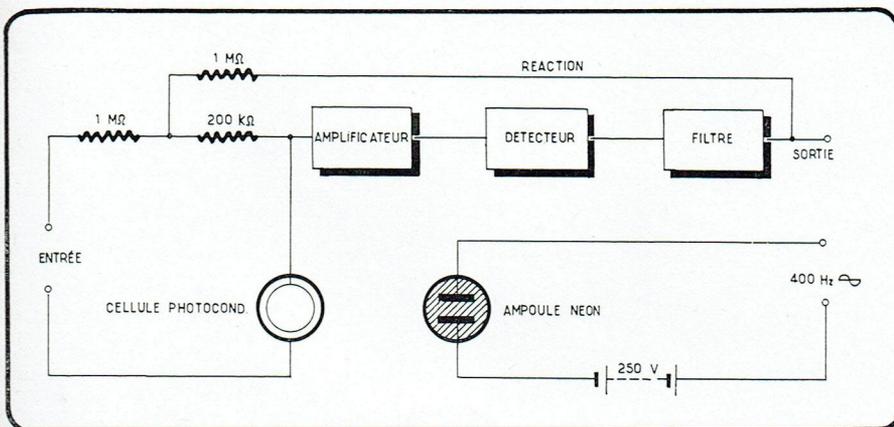
fisant pour obtenir une précision de la découpe de  $\pm 1$  mm.

Sur la bande de papier, on imprime, aux distances voulues, des repères de déclenchement de teinte sombre. Quand un tel repère passe sous la cellule photo-électrique, une impulsion positive est appliquée, par  $C_1$ , à la grille du tube 1. Amplifiée, elle est appliquée au tube 2 dont on peut varier le gain en agissant sur la résistance cathodique. L'impulsion positive prélevée sur la plaque de ce dernier tube commande un multivibrateur monostable (tubes 3 et 4) qui attaque les thyatron T 1 et T 2. Au repos,

le tube 4 est conducteur et la tension sur les grilles des thyatron est inférieure à la tension d'allumage. Le redresseur formé par les deux thyatron ne fonctionne donc que dans le laps de temps compris entre l'application d'une impulsion positive sur la grille du tube 3 et la décharge de  $C_2$ . En agissant sur la valeur de la résistance de grille du tube 4, on peut varier la durée de la conduction entre 0,1 et 1 s. Les thyatron commandent un embrayage magnétique qui interrompt le défilement du papier. Le sectionnement du papier peut être commandé d'une manière analogue. — E.C.

## VIBREUR PHOTO-ÉLECTRIQUE

S. Schwartz et R. Solomonoff, New-York, N° 11/1954, p. 162-163.



La conversion de la tension continue à mesurer en tension alternative est faite par une cellule photo-conductrice éclairée par une lumière modulée à 400 Hz.

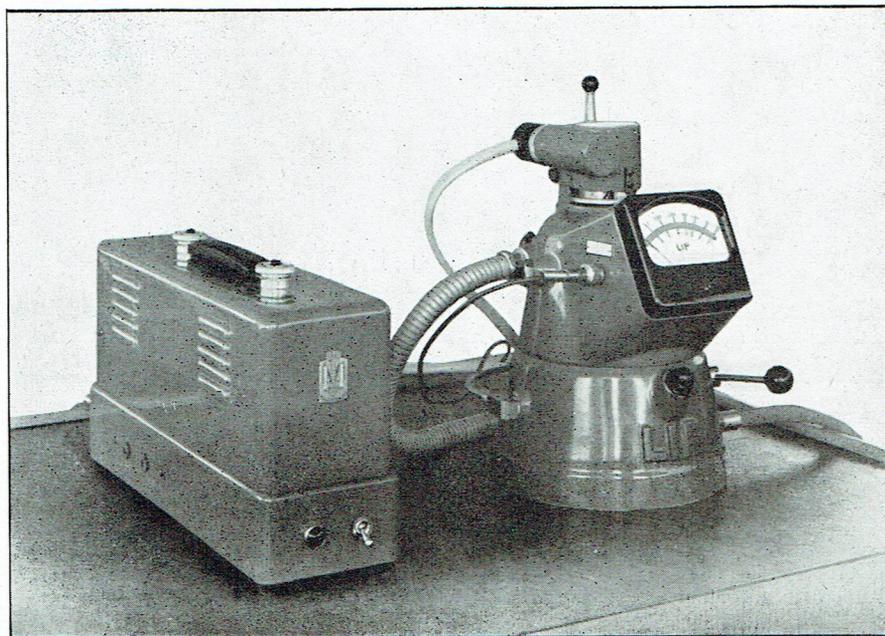
Pour la mesure de très faibles tensions continues, on ne peut utiliser des amplificateurs à liaison directe à cause de leur instabilité. On est obligé de convertir la tension continue à mesurer en tension alternative qu'on amplifiera plus facilement. Comme convertisseur, on utilise souvent un vibreur mécanique qui interrompt périodiquement la tension à mesurer.

Les auteurs proposent de remplacer ce vibreur mécanique par un dispositif photo-électrique dont la figure ci-contre illustre le principe. Il s'agit d'une cellule au sulfure de plomb dont la résistance varie entre 140 et 300 kΩ suivant l'éclairement. La cellule est éclairée par un tube au néon alimenté sous une fréquence de 400 Hz; l'éclairement ainsi obtenu varie de 2140 lx pendant une période.

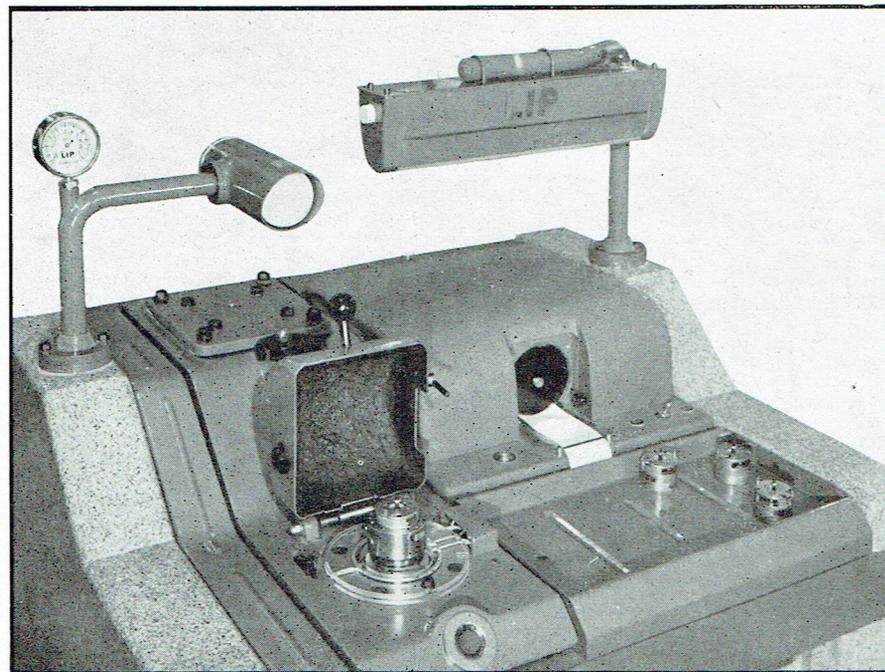
La tension d'entrée est appliquée à un diviseur de tension formé par la cellule et une résistance fixe. Aux bornes de la cellule, il apparaît un signal alternatif dont l'amplitude est proportionnelle à la tension à mesurer. Ce signal est amplifié, puis détecté. Le gain de l'amplificateur est augmenté par une réaction renvoyant une partie de la tension détectée à l'entrée. Le dispositif permet la mesure de tensions continues de quelques microvolts. — C.C.

# MISE AU POINT DES MÉCANISMES D'HORLOGERIE

jusqu'à  
**80 000**  
tours/minute



Le bloc-turbine 141 (à droite) associé au stroboscope électronique 178 permet l'examen des pièces effectuant jusqu'à 80 000 tours/minute.



On voit ici le pupitre de commande de la machine 175, destinée au réglage des mouvements d'horlogerie de vitesses inférieures ou égales à 16 200 tours/minute.

L'ensemble d'appareils que nous allons décrire brièvement a été étudié et réalisé par la Société LIP pour essayer et observer des mécanismes de volume réduit (en particulier des mécanismes d'horlogerie), destinés à fonctionner à des vitesses de rotation déterminées, parfois très élevées.

L'une des installations réalisées comprend un bloc turbine type 141, muni d'un tachymètre électronique et associé à un dispositif stroboscopique. La turbine est du type pneumatique à axe vertical, dont la gamme des vitesses est comprise entre 100 et 80 000 tours/minute, tandis que le dispositif stroboscopique est conçu pour donner un éclair à chaque tour du quill, ce qui donne à l'observateur l'impression d'immobilité totale à n'importe quelle vitesse de rotation.

Ce stroboscope (type 178) est donc synchronisé sur la vitesse de rotation de la turbine, ce qui supprime la nécessité de régler et de retoucher manuellement la fréquence, inconvénient des stroboscopes indépendants utilisés habituellement.

L'appareil fonctionne à partir d'un signal recueilli aux bornes d'un alternateur incorporé au bloc-turbine, signal qui est appliqué à un étage amplificateur (double triode 12 AX 7) attaquant une lampe de puissance (6 AQ 5) qui, à son tour, commande le déclenchement d'un thyatron spécial 5727. Les impulsions qui prennent naissance dans le circuit anodique du thyatron permettent d'obtenir une tension élevée qui alimente un tube à éclats TE 100. Ce dernier produit un éclair lumineux blanc à chaque tour de la turbine.

L'ensemble de l'équipement électronique du stroboscope est prévu pour suivre la pièce observée à des fréquences pouvant aller jusqu'à 90 000 Hz. Par ailleurs, ce stroboscope étant un appareil indépendant, il est possible d'en prévoir l'utilisation sur des dispositifs autres que la turbine 141.

Une autre installation remarquable (machine type 175), également réalisée par LIP, est utilisée dans les chaînes de montage pour le réglage et la mesure de la fréquence des oscillations des mouvements d'horlogerie spéciaux, l'opération étant effectuée dans les conditions d'utilisation, c'est-à-dire lorsque ces mécanismes tournent à très grande vitesse autour de leur axe (jusqu'à 16 200 tours/minute).

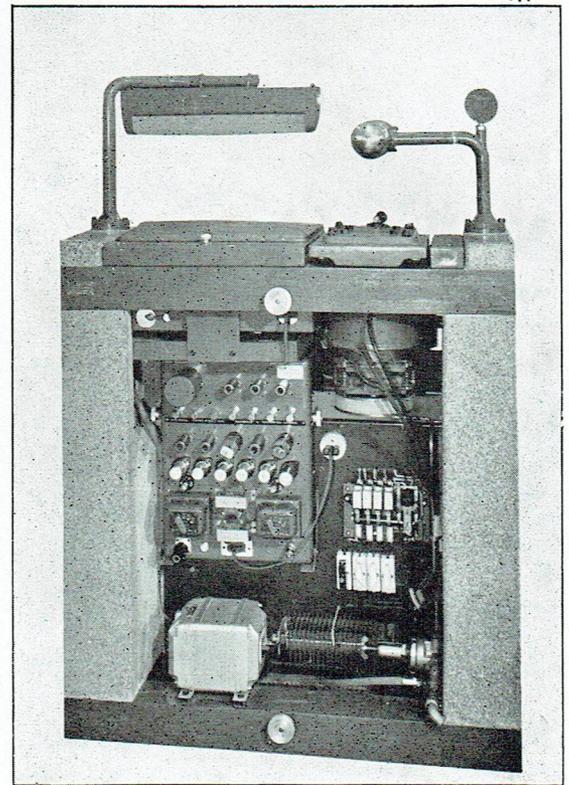
La fréquence des oscillations mécaniques du balancier est transmise, à l'aide d'un capteur électronique, donc sous forme d'oscillations électriques de même fréquence, aux différents étages de démultiplication, à la suite de quoi elle est comparée à la fréquence d'un quartz étalon.

Les écarts éventuels sont enregistrés sur une bande de papier pour donner un graphique dont l'inclinaison par rapport à l'axe de la



*Le Tachytron 170 B permet la mesure des vitesses jusqu'à 120 000 tours/minute.*

*Vue d'ensemble de la machine 175, côté opérateur (à gauche) et côté équipement électronique (à droite).*



bande détermine si le mouvement avance ou retarde. L'inscription sur bande est complétée par l'observation directe sur l'écran d'un oscilloscope, sur lequel apparaît une courbe d'allure sinusoïdale, dont le sens de déplacement latéral indique si le mouvement examiné avance ou retarde : à gauche — retard ; à droite — avance.

Cette machine a été conçue, dans ses moindres détails, en vue d'un contrôle rapide et sûr, effectué par un personnel non spécialisé, et son rendement atteint 30 mouvements vérifiés à l'heure.

Dans le domaine des réalisations LIP, il faut encore signaler le « Tachytron » type 170 B, appareil électronique portable permettant la mesure des vitesses de rotation jusqu'à 120 000 tours/minute. Cette mesure est effectuée à distance, sans aucune liaison mécanique ou électrique avec l'organe tournant analysé, à l'aide d'un capteur photo-électrique d'impulsions, relié à un fréquence-mètre par l'intermédiaire d'un amplificateur-écréteur stabilisé.

La lecture s'effectue sur un galvanomètre comportant 4 échelles et la précision de mesure atteint  $\pm 1\%$  de l'échelle totale pour chaque gamme.

Les différentes photos que nous publions ici montrent bien l'aspect d'ensemble et les détails des machines LIP. En ce qui concerne la machine 175, en particulier, on distingue très bien, sur la photo montrant le pupitre de travail, le tube cathodique sur son bras-support, la bande d'enregistrement (à droite) et le quill porte-pièce avec son capot de protection ouvert (à gauche). A noter que le bâti de cette machine est en ciment armé et pèse 490 kg.

Pour conserver votre collection de  
**"électronique industrielle"**  
*utilisez les élégantes*

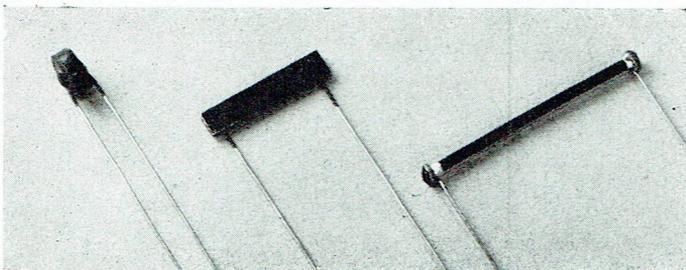
**RELIURES SPÉCIALES**

avec dos en simili-cuir rouge, impression du titre  
 en dorure à chaud, armature à fixation instantanée

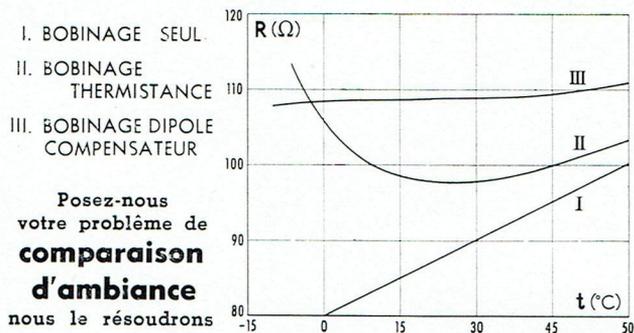
CONTENANCE : 2 Années

PRIX : à nos bureaux, 500 francs ★ Par poste : 550 francs

**ÉDITIONS RADIO**, 9, rue Jacob, PARIS-6<sup>e</sup> • Ch. P. 1164-34



## Compensation d'un bobinage Cu en fonction de la température



**C.I.C.E.** 128, rue de Paris, MONTREUIL - Avr. 22-54

# 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**

THERMISTANCES  
 DIODES AU GERMANIUM  
 PHOTODIODES  
 TRANSISTORS  
 PIÈCES DÉTACHÉES  
 pour transistors  
 REDRESSEURS PLATS

# SIEMENS

CONDENSATEURS

- chimiques
- au Styroflex
- papier métallisé

RESISTANCES  
 FERRITES  
 TUBES  
 CABINES BLINDÉES

Demandez documentation  
**R. KENIGSBERG** 82, rue d'Hauteville, PARIS-10<sup>e</sup> - Pro. 95-12

*Toute une gamme de pièces spéciales*

Ch. G

**COMMUTATION**

**SIGNALISATION**

**PETIT APPAREILLAGE ÉLECTRIQUE**

**OUTILLAGE**

**RADIO**

Demandez Notice 40

**Dyna**

36, AV. GAMBETTA, PARIS-20<sup>e</sup> - ROQ. 03-02

# LE MILLI- MICRO

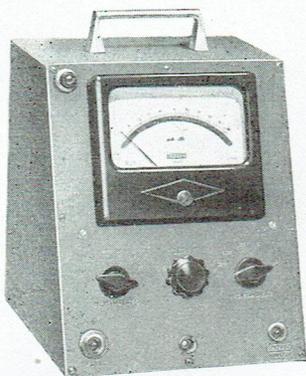
MESURE :

Depuis 0,001 Micro-Ampère (10-9 A) à 1 Ampère - Précision 2 %.

Résistance d'entrée : nulle en Micro-Ampèremètre 200 ohms sur cal. I.m.A.

Robustesse à toute épreuve.

Prix de lancement : 67.500 fr.



## AUTRES APPAREILS A HAUTES PERFORMANCES :

MULTIMESUREUR E.R.I.C. : R d'entrée 10<sup>14</sup> ohms.

ISO-R Mètre : 0.1 Mg un « Milliard » de Mégohms.

MEGOhmmètre CONTROLEUR D'ISOLEMENTS pour résistances et condensateurs 0.5 Mg à 5 millions de Mg. Tension réglable 20 à 500 volts.

KILOVOLTMETRE : tension de crête 15 Va 50 Kilovolts.

INTEGRATEUR ANALOGIQUE : 300.000 signaux sec. pendant 60 minutes.

pH mètres d'atelier : 1/10 pH de Laboratoire, 1/100 de pH. DOCUMENTATION ET DEMONSTRATION SUR DEMANDE

# EMOUZY.

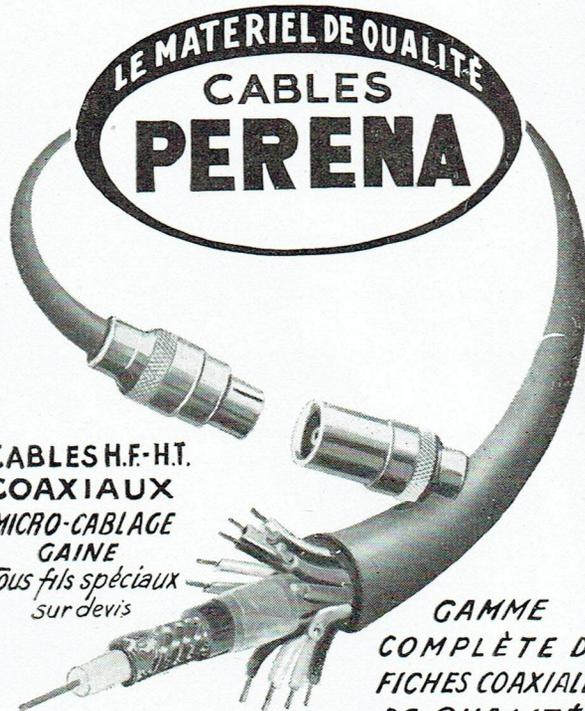
63, rue de Charenton  
PARIS-12<sup>e</sup>  
Tél. DIDerot 07-74

Fondé en 1915

FOURNISSEUR DES GRANDS LABORATOIRES OFFICIELS ET PRIVÉS

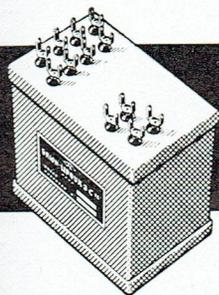
LE MATERIEL DE QUALITE  
CABLES  
**PERENA**

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



GAMME  
COMPLÈTE DE  
FICHES COAXIALES  
DE QUALITÉ!

**PERENA** 48 B<sup>o</sup> VOLTAIRE 48  
PARIS 11<sup>e</sup> - Tel VOL 48-90+



## 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.

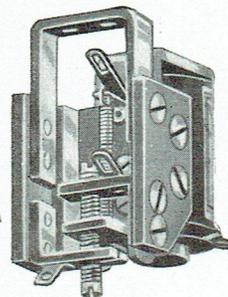
**BL**

MESURES ÉLECTRIQUES  
RELAIS • MICROMOTEURS  
AMPLIFICATEURS MAGNÉTIQUES  
CONTRÔLE THERMIQUE ET INDUSTRIEL

**BRION, LEROUX & C<sup>ie</sup>**

40, QUAI DE JEMMAPES - PARIS (X<sup>e</sup>)  
TÉLÉPHONE : NORD 81-48 et 81-49 - BOTZARIS 85-88

Pour votre matériel  
professionnel  
un seul relais... ACRM



Relais Type RMHA  
modèle miniature,  
alimenté directe-  
ment en courant  
alternatif brut :  
50-60 Ps

**ACRM**

NOMBREUX MODÈLES MINIATURES,  
SUBMINIATURES ET INDUSTRIELS.

SOCIÉTÉ ANONYME AU CAPITAL DE 21.500.000.FRS

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

TÉL : ALÉ.00-76



## BULLETIN D'ABONNEMENT

à découper et à adresser à la

**SOCIÉTÉ DES ÉDITIONS RADIO**  
9, Rue Jacob, PARIS-6<sup>e</sup>

E.L. 5 ★

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. (Etranger 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 : .....



## BULLETIN D'ABONNEMENT

à découper et à adresser à la

**SOCIÉTÉ DES ÉDITIONS RADIO**  
9, Rue Jacob, PARIS-6<sup>e</sup>

E.L. 5 ★

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. (Etranger 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 : .....



## BULLETIN D'ABONNEMENT

à découper et à adresser à la

**SOCIÉTÉ DES ÉDITIONS RADIO**  
9, Rue Jacob, PARIS-6<sup>e</sup>

E.L. 5 ★

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. (Etranger 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, 184, r. de l'Hôtel  
des Monnaies, 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<sup>e</sup>

## PETITES ANNONCES

La ligne de 44 signes ou  
espaces : 150 fr. (de-  
mandes 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.

### ● OFFRES D'EMPLOI ●

## Compagnie I.B.M., France

Recherche :  
**INGÉNIEURS**

format. Gdes Ecoles, ayt plus. années de référ.  
en PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE. Ecr. avec  
C.V. 20, av. Michel-Bizot à Paris 12<sup>e</sup>.

Import. mais. bobines radio offre sit. de  
chef serv. d'études à technicien expérimenté  
libre imméd. Ecr. av. réf. à la Revue n° 810.

### ● DEMANDES D'EMPLOI ●

J. Fem. 25 ans. libre ch. empl. Secr. st-dact.  
connais. compt. anglais. Min. ex. 40.000. Ecr.  
Revue n° 813.

ING. G.E. Licence électronique, T.B. présen-  
tation. Cult. gén. étendue, dynam. accroch. es-  
prit équipe, organisateur, long. exp. indus. ch.  
sit. techn. adminis. même déplacements. Ecr.  
Revue n° 818.

### ● DIVERS ●

70 km ouest Paris, usine 1000 m<sup>2</sup> couverts plus  
terrain 1000 m<sup>2</sup>. H.T. Tranf. 30 kW. E.T. gaz,  
eau, main-d'œuvre sur place. Ets Jeuffroy, Ezy  
(Eure). Tél. n° 1 Ezy.

## TOUTE LA RADIO N° 200

Prix : 150 Francs Par Poste : 160 Francs

## SPÉCIAL EXPORTATION

Comme tous les ans, ce numéro de novem-  
bre SPÉCIAL EXPORTATION, d'un volume  
inhabituel, est bourré d'articles hautement in-  
téressants :

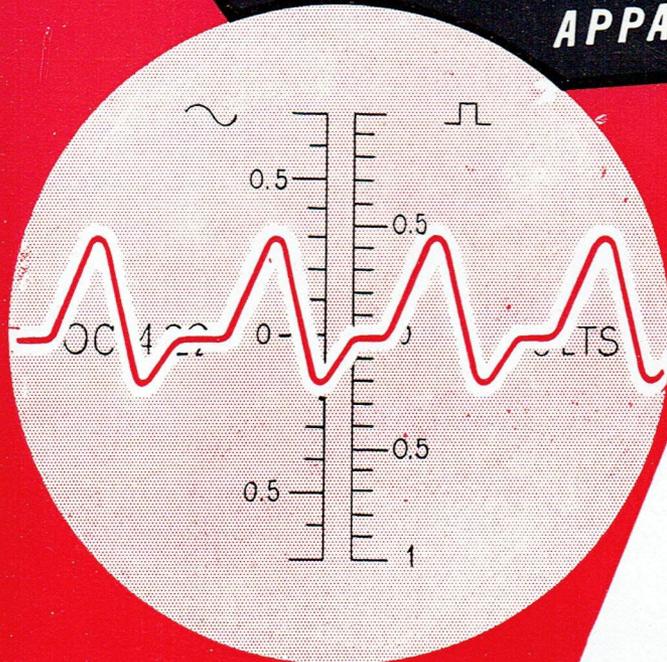
- ★ Les radars modernes, par J.-P. Oehmichen. Suite d'une étude très documentée passant en revue les détails de conception et de réalisation des plus récents dispositifs de repérage à distance.
- ★ La mesure à distance des températures, par Ch. Guilbert. — Directives pour la construction d'instruments de mesure simples à thermistances.
- ★ Les piles thermo-électriques sont-elles intéressantes comme source de basse tension d'alimentation ? par J. Marsac. — Une description qui risque de donner des idées aux auditeurs coloniaux.
- ★ Le transformateur de courant continu, par H. Schreiber. — Description complète d'un montage à transistor permettant d'obtenir la H.T. à partir d'une pile B.T. sans vibreur ni machine tournante.
- ★ Un récepteur de trafic, par J. Henry. — Description détaillée d'un prototype de construction équipé de lampes modernes.
- ★ Le T.L.R. 200, téléviseur à caractéristiques poussées, par C. Bergeron. — Description complète d'une maquette équipée d'un tube 20 CP 4 et munie d'un ensemble de dispositifs annexes destiné à rendre le spectacle aussi confortable que possible.
- ★ L'évolution des bobinages professionnels, par J. Gourevitch. — Les tendances sont plus que jamais à la miniaturisation et à la protection contre les variations dues à la température et à l'humidité.
- ★ Mise au point des amplificateurs à l'aide de signaux rectangulaires, par Ph. Romain. Etude détaillée des conclusions à tirer de l'aspect des oscillogrammes de signaux rectangulaires appliqués à des amplificateurs B.F., vidéo, pour oscilloscope, etc.
- ★ Appareil pour la mesure de l'isolement des condensateurs, par V. Lizy. — Principe et schéma du « tester » créé récemment par Simpson et qui permet le contrôle de l'isolement d'un condensateur, même si une résistance extérieure de très faible valeur est connectée à ses bornes.
- ★ Les circuits appliqués ; principes utilisables pour la création des maquettes et les fabrications de petites séries, par J. Bourcier. — Rappel des avantages, inconvénients et procédé de fabrications des circuits appliqués. Méthodes à suivre pour l'obtention de plaquettes en petit nombre d'exemplaires.

## BASSE FRÉQUENCE ET HAUTE FIDÉLITÉ

- ★ Initiation à la lutherie électronique, par Georges Jenny. — Dans cette deuxième partie d'une très intéressante étude, l'inventeur de l'Ondioline termine l'exposé des bases théoriques qui l'ont inspiré et commence la description concrète de son instrument de renommée mondiale.
- ★ Conception d'un amplificateur R.C. à transistors, par H. Schreiber. — Article destiné aux techniciens désirant se familiariser avec l'utilisation des triodes à cristal.
- ★ Châssis à combinaisons multiples pour montages expérimentaux à transistors, par M. Bonhomme. — En montant et câblant sur des plaquettes à raccordement rapide chaque étage d'un amplificateur à transistors, on dispose d'éléments interchangeables se prêtant à des combinaisons variées avec un minimum de matériel.
- ★ GUIDE DE L'ACHETEUR. — Véritable annuaire de l'industrie, il contient :  
1) Listes des constructeurs par spécialités.  
2) Liste alphabétique avec adresses et téléphone.  
3) Liste des importateurs avec marques représentées.  
4) Liste des organismes professionnels et scientifiques.

Ajoutons que ce copieux numéro est vendu au prix habituel et que les années précédentes, il a été épuisé en peu de jours...

# UN PROGRÈS **CRC** ... L'OSCILLOGRAPHIE, APPAREIL DE MESURES



## L'OSCILLOGRAPHIE A GRAND TUBE OC 422

permet la mesure des grandeurs,  
en lecture directe et sans étalon-  
nage préalable, grâce à :

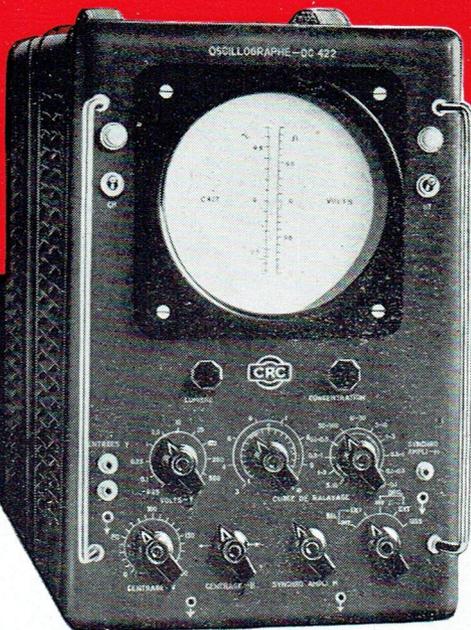
Sa base de temps étalonnée en durées et son  
amplificateur vertical étalonné en tension,  
avec, en plus :

- un tube cathodique de 180 mm. à post  
accélération,
- un amplificateur vertical à grand gain,  
à courant continu et entrées symétriques,
- un amplificateur horizontal à courant continu,
- une base de temps sans retour préalable,  
déclenchée ou relaxée, qui permet d'observer  
le phénomène sans dispositif de retard,
- l'allumage automatique du spot qui supprime  
l'illumination de l'écran et permet d'utiliser le  
tube à pleine luminosité.

### AUTRES OSCILLOGRAPHES CRC

*Oscillographes portatifs - Oscillographes standard -  
Oscillographes bi-courbe - Ensembles oscillogra-  
phiques pour l'étude des phénomènes transitoires -  
Etc... Tous oscillographes spéciaux sur cahier des  
charges.*

★ NOTICE TECHNIQUE SUR DEMANDE



AJAX N° 22 B



## RADIOÉLECTRIQUES ET ÉLECTRONIQUES DU CENTRE

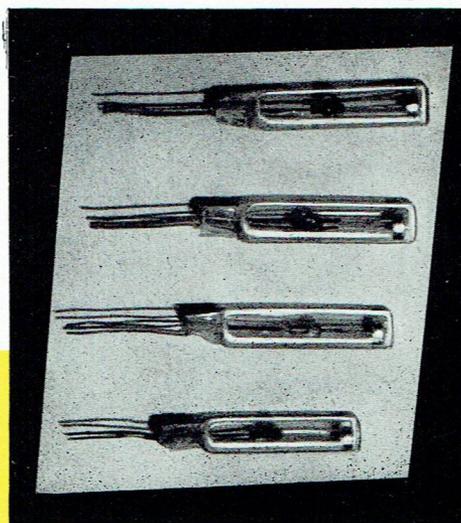
### CONSTRUCTIONS

19, RUE DAGUERRE, SAINT-ETIENNE (LOIRE)  
TÉLÉPHONE : E2 39-77 (3 lignes groupées)

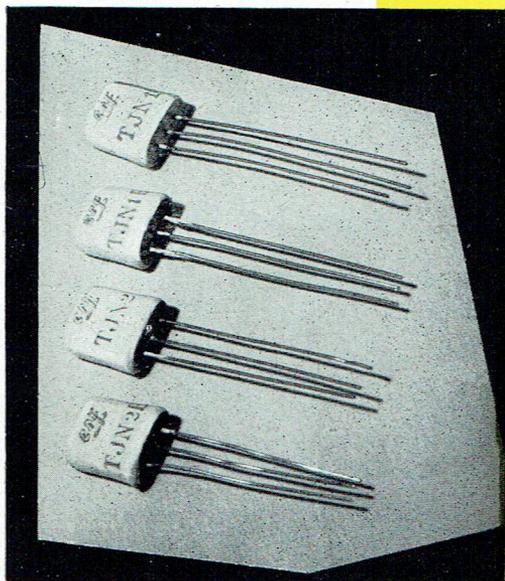
BUREAUX A PARIS : 36, RUE DE LABORDE - VIII<sup>e</sup> - TÉLÉPHONE : LABorde 26-98

**rendement**

Cellules  
**PHOTO - ELECTRIQUES**  
de grande sensibilité ; pour  
détection d'éclairéments faibles  
ou forts.



Cellules **PHOTO-ÉLECTRIQUES**



**TRIODES à jonction P.N.P.**  
pour montages amplificateurs  
ou oscillateurs fonctionnant  
à des fréquences pouvant  
atteindre quelques centaines  
de kilocycles (kc/s).

**miniaturisation**

**Triodes**

**GERMANIUM**

COMPAGNIE GÉNÉRALE DE T. S. F.  
DÉPARTEMENT DE RECHERCHES PHYSICO-CHIMIQUES  
PUTEAUX (Seine) - 12, Rue de la République  
LON 28-86

Demandez nos notices Nos 383 et 450