

Copy 2

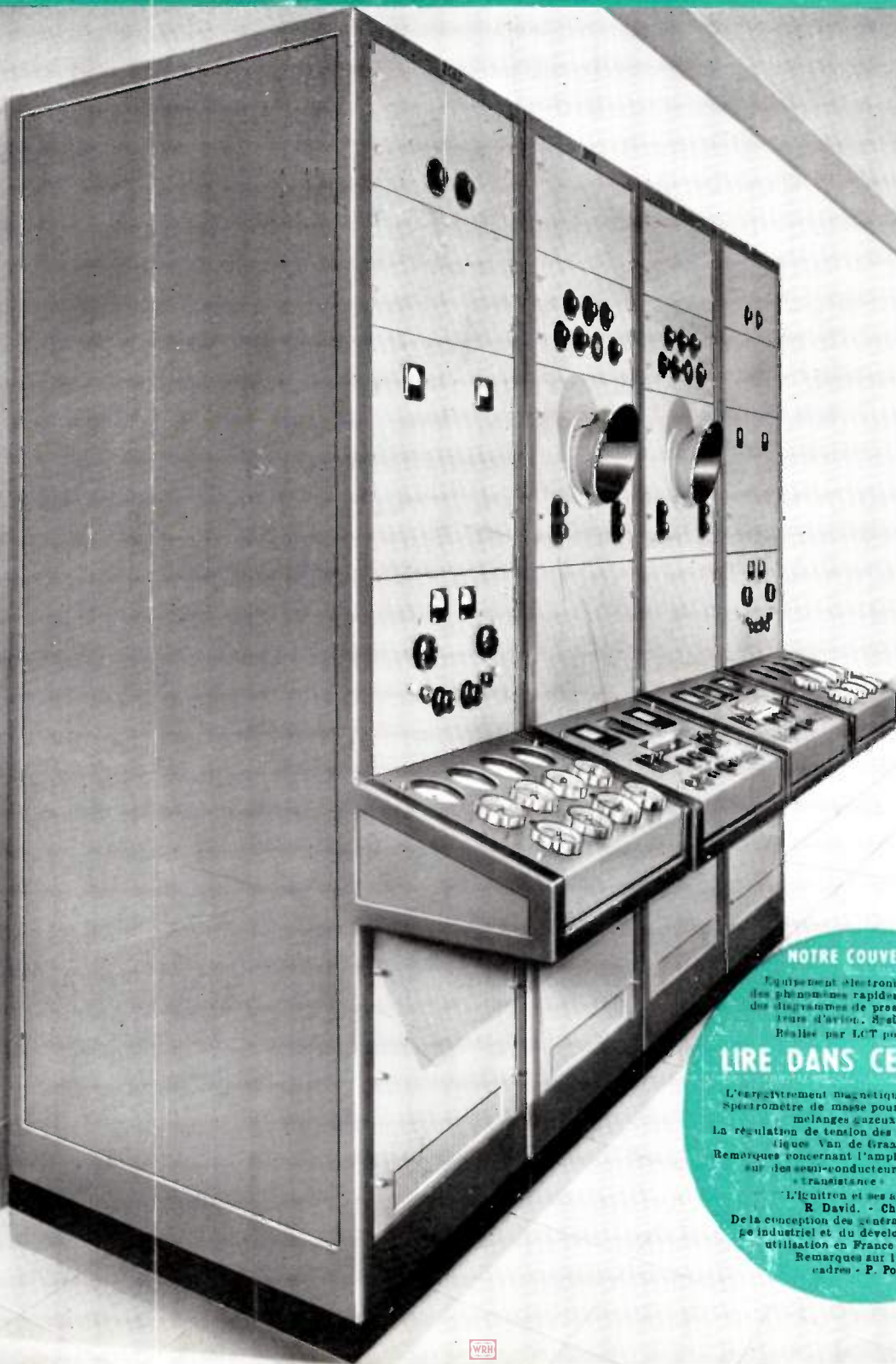
L'ONDE ÉLECTRIQUE

30^e ANNÉE N° 284

NOVEMBRE 1950

PRIX : 160 FRANCS

BULLETIN DE LA SOCIÉTÉ DES RADIOÉLECTRICIENS
ÉDITIONS CHIRON, 40, RUE DE SEINE, PARIS-6^e



NOTRE COUVERTURE

Équipement électronique l'analyse
des phénomènes rapides et en particulier
des diagrammes de pression dans les mo-
teurs d'avion. Système Fleury.
Réalise par LCT pour SNERMA

LIRE DANS CE NUMÉRO

L'entraînement magnétique sonore - F. Gallet
Spectromètre de masse pour l'analyse rapide des
mélanges gazeux - J. Taieb
La régulation de tension des générateurs électrosta-
tiques Van de Graaff - J. Taieb
Remarques concernant l'amplification observée sur
des semi-conducteurs (phénomène du
"transistance" - Mataré
L'ignitron et ses applications
R. David - Ch. Caussin
Dela conception des générateurs H.F. à usage
industriel et du développement de leur
utilisation en France - J. Girardeau
Remarques sur l'usage des
radars - P. Poincelot

**QUAND IL S'AGIT
DE**

condensateurs...

**ET
QUEL QUE SOIT
LE PROBLÈME..**

CONDENSATEURS
ÉLECTROLYTIQUES - AU
PAPIER - TUBULAIRES
ANTIPARASITES
TÉLEPHONIQUE - BLINDÉS

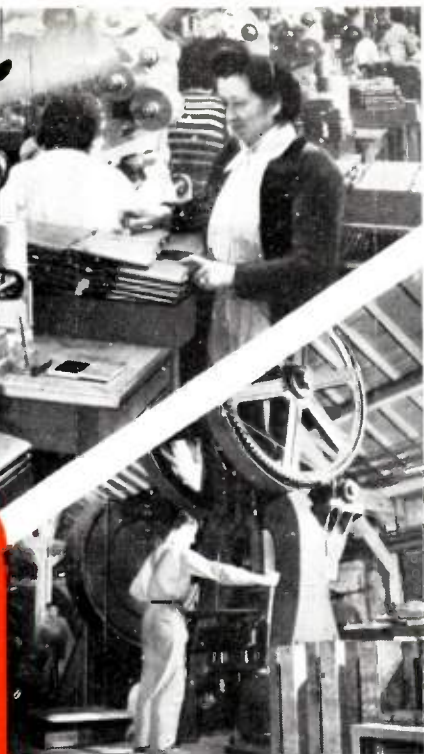
CONDENSATEURS
POUR FLUORESCENCE -
A DÉCHARGE - FILTRES
- DE DÉMARRAGE -
POUR L'AMÉLIORATION DU
FACTEUR DE PUISSANCE

CONDENSATEURS
ÉMISSION - RÉCEPTION
MICA - CÉRAMIQUES
TÉLÉPHONIE POUR H.T.
POUR TÉLÉVISION - A GAZ
AVIATION - ETC... ETC...

**LA PLUS IMPORTANTE
PRODUCTION FRANÇAISE
DE
CONDENSATEURS**



Imprégnation gros matériel



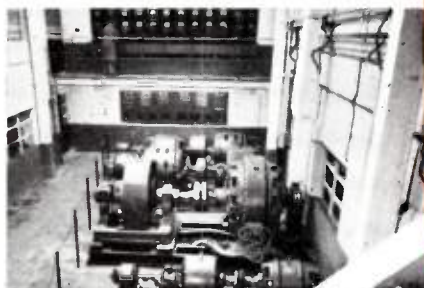
Une presse à grande puissance



Vue d'un laboratoire (chimique)



Plate-forme d'essais



Salle des convertisseurs



Une chaîne de montage (facteur de puissance)



USINES A PARIS - SAINT-OUEN - TRÉVOUX

Armés pour le succès...



BLOC "COMPÉTITION" F

avec

"Compétition F"



BLOC 4 GAMMES
MAIS SANS H. F.

HAUTE FRÉQUENCE

4 gammes d'ondes
dont 2 ondes courtes

Aucune dérive en
grandes ondes grâce
au montage spécial
de la partie oscillatrice.

Grande sensibilité
grâce à son étage H. F.
CV. 3 fois 130 + 360 pf.
24 réglages

- TOUS RENSEIGNEMENTS -

"Compétition 46"



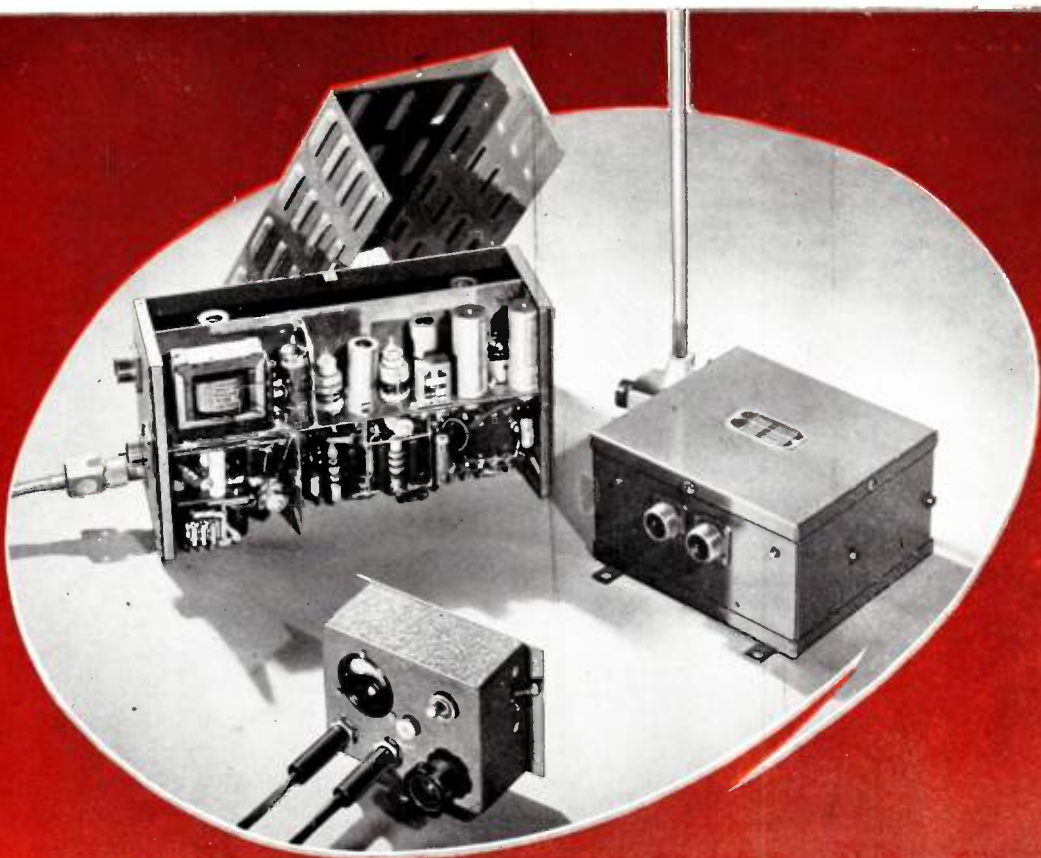
BLOC 4 GAMMES
avec CV 2 fois 490 pf.

SUPERSONIC
34, RUE DE FLANDRES - PARIS-19°



SUPERSONIC
TÉLÉPHONE : NORD 79-64

AG. PUBLÉDITEC-DOMENACH



Équipements pour Avions

★ **ÉQUIPEMENTS LÉGERS V.H.F.**
modulation d'amplitude,
modulation de fréquence.

★ **APPAREILS DE LABORATOIRE**
Fiches coaxiales - Synchroscope
Modulomètre - Mésureur de
champ - Récepteur panoramique

★ **TECHNIQUE DES HYPERFRÉQUENCES**

★ **SERVOMÉCANISMES**
Relais régulateurs à impulsions
Relais vibrants - Pilotages
automatiques.

SOCIÉTÉ FRANÇAISE

NAVIGATION

29, RUE DU PONT, 29



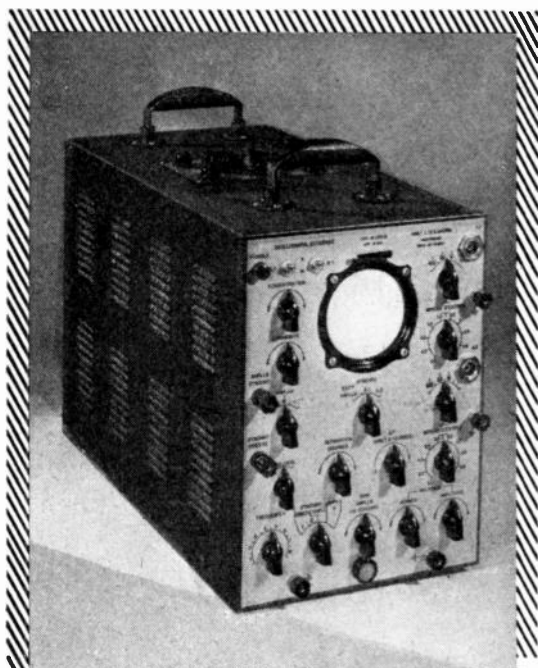
D'ÉQUIPEMENT POUR LA

AÉRIENNE

NEUILLY-s-SEINE - MAI. + 49-35

Ag. PUBLÉDITEC-DOMENACH

Régisseur exclusif de la Publicité de l'Onde Electrique : Agence-Publéditec-Domenach, 21, Rue des Jeuneurs, PARIS-2^e, Tél. CENTRAL 97-63



Nouvel OSCILLOGRAPHES CATHODIQUES A 2 VOIES IDENTIQUES *avec commutateur incorporé* TYPE 264 B

- Tube à post-accélération.
- 2 amplificateurs verticaux, gain = 2.000 — b.p. 2,5 MHz à ± 1 db.
- Balayage relaxé ou déclenché, 3 à 250.000 c/s; observation sur le retour pour transitoires très courts.

Notice technique, prix et délais sur demande.



RIBET & DESJARDINS

13, RUE PÉRIER, MONTROUGE (SEINE) ALE. 24-40

CONDENSATEURS AU MICA PROFESSIONNELS

CONFORMES AUX NORMES
DES ADMINISTRATIONS

1000 PF
 $\pm 1\%$

5.000 PF
 $\pm 1\%$

20.000 PF
 $\pm 1\%$

1000PF
 $\pm 1\%$

10 000 PF
 $\pm 1\%$

5 000 PF
T E 10 000 V

50 000 PF
 $\pm 1\%$

TROPICAUX
ENROBÉS

ÉTANCHES

SOUS BOITIER CÉRAMIQUE

TOUTES PRÉCISIONS
JUSQU'À 0,5 %

TOUTES PUISSANCES
JUSQU'À 5 KVAR

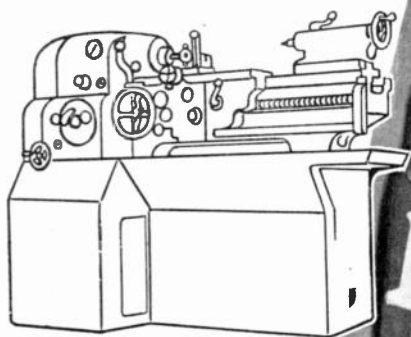
STÉAFIX

17, RUE FRANCŒUR, PARIS-18° - TÉL. MON. 02-93, 61-19

TOUTES CAPACITÉS
JUSQU'À 200.000 PF

TOUTES TENSIONS
JUSQU'À 10.000 VOLTS

LES APPLICATIONS INDUSTRIELLES DE L'ELECTRONIQUE NECESSITENT DES TETRODES A GAZ



INSENSIBLES A
LA TEMPÉRATURE
AMBIANTE
ENTRE - 40°
ET + 80° C.

A CHAUFFAGE
RAPIDE
15 A 30 S.

ROBUSTES
ET CONSTANTES



3870A
0^A8



3868A
3^A

*L.M.T. est le spécialiste
des tétrodes à gaz*

**CONSULTEZ-NOUS
SUR NOS AUTRES FABRICATIONS**

Téléphonie automatique - Redresseurs - Dis-
patching - Émetteurs radio - Radiogoniomètres
Récepteurs de radiodiffusion - Liaisons radio
multivoies - Public-address - Équipements de
studios, microphones, tubes à vide et à gaz, etc...

L.M.T.

Le Matériel Téléphonique

BOULOGNE-BILLANCOURT (SEINE)

SERVICE COMMERCIAL TUBES A VIDE

46, Avenue de Breteuil, PARIS 7^e - SÉG. 90-04 c1



Revue Mensuelle publiée par la Société des Radioélectriciens
avec le concours du Centre National de la Recherche Scientifique

ABONNEMENT D'UN AN FRANCE 1650 » ÉTRANGER 1950 »	ÉDITIONS CHIRON 40, Rue de Seine — PARIS (6^e) C. C. P. PARIS 53-35	Prix du Numéro : 160 francs
---	---	--

Vol. XXX

NOVEMBRE 1950

Numéro 284

SOMMAIRE

SOMMAIRE		
		Pages
L'enregistrement magnétique sonore.....	F. GALLET	449
Spectrographe de masse pour l'analyse rapide des mélanges gazeux.....	J. TAIEB	458
La régulation de tension des générateurs électrostatiques Van de Graaff..	J. TAIEB	462
Remarques concernant l'amplification observée sur des semi-conducteurs (phénomène de "transistance").....	H. F. MATARÉ	469
L'ignitron et ses applications.....	R. DAVID Ch. CAUSSIN	476
Remarques sur l'usage des cadres.....	P. POINCELOT	485
De la conception des générateurs H. F. à usage industriel et du développe- ment de leur utilisation en France.....	J. GIRARDEAU	488

Sur la couverture :

Équipement électronique d'analyse des phénomènes rapides et en particulier des diagrammes de pression dans les moteurs d'avion. — Système Fleury (Réalisé par L.C.T. pour la S.N.E.C.M.A.).

Les opinions émises dans les articles ou comptes-rendus publiés dans L'Onde Électrique n'engagent que leurs auteurs.

SOCIÉTÉ DES RADIOÉLECTRICIENS

FONDATEURS

† Général FERRIÉ, Membre de l'Institut.

† H. ABRAHAM. Professeur à la Sorbonne.

† A. BLONDEL, Membre de l'Institut.

P. BRENOT, Directeur à la Cie Générale de T. S. F.

J. CORNU, Chef de bataillon du Génie e. r.

† A. PÉROT, Professeur à l'Ecole Polytechnique.

† J. PARAF, Directeur de la Sté des Forces Motrices de la Vienne.

La Société des Ingénieurs Coloniaux.

BUTS ET AVANTAGES OFFERTS

La Société des Radioélectriciens, fondée en 1921 sous le titre « Société des Amis de la T.S.F. », a pour buts (art. 1 des statuts) :

1° De contribuer à l'avancement de la Radiotélégraphie théorique et appliquée, ainsi qu'à celui des Sciences et Industries qui s'y rattachent ;

2° D'établir et d'entretenir entre ses membres des relations suivies et des liens de solidarité.

Les avantages qu'elle offre à ses membres sont les suivants :

1° Service gratuit de la revue mensuelle *L'Onde Électrique* ;

2° Réunions mensuelles, avec conférences, discussions et expériences sur tous les sujets d'actualité technique ;

3° Visites de diverses installations radio-électriques : stations d'émission et de réception, postes de navires et d'avions, laboratoires, radiophares, expositions, studios, etc. ;

4° Renseignements de tous ordres (joindre un timbre pour la réponse).

COTISATIONS

Elles sont ainsi fixées :

1 ^o Membres titulaires, particuliers	1.200	Fr.
— sociétés ou collectivités 6.000 fr.)		au gré

	12.000 fr.	} de la Société ou Collectivité
	ou 25.000 fr.	
2 ^e Membres titulaires, âgés de moins de vingt-cinq ans, en cours d'études	600 fr.	

Les membres de ces deux catégories, résidant à l'étranger, doivent verser en plus un supplément pour frais postaux de 300 fr.

3° Membres à vie :

Les particuliers, membres titulaires, peuvent racheter leur cotisation annuelle par un versement unique égal à dix fois le montant de cette cotisation soit 12.000 fr.

4° Membres donateurs :

Seront inscrits en qualité de donateurs, les membres qui auront fait don à la Société, en plus de leur cotisation, d'une somme égale au moins à 5.000 fr.

5° Membres bienfaiteurs :

Auront droit au titre de « Bienfaiteurs », les membres qui auront pris l'engagement de verser pendant cinq années consécutives, pour favoriser les études ou publications techniques ou scientifiques de la Société, une subvention d'au moins..... 15.000 fr.

Adresser la correspondance administrative et technique, et effectuer le versement des cotisations à l'adresse suivante :

SOCIÉTÉ DES RADIOÉLECTRICIENS

10, Avenue Pierre-Larousse, Malakoff (Seine)

Tél. : ALÉSIA 04-16 — Compte de chèques postaux Paris 697-38

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

CHANGEMENTS D'ADRESSE : Joindre 20 francs à toute demande.

SOCIÉTÉ DES RADIOÉLECTRICIENS

PRÉSIDENTS D'HONNEUR

† R. MESNY (1947) — † H. ABRAHAM (1947).

ANCIENS PRÉSIDENTS DE LA SOCIÉTÉ
MM.

- 1922 M. de BROGLIE, Membre de l'Institut.
 1923 H. BOUSQUET, Prés. du Cons. d'Adm. de la Cie Gle de T.S.F.
 1924 R. DE VALBREUZE, Ingénieur.
 1925 † J.-B. POMEY Inspecteur Général des P. T. T.
 1926 E. BRYLINSKI, Ingénieur.
 1927 † Ch. LALLEMAND, Membre de l'Institut.
 1928 Ch. MAURAIN, Doyen de la Faculté des Sciences de Paris.
 1929 † L. LUMIÈRE, Membre de l'Institut.
 1930 Ed. BELIN, Ingénieur.
 1931 C. GUTTON, Membre de l'Institut.
 1932 P. CAILLAUX, Conseiller d'Etat.
 1933 L. BRÉGUET, Ingénieur.
 1934 Ed. PICAULT, Directeur du Service de la T. S. F.
 1935 † R. MESNY, Professeur à l'Ecole Supérieure d'Electricité.
 1936 † R. JOUAUST, Directeur du Laboratoire Central d'Electricité.
 1937 F. BEDEAU, Agrégé de l'Université, Docteur ès-Sciences.
 1938 P. FRANCK, Ingénieur général de l'Air.
 1939 † J. BETHENOD, Membre de l'Institut.
 1940 † H. ABRAHAM, Professeur à la Sorbonne.
 1945 L. BOUTHILLON, Ingénieur en Chef des Télégraphes.
 1946 R.P. P. LEJAY, Membre de l'Institut.
 1947 R. BUREAU, Directeur du Laboratoire National de Radio-électricité.
 1948 Le Prince Louis de BROGLIE, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences.
 1949 M. PONTE, Directeur Général Adjoint de la Cie Gle de T.S.F.

BUREAU DE LA SOCIÉTÉ

Président :

M. P. BESSON, Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées.

Vice-Présidents :

MM. G. LEHMANN, Ingénieur-Conseil.

de MARE, Ingénieur.

B. DECAUX, Ingénieur en Chef au L. N. R.

Secrétaire Général :

M. R. RIGAL, Inspecteur Général Adjoint des P. T. T.

Trésorier :

M. R. CABESSA, Ingénieur au L. C. T.

Secrétaires :

MM. M. PIRON, Ingénieur du Génie Maritime.

J. DOCKES, Ingénieur des P. T. T.

J. BOULIN, Ingénieur des P. T. T.

SECTIONS D'ÉTUDES

N°	Dénomination	Présidents	Secrétaires
1	Etudes générales.	M. de MARE.	M. FROMY.
2	Matériel radioélectr.	M. AUBERT.	M. ADAM.
3	Electro-acoustique.	M. BEDEAU.	M. POINCELOT.
4	Télévision.	M. MALLEIN.	M. ANGEL.
5	Hyperfréquences.	M. GOUDET.	M. GUÉNARD.
6	Electronique.	M. LÉAUTÉ.	M. BRACHET.
7	Documentation.	M. VILLENEUVE.	M. CHARLET.

Les adhésions pour participation aux travaux des sections doivent être adressées au Secrétariat de la Société des Radioélectriciens, 10, Avenue Pierre-Larousse, à Malakoff (Seine).

DEMANDES D'EMPLOI

074. — Jeune ingénieur, 1 an de pratique connaissant 2 langues étrangères, cherche place dans Service technico-commercial. Ecrire à la Société qui transmettra.

L'ENREGISTREMENT MAGNÉTIQUE SONORE⁽¹⁾

PAR

François GALLET

Ingénieur de la Radiodiffusion Française

1. — Introduction.

L'enregistrement magnétique est une technique relativement très récente, tout au moins sous sa forme actuelle. Son histoire, pour ne pas parler de sa préhistoire, commence en Allemagne peu d'années avant la guerre et son introduction en France n'a guère plus de quatre ans, aujourd'hui.

Ce système s'est néanmoins révélé si riche de possibilités qu'il constitue déjà un objet d'étude très vaste. Le but de cet article ne saurait donc être qu'un rapide coup d'œil sur les principes généraux et les principaux problèmes soulevés par l'enregistrement magnétique. Car malgré un développement rapide, beaucoup de points sont encore mystérieux. Il est même assez frappant de constater à quel point la perfection des résultats repose sur des interprétations douteuses et des hypothèses mal confirmées.

Enfin, plutôt que d'entreprendre une revue complète de tous les types d'appareils existants, il semble préférable de s'en tenir à l'étude des appareils à haute fidélité utilisés aujourd'hui dans de nombreux pays pour les besoins de la radiodiffusion et dont les problèmes englobent la plupart de ceux qui peuvent se poser à propos de l'enregistrement magnétique. Nous verrons seulement avant de conclure quelles sont les principales particularités des autres matériels.

2. — Principe Fondamental.

L'enregistrement d'un signal consiste essentiellement dans l'application à un milieu ferromagnétique d'un champ tel qu'il produise une induction restante sensiblement proportionnelle à ce signal. C'est le défilement du milieu ainsi magnétisé qui sera utilisé pour reproduire par variation d'un flux dans un circuit, le signal initial. Particularité intéressante : le milieu ferromagnétique constituant le support pourra être démagnétisé par un procédé approprié, en d'autres termes l'enregistrement pourra être effacé et le support réutilisé.

3. — La bande magnétique.

Le support utilisé actuellement se présente extérieurement sous la forme d'une bande mince et souple de 6,35 mm de large et 4 à 7 centièmes de mm

d'épaisseur. Il en existe aujourd'hui de très nombreuses variétés qu'on peut classer du point de vue de leur fabrication en deux catégories dites respectivement : bande couchée et bande homogène. La bande couchée dont la fabrication s'apparente à celle des films photographiques est obtenue en déposant sur un support magnétiquement neutre une poudre magnétique à base d'oxyde de fer enrobée dans un liant. Le support utilisé en France est généralement le triacétate de cellulose dont l'emploi tend à se généraliser pour les films cinématographiques de sécurité. En Allemagne, on utilise plutôt des dérivés vinyliques plus résistants, mais plus élastiques. En Amérique l'emploi du papier semble fréquent.

La bande homogène s'obtient au contraire en coulant la matière plastique à laquelle on a préalablement incorporé la poudre magnétique. La bande couchée est de beaucoup la plus utilisée en France actuellement mais la bande homogène n'est pas pour autant abandonnée comme on le dit quelquefois à tort ; il semble d'ailleurs qu'elle soit de plus en plus utilisée en Allemagne.

La fabrication d'une bande de qualité présente actuellement de très sérieuses difficultés dues essentiellement à ce qu'un très grand nombre de variables doivent être contrôlées avec précision et être maintenues constantes avec des tolérances parfois très étroites sous peine de compromettre gravement la qualité des enregistrements : citons en particulier les caractéristiques magnétiques de l'oxyde, mais également la grosseur moyenne des grains (de l'ordre de 1 micron) et la répartition statistique de leur dimension, le nombre de grains par unité de volume, l'épaisseur de la couche et l'état de surface.

4. — L'enregistrement.

L'enregistrement est réalisé au moyen d'un organe que l'on a pris l'habitude d'appeler tête d'enregistrement (fig. 1).

Cette tête se compose essentiellement d'un circuit magnétique torique en tôles empilées, sur lequel est bobiné un enroulement parcouru par le courant à basse fréquence à enregistrer ; un entrefer très mince placé dans un plan méridien provoque la formation d'un champ extérieur. La bande défile devant l'entrefer perpendiculairement à son plan et tangentielle-ment au circuit magnétique

(1) Communication présentée à la Société des Radioélectriciens le 15 Mars 1950

La largeur de l'entrefer qui détermine pour une bonne part les caractéristiques de l'enregistrement varie suivant les modèles de 20 à 50 microns. Il existe toujours un deuxième entrefer symétrique du premier mais généralement plus large qui est utilisé pour régler les caractéristiques du circuit magnétique. La réalisation correcte de ces entrefers exige des moyens mécaniques de grande précision. Pratiquement les bords des deux paquets de tôles sont rectifiés et appliqués l'un contre l'autre avec interposition de deux feuilles de métal non magné-

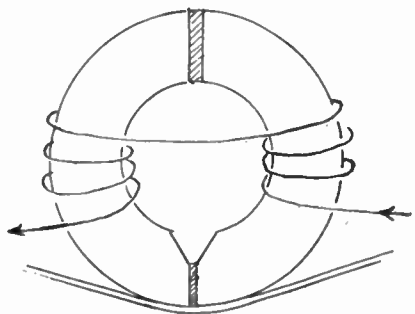


Fig. 1

tique dont l'épaisseur définit les entrefers. L'expérience prouve qu'il est très difficile de fabriquer deux têtes rigoureusement identiques à tous les points de vue, ceci étant dû vraisemblablement au fait que la rectification des tôles à haute perméabilité altère de façon incontrôlable leurs propriétés magnétiques. Le rôle de la tête d'enregistrement est de créer dans la bande une induction rémanente proportionnelle au courant de modulation, mais si cette fonction semble parfaitement remplie sur les appareils actuels, il est encore impossible aujourd'hui d'en donner une explication tout à fait satisfaisante. Cette question est en effet fort complexe ainsi qu'on va le voir.

Supposons le bobinage parcouru par un courant continu et la bande défilant à la vitesse de 77 cm/sec devant la tête. Le passage du courant crée évidemment un champ qui, par suite des valeurs respectives des perméabilités du noyau magnétique, de l'entrefer et de la bande (cette dernière étant comprise entre les deux autres) possède nécessairement l'aspect représenté figure 2. Il est important de remarquer que la forme de ce champ et, en particulier, la longueur de la bande influencée est fonction du rapport des perméabilités de la tête et de la bande, ceci entraînant qu'une variation de l'une de ces grandeurs modifiera les caractéristiques de l'enregistrement. Pour expliquer l'apparition d'un magnétisme rémanent sur la bande, il faut voir comment varie dans le temps le champ appliqué à chacune des particules de la couche magnétique.

De la valeur de la vitesse : 77 cm/sec on déduit immédiatement les longueurs d'onde correspondant aux différentes fréquences du spectre acoustique par exemple :

pour $f = 30$	100	1.000	10.000
on a $\lambda = 26\text{mm}$	7.7mm	0.77 mm	0.077 mm

d'où l'on conclut que si aux fréquences basses on peut facilement négliger la variation du courant de modulation pendant le passage d'une particule devant l'entrefer, par contre ceci devient impossible aux fréquences les plus élevées. Supposons donc la fréquence assez basse et voyons l'action sur la bande d'un courant continu : Ce champ possède en chaque point deux composantes ; l'une longitudinale, l'autre transversale dont les variations dans le temps pour un point de la bande défilant devant l'entrefer sont approximativement représentées figure 3. Les mesures directes étant évidemment fort délicates il ne s'agit que d'une représentation qualitative.

Par suite, si le point considéré de la bande était initialement dans un état magnétique neutre, le

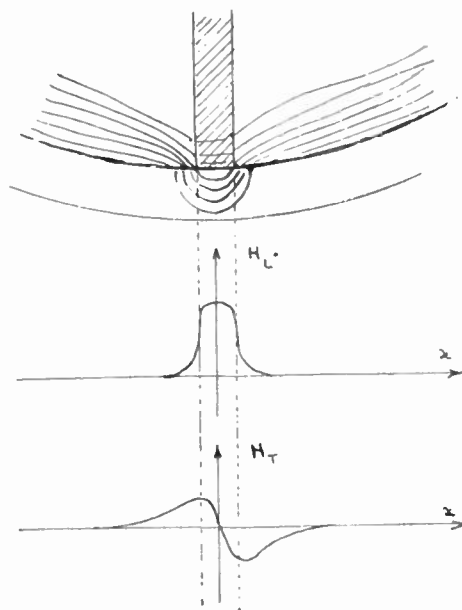


Fig. 2 et 3

champ croissant puis décroissant lui confèrera une induction rémanente B_r définie elle aussi par ses deux composantes. On conçoit alors que l'étude complète de ce cas pourtant fort simplifié soit déjà quasi inextricable, surtout dans le cas des fréquences élevées pour lesquelles les courbes de la figure 3 peuvent être complètement déformées ; c'est ce qui explique pour une bonne part le manque de théorie complète, sur cette question. On suppose généralement que seule la composante longitudinale joue un rôle dans l'enregistrement mais ceci n'a rien d'évident et pourrait même peut-être expliquer certaines difficultés rencontrées dans l'interprétation des phénomènes pour le cas des fréquences élevées.

Voyons maintenant plus en détail ce que l'on convient généralement d'appeler « caractéristique de transfert ».

Pour un matériau magnétique donné, initialement neutre, que l'on soumet à un champ d'abord croissant puis décroissant, la valeur de l'induction rémanente B_r est fonction uniquement du champ maximum H_m . Cette fonction est représentable par une courbe T dite caractéristique de transfert dont la construction graphique résulte immédiatement de la connaissance des cycles d'hystérésis du

matériau (fig. 4). Si l'on s'en tient au cas des fréquences pas trop élevées pour lesquelles le champ ne rencontre qu'un seul maximum, la caractéristique de transfert donne facilement la forme de l'induction rémanente B_r et montre en particulier qu'elle est affectée par rapport au signal initial d'une forte distorsion. Il est d'ailleurs facile de vérifier à l'oscillographe que la forme du signal recueilli à la lecture confirme ces prévisions.

Pour réaliser un enregistrement correct il est donc indispensable de disposer d'une caractéristique de transfert linéaire, ou tout au moins de n'utiliser que les parties linéaires de cette courbe. D'où l'idée de superposer au champ basse fréquence à enregistrer un champ continu de « polarisation ». Un tel procédé a été appliqué dans certains appareils aujourd'hui périmés et conduit effectivement à une distorsion très acceptable malheureusement compensée par un bruit de fond considérable.

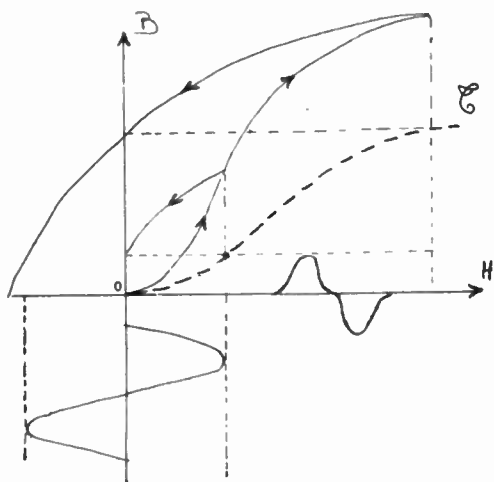


Fig. 4

Nous verrons plus loin que ce bruit de fond élevé est dû uniquement à la dissymétrie du champ appliqué à la bande.

C'est ici qu'intervient la découverte fondamentale grâce à laquelle le magnétophone a pu atteindre sa qualité actuelle. Un ingénieur allemand imagina de remplacer cette polarisation continue, par un champ de polarisation alternatif dont la fréquence ne pouvait être évidemment qu'ultrasonore pour ne pas interférer avec le signal enregistré.

Voyons alors comment l'hypothèse de la caractéristique de transfert explique le rôle de ce champ à haute fréquence.

La figure 5 est suffisamment explicite, elle met nettement en évidence le fait que la distorsion qui affectait le signal basse fréquence dans le cas de l'enregistrement sans polarisation se trouve ici reportée sur la haute fréquence, ce qui est sans importance, alors que, moyennant un choix judicieux de l'intensité haute fréquence, le signal basse fréquence peut être appliqué à une région linéaire de la caractéristique et ne pas être affecté de distorsion sensible. On peut même remarquer qu'un point quelconque P du signal basse fréquence se trouve appliqué simultanément aux points p_1 et p_2 de la caractéristique,

ce dernier étant symétrique de p_1 , lui-même symétrique de p_1 par rapport au point de fonctionnement moyen M . Si l'on admet que la haute fréquence sera filtrée ultérieurement et que seule subsistera en fin de compte sa valeur moyenne, on voit que la caractéristique réelle sera la courbe C obtenue en prenant la moyenne entre la courbe de transfert primitive T , et la courbe T' symétrique par rapport au point M . On annule ainsi la courbure locale de la caractéristique de transfert et on conçoit même que si, comme l'expérience semble le confirmer, cette courbe est assimilable sur une très grande longueur à un arc de parabole, la caractéristique finale puisse être remarquablement linéaire.

Arrivés à ce point, il n'est pas inutile de faire la critique de cette théorie, car si ses principaux mérites sont d'une part sa simplicité et de l'autre l'absence de concurrente sérieuse, ces mérites sont évidemment tout relatifs et l'hypothèse n'a pas échappé à de nombreuses attaques. On peut lui reprocher d'admettre l'existence d'une caractéristique de transfert définie indépendante de la fréquence et applicable simultanément au signal basse fréquence, et au courant haute fréquence de polarisation. Elle néglige également systématiquement les variations du champ en direction, ou plus exactement suppose que les effets des deux composantes s'ajoutent linéairement sans s'influencer mutuellement.

Si l'on examine en détail les hypothèses faites

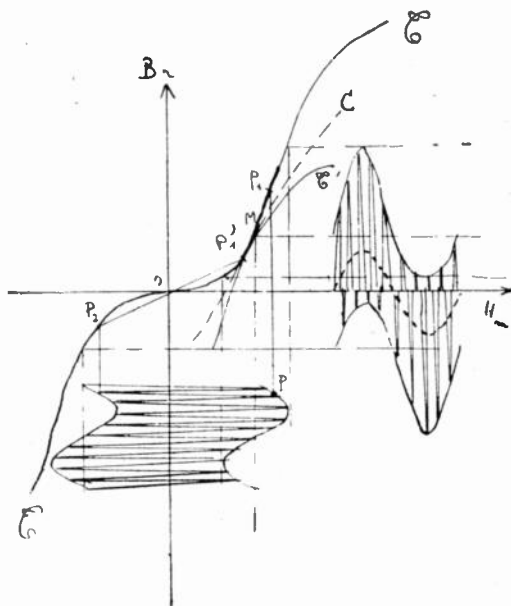


Fig. 5

d'une part, et de l'autre les résultats expérimentaux, il apparaît bien que malgré l'absence d'une confirmation décisive, due surtout à la difficulté des mesures directes sur la bande et à l'imprécision des connaissances sur la forme exacte des caractéristiques, il n'existe aucun argument valable permettant d'éliminer cette théorie. Il semble même qu'elle permette de prévoir qualitativement tous les phénomènes observés dans l'enregistrement des fréquences basses ; par contre, il semble qu'aux fréquences élevées apparaissent des phénomènes diffé-

rents mal connus dont l'influence deviendrait prédominante.

Si l'on rejette systématiquement cette possibilité d'explication, il semble bien que l'on en soit réduit pour l'instant à parler d'un rôle sensibilisateur du champ haute fréquence qui créerait une agitation du milieu magnétique favorable à l'enregistrement.

5. — Démagnétisation.

Supposons donc malgré l'ignorance où nous sommes du mécanisme de ce phénomène, que la bande possède après magnétisation une induction rémanente longitudinale en chaque point proportionnelle au signal à enregistrer.

La forme générale du flux, qui en résulte, est indiquée sur la figure 6. La variation de la composante longitudinale de l'induction provoque nécessairement l'apparition de pôles magnétiques régulièrement espacés à la surface de la bande ; en d'autres termes, les lignes d'induction sortent de la bande pour se re-

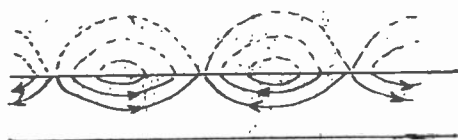


Fig. 6

fermer à l'extérieur. Tant que la bande n'a pas encore quitté la surface de la tête d'enregistrement, ces lignes d'induction se referment dans un milieu de réluctance négligeable. Dès que la bande enregistrée s'éloigne de la tête, intervient un phénomène particulier connu dans la théorie des aimants sous le nom de démagnétisation.

On sait par exemple que lorsqu'un aimant est fermé par une armature, le circuit ne possède aucun pôle et ne produit par conséquent aucun champ ni intérieur ni extérieur. Sur son cycle d'hystérésis B, H fig. 7 son état est représenté par le point A, ($H = 0, B = B_r$) au contraire, dès qu'il y a un entrefer des pôles apparaissent qui créent un champ dont l'action vient s'opposer, à celle de l'induction rémanente. On admet généralement que la valeur de ce champ démagnétisant est, pour un aimant de forme et de nature données, proportionnelle à l'induction :

$$H = -k B$$

d'où il résulte qu'un état d'équilibre s'établit dans lequel le point représentatif vient en B_1 point d'intersection de la courbe d'hystérésis et de la droite $H = -k B$. Il est utile de remarquer que le coefficient k est très généralement fonction décroissante de la longueur de l'aimant, le champ intérieur d'un pôle d'intensité donnée étant plus sensible pour un aimant court. L'équilibre d'un aimant très long s'établira en un point très voisin de A ($H = 0, B = B_r$) alors que pour un aimant très court, l'équilibre sera représenté par un point très voisin de C ($B = 0, H = -H_c$).

Revenons maintenant à la bande magnétique ; l'analogie avec une série d'aimants est assez évi-

dente et permet de comprendre qu'au moment où la bande quitte la tête les pôles qui apparaissent créent un champ démagnétisant qui réduit la valeur de l'induction rémanente.

L'aspect essentiel de ce phénomène est sa variation avec la fréquence enregistrée ; l'analogie des aimants permanents montre immédiatement que l'effet démagnétisant croît rapidement avec la fréquence, la valeur de la constante k décroissant avec la longueur d'onde, la droite d'équilibre de la figure 7 passe de la position (1), pour les fréquences basses à la position (2), pour les fréquences élevées. Cet effet est suffisant pour effacer presque complètement la composante de l'induction rémanente due au champ de polarisation HF .

Une autre conséquence de cette démagnétisation est la suivante. Si l'on modifie les propriétés magnétiques de la bande de façon à augmenter l'induction rémanente B_r , sans changer le champ coercitif H_c la position du point B_1 sera beaucoup plus affectée par ce changement que celle du point B_2 , alors que ce serait l'inverse, pour une variation du champ coercitif. D'où il résulte que la réponse d'une bande

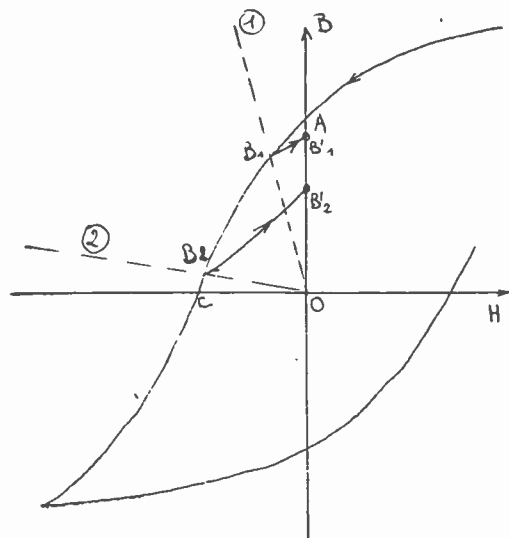


Fig. 7

aux fréquences basses est surtout fonction de la rémanence de sa couche magnétique et que la réponse aux fréquences élevées est surtout fonction de son champ coercitif.

Il faut toutefois remarquer qu'au moment où la bande va aborder la tête de lecture, les circuits magnétiques correspondant à chaque alternance du signal vont se refermer à nouveau dans un milieu perméable annulant ainsi le champ démagnétisant. Toutefois, par suite de l'irréversibilité des phénomènes ferromagnétiques, le point de retour se trouve différent du point de départ, et en fin de compte il subsiste tout de même un effet démagnétisant résiduel qui comme le premier croît avec la fréquence en étant limité par le champ coercitif.

Comme pour les aimants d'ailleurs le cycle tend à se stabiliser et s'il arrive parfois d'observer de très légères variations des propriétés d'un enregistrement entre les deux premières lectures, il n'est pas douteux

que l'état de la bande enregistrée finisse très vite par n'être plus altéré par les lectures successives.

6. — Lecture

Il s'agit maintenant d'utiliser l'induction rémanente existant sur la bande pour reconstituer le signal *B. F.* initial. On utilise pour cela une tête de lecture dont la constitution, la forme et les dimensions rappellent de très près celles de la tête d'enregistrement, les principales différences étant d'une part un entrefer plus étroit, de 10 à 30 microns suivant les cas, et d'autre part un bobinage à impédance généralement plus élevée.

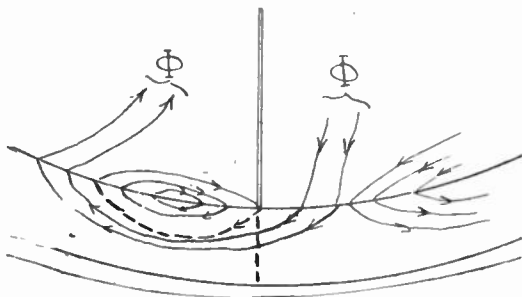


Fig. 8

Compte tenu de la largeur plus faible de l'entrefer, on peut faire la même remarque que pour l'enregistrement, à savoir que pour les fréquences basses on peut négliger l'entrefer devant la longueur d'onde, tandis que ce n'est plus possible pour les fréquences élevées.

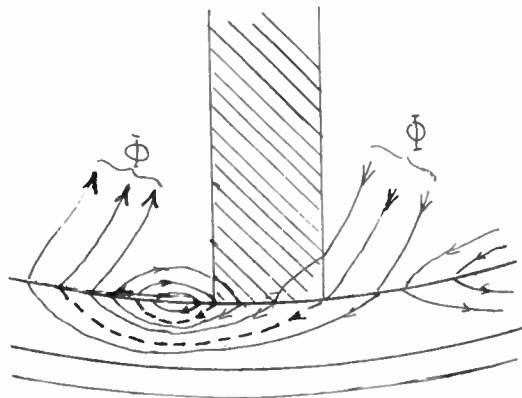


Fig. 9

Supposons donc pour commencer la fréquence assez basse. La figure 8 représente sensiblement la répartition du flux produit par la bande au voisinage de la tête de lecture, elle montre nettement que le flux qui traverse à chaque instant le bobinage est égal à celui qui passe dans la section de la bande située dans le plan de l'entrefer. Or, dans le cas d'un enregistrement sans distorsion, et en négligeant, pour l'instant, l'effet de démagnétisation d'ailleurs peu sensible pour ces fréquences, le flux est de la forme :

$$\Phi = \Phi_0 \sin \omega t$$

d'où on déduit l'expression de la tension induite dans la tête :

$$(1) \quad E \text{ (mV)} = 10^{-5} \frac{d\Phi}{dt} = 10^{-5} \Phi_0 \omega \cos \omega t$$

Il apparaît donc que l'amplitude du signal recueilli est, toutes choses égales, proportionnel à la fréquence ; en d'autres termes, son niveau croît de 6 décibels par octave.

Passons maintenant au cas des fréquences élevées. Il n'est plus possible alors de négliger la largeur d'entrefer et il faut tenir compte de la portion du flux qui passe de la bande dans la cale d'entrefer et qui va évidemment se partager entre la face amont et la face aval, cette dernière recueillant seule le flux utile, tout au moins dans le cas de la figure 9. Le calcul exact de la répartition du flux est évidemment très délicat. On peut toutefois se faire une idée à priori de l'allure du phénomène en faisant une hypothèse simplificatrice, par exemple en admettant que chaque tube de flux qui sort de la bande entre les faces de l'entrefer se partage entre ces faces en raison inverse des distances. Le calcul devient alors facile, et conduit à une formule remarquable :

$$(2) \quad E = 2.10^{-5} \Phi_0 \frac{v}{e} \sin \pi \frac{e}{\lambda}$$

où v est la vitesse de défilement

Φ_0 le flux maximum dans la bande

e la largeur d'entrefer

λ la longueur d'onde

et E l'amplitude en mV du signal recueilli.

Remarquons d'abord que, lorsque λ est assez grand, cette formule coïncide avec celle qui a été établie pour les fréquences basses.

Si on suppose Φ_0 indépendant de la fréquence, la courbe de réponse de l'ensemble (fig. 10) est donnée par cette formule qui fait apparaître une fréquence de coupure pour :

$$\lambda = e, \quad f_c = \frac{v}{e}$$

Le phénomène de démagnétisation intervient évidemment pour modifier cette courbe de réponse, mais on peut néanmoins mettre en évidence expérimentalement une fréquence de coupure au-delà de laquelle le signal réapparaît. Cette vérification est difficile dans les conditions normales car si $v = 77 \text{ cm/sec}$ et $e = 20 \text{ microns}$ on a $f_c = 38\,500 \text{ c/s}$ mais en faisant la lecture avec des entrefers 10 à 20 fois plus larges on confirme très nettement les prévisions ci-dessus.

La formule (2) indique également comment varie la réponse en fonction de la vitesse de défilement. Pour une réduction de vitesse de moitié, par exemple, on observe d'une part une réduction proportionnelle de toutes les longueurs d'onde, et d'autre part une chute de niveau de 6 décibels à toute fréquence due au terme v de la formule (2). L'expérience confirme parfaitement ces prévisions.

Les conséquences que l'on peut tirer de la même formule en ce qui concerne l'influence de la largeur d'entrefer sont plus difficiles à vérifier. En effet, si la formule indique une diminution du signal lors-

que e augmente, fait facile à contrôler pour les entrefers larges et les fréquences élevées, par contre elle ne tient pas compte du fait que la réluctance de l'entrefer, supposée très grande dans le calcul peut au contraire devenir très petite pour les entrefers très étroits ; il en résulte alors une perte systématique de niveau qui l'emporte assez vite sur le gain que la formule (2) laisse prévoir. Ceci explique donc qu'il existe, de ce point de vue, une largeur optima d'entrefer, tout accroissement donnant la chute des fréquences élevées prévue par la formule (2) et toute réduction donnant une chute à toute fréquence par diminution de la réluctance.

La figure 10 montre donc comment varie le niveau de sortie en fonction de la fréquence pour un courant constant dans la tête d'enregistrement. La courbe en pointillé correspond au cas où l'effet de démagnétisation est négligé. Pour obtenir une courbe de réponse globale droite, il est donc nécessaire de compenser la double chute révélée par cette courbe aux fréquences basses et aux fréquences élevées. Cette correction peut se faire dans l'amplificateur de lecture ou dans celui d'enregistrement. Bien qu'aucune normalisation ne soit encore intervenue dans ce domaine, la plupart des fabricants préconisent une préaccentuation des fréquences élevées à partir

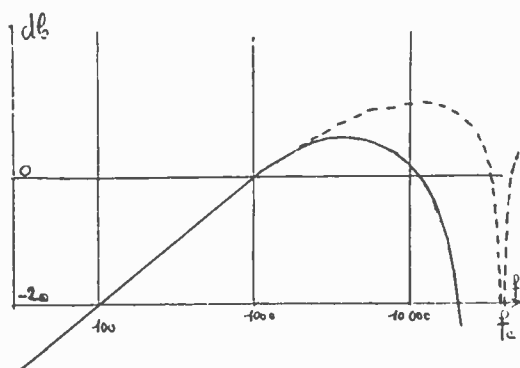


Fig. 10

de 1.000 c/s à l'enregistrement, de façon à n'avoir plus qu'à relever les fréquences basses à la lecture. Cette solution présente de nombreux avantages, elle permet notamment d'améliorer les performances dans le domaine du bruit de fond et de la distorsion harmonique.

7. — Effacement.

La méthode utilisée pour effacer les enregistrements est d'un usage très général pour ramener un matériau ferromagnétique à l'état neutre. Elle consiste à soumettre la bande à un champ alternatif croissant jusqu'à saturation et décroissant ensuite aussi lentement que possible jusqu'à zéro. La qualité de l'effacement obtenu dépend d'une part du nombre d'alternances pendant lesquelles le matériau est resté saturé et d'autre part de la valeur toujours très faible de l'induction rémanente résiduelle.

Pour obtenir un bon effacement on utilise le plus souvent un champ à haute fréquence qui est appliqué à la bande au moyen d'une tête analogue à la tête

d'enregistrement, mais dont l'entrefer est beaucoup plus large (quelques dixièmes de mm) ce qui permet d'obtenir une décroissance beaucoup plus lente du champ dans la bande. Pour simplifier le matériel on utilise souvent le même oscillateur pour l'effacement et la polarisation HF ce qui semble ne présenter aucun inconvénient.

8. — Réalisation du matériel.

La réalisation du matériel d'enregistrement à haute fidélité utilisant les principes ci-dessus, présente un certain nombre de difficultés techniques qui sont surtout d'ordre mécanique.

Il s'agit tout d'abord de faire défiler la bande à vitesse constante, devant les trois têtes généralement placées dans l'ordre suivant : effacement, enregistrement, lecture, ce qui permet d'une part l'effacement systématique immédiatement avant enregistrement et d'autre part, le contrôle instantané par la lecture immédiatement après enregistrement avec un décalage dans le temps à peu près imperceptible. La bande est généralement enroulée sur des plateaux horizontaux et son mouvement est obtenu en la pressant entre l'axe rigoureusement calibré d'un moteur synchrone et un galet de caoutchouc qui évite le glissement. Il faut en outre assurer la tension des bobines dérouleuse et enrouleuse pendant le fonctionnement, et prévoir la possibilité de réembobiner la bande à grande vitesse après lecture. Pour toutes ces raisons et bien que ceci n'ait rien d'absolu, les machines professionnelles actuelles sont le plus souvent équipées de trois moteurs distincts.

Les difficultés de construction des têtes ont déjà été signalées. Il faut mentionner en outre un problème assez délicat qui est celui du parallélisme des entrefers. On conçoit facilement que la qualité d'un enregistrement exige le parallélisme des entrefers d'enregistrement et de lecture. Si on considère par exemple la bande enregistrée comme formée d'une infinité d'enregistrements linéaires juxtaposés sur la largeur de la bande, on voit immédiatement qu'une inclinaison de la tête de lecture produit un affaiblissement dû à la lecture simultanée d'enregistrements élémentaires déphasés progressivement d'un bord à l'autre de la bande. Le calcul confirmé par l'expérience montre que pour maintenir la courbe de réponse satisfaisante jusqu'à 12.000 c/s il faut assurer l'orientation des entrefers avec une précision angulaire de l'ordre de $10'$ ce qui suppose une construction mécanique irréprochable.

Mentionnons enfin que la réponse aux fréquences élevées dépend au plus haut point de l'intimité du contact entre la bande et la tête de lecture, toute pellicule intermédiaire de quelques microns seulement suffisant à produire une chute de niveau sensible.

Tout ceci montre quelles précautions il est indispensable de prendre pour assurer la stabilité des caractéristiques d'un tel ensemble, surtout si l'on cherche à exploiter simultanément un certain nombre de machines identiques, de façon telle qu'un enregistrement quelconque puisse être lu sur une machine quelconque. Ce résultat indispensable aux

besoins de la radiodiffusion ne peut être obtenu qu'au prix d'une réduction de toutes les tolérances mécaniques et d'un contrôle fréquent et minutieux.

La partie électrique du matériel ne pose aucun problème qui ne soit assez facilement soluble avec les moyens actuels. L'ensemble d'enregistrement comprend un amplificateur d'enregistrement et un amplificateur de lecture plus ou moins corrigés auxquels s'ajoute un oscillateur *HF* pour l'effacement et la polarisation. Le problème le plus délicat est celui du maintien d'un niveau de bruit suffisamment bas pour pouvoir exploiter toutes les possibilités du procédé qui seront étudiées au paragraphe suivant. En dehors des problèmes classiques de filtrage et de protection des circuits, l'adaptation correcte de la tête de lecture à son amplificateur présente quelques difficultés qui sont à rapprocher de celles que pose l'adaptation d'un microphone électrodynamique et qui sont finalement résolues de façon aussi satisfaisante.

9. — Performances obtenues.

1. — Distorsion de fréquence.

Comme nous l'avons vu, l'obtention d'une courbe de réponse totale enregistrement-lecture droite suppose une correction des amplificateurs. Cette correction une fois réalisée, on obtient très facilement un gain total variant de moins de 2 décibels entre 30 et 10.000 c/s. Moyennant une construction particulièrement soignée, certains appareils maintiennent la courbe de réponse avec une chute inférieure à 3 décibels jusqu'à 15.000 c/s.

En fait, cette stabilité est surtout fonction des bandes utilisées et, au moins provisoirement, il est nécessaire pour des enregistrements de haute fidélité, de modifier quelque peu les corrections lorsqu'on change le type de bande, ceci ne présente d'ailleurs aucun inconvénient sérieux, surtout si les propriétés de la bande sont connues à l'avance. On a vu qu'il est également difficile d'assurer l'identité totale des têtes d'enregistrement et de lecture. Les têtes actuelles ayant une durée limitée à quelques centaines d'heures par l'usure des circuits magnétiques il est souvent nécessaire de retoucher légèrement les corrections des amplificateurs lors de leur remplacement.

2. — Distorsion harmonique.

Ainsi que la théorie de l'enregistrement ci-dessus exposée le laisse prévoir, la distorsion pour les niveaux faibles est due, principalement à l'harmonique 3. Elle est influencée par un certain nombre de facteurs qui sont essentiellement :

La qualité des bandes ;

La qualité de la tête d'enregistrement ;

Et surtout la valeur du courant *HF* de polarisation. La théorie de l'enregistrement montre en effet que la valeur exacte de la polarisation est imposée par la forme des caractéristiques de la bande utilisée, et le tracé des courbes de distorsion est sans aucun doute le moyen d'investigation le plus précis dont nous disposons pour étudier la forme de ces courbes.

Enfin la valeur de la distorsion harmonique croît évidemment avec le niveau du signal enregistré.

Les valeurs pratiques rencontrées seront données dans le paragraphe suivant.

3. — Bruit de fond et dynamique.

Les enregistrements magnétiques ne sont pas exempts de bruit de fond, mais la valeur très faible de ce bruit est l'avantage essentiel du procédé. La qualité d'un appareil d'enregistrement est généralement indiquée par la valeur de sa « dynamique » c'est-à-dire par le rapport existant entre le signal le plus faible et le signal le plus fort susceptibles d'être normalement enregistrés et reproduits avec un taux de distorsion maximum donné. Les appareils magnétiques de bonne qualité présentent des dynamiques de 60 à 70 décibels pour une distorsion maximum de 2 % (Rappelons pour mémoire que l'enregistrement sans compression d'un grand orchestre symphonique exigerait environ 70 à 80 décibels, qu'un disque souple pour l'enregistrement direct permet d'atteindre 40 à 45 décibels et qu'un disque commercial dur dépasse rarement 30 décibels.

La cause principale du bruit de fond se trouve dans les irrégularités inévitables des bandes, mais la particularité de l'enregistrement magnétique est que le niveau pratique de ce bruit, même pour une bande médiocre dépend essentiellement de la qualité du matériel utilisé et plus particulièrement de la pureté de la haute fréquence de polarisation et d'effacement.

Supposons en effet la bande parfaitement effacée c'est-à-dire ramenée à un état rigoureusement neutre. Quelles que soient les irrégularités de cette bande, aucun signal ne sera induit dans la tête de lecture. Si la bande ainsi effacée est soumise à un champ non nul parfaitement constant, son induction rémanente sera de la forme :

$$B = B_0 (1 + \varepsilon)$$

ou B_0 est le terme constant et εB_0 une fluctuation due uniquement aux irrégularités de la bande, qui va produire dans la tête de lecture un signal proportionnel à ε et croissant avec l'intensité du champ continu.

La modulation appliquée à la tête d'enregistrement ne présente pas en général de telle composante continue, mais pour les fréquences basses elle peut être assimilée à un « courant continu lentement variable » qui produit un bruit particulier superposé au signal, croissant et disparaissant en même temps que lui, et modulé à la fréquence double de celle du signal. Bien que ce bruit de fond de modulation ne limite pas la dynamique puisqu'il reste toujours très inférieur aux signaux, même les plus faibles il représente néanmoins un défaut gênant. Dans l'état actuel de la technique des bandes on peut généralement le maintenir à 40 décibels au-dessous du signal. L'expérience prouve que ce bruit n'accompagne pas seulement les fréquences basses mais que par suite de leur audibilité moindre il est particulièrement gênant pour l'écoute des fréquences élevées à des niveaux forts.

Il est même tout à fait certain que la haute fréquence d'enregistrement et d'effacement peut pro-

duire un tel bruit lorsqu'elle n'est pas suffisamment pure. La réalisation des oscillateurs doit même être particulièrement soignée, si l'on se propose d'obtenir des dynamiques étendues ; toute dissymétrie, même très réduite, du courant *HF*, à plus forte raison toute composante continue pouvant faire remonter le niveau du bruit de 10 à 20 décibels.

4. — *L'écho, ou effet de copie.*

Lorsqu'une bande enregistrée a été conservée pendant un certain temps roulée en bobine, on observe quelquefois à la lecture que la modulation d'une spire s'est décalquée sur les spires voisines par influence magnétique. L'écho produit un signal parasite à un niveau évidemment bien inférieur à celui du signal, mais qui peut cependant être gênant à cause de la grande valeur de la dynamique et du niveau très bas du bruit de fond. C'est ainsi par exemple, qu'un écho à — 45 décibels qui serait inaudible avec tout autre système d'enregistrement, devient ici presque intolérable dans un enregistrement de haute qualité. On observe parfois des échos multiples qui influencent jusqu'à cinq ou six spires tant avant le signal qu'après.

On a évidemment cherché à s'affranchir de l'écho. Les efforts dans ce sens n'ont pas encore complètement abouti. Les principaux facteurs connus qui influent sur l'écho sont :

La qualité des bandes. Certaines bandes étant incontestablement plus sujettes que d'autres à ce défaut. L'épaisseur du support limite évidemment l'écho en écartant davantage les couches magnétiques des spires contigues dans une bobine.

La température. L'écho apparaît plus fréquemment sur les bandes conservées un certain temps dans une ambiance chaude.

Le temps, influe certainement sur l'écho de plusieurs manières : l'écho n'apparaissant que lorsque la bande est restée bobinée un certain temps d'ailleurs assez court. On a également observé souvent que l'écho a tendance à s'effacer spontanément si la bande est maintenue quelque temps déroulée.

Enfin l'écho est vraisemblablement développé par l'action d'un champ magnétique, spécialement à haute fréquence. On cite même à ce propos des expériences de copie des bandes à des niveaux utilisables par simple passage dans un champ *HF*. Ces expériences permettent d'envisager prochainement la possibilité d'un véritable tirage par contact des enregistrements.

En résumé, si l'écho est encore incontestablement un inconvénient du magnétophone, il convient de le considérer comme une difficulté provisoire et accidentelle due à l'évolution incomplète de la technique et qui est loin de constituer un vice rédhibitoire comme on le prétend parfois.

Comme conclusion de ce chapitre disons seulement qu'il résulte d'essais nombreux et indiscutables que l'écoute d'un bon enregistrement magnétique est absolument indiscernable, même pour l'oreille la plus exercée, de l'écoute de la modulation directe dans les mêmes conditions acoustiques.

10. — *Autres types de matériel.*

Les appareils d'enregistrement magnétique existent aujourd'hui sous les formes les plus diverses, mais tous utilisent les mêmes principes, et en particulier tous ont recours à la polarisation haute fréquence pour l'enregistrement. Les appareils à haute fidélité sur bande sont certainement les plus délicats et les plus complets. Les autres s'en distinguent sur l'un ou plusieurs des éléments suivants :

Forme et nature du milieu magnétique ;

Vitesse de défilement ;

Qualité de la reproduction ;

Présentation, et caractéristiques d'exploitation.

Le support le plus utilisé en dehors de la bande est le fil d'acier de 0,1 mm de diamètre. Tout ce qui vient d'être dit pour l'enregistrement sur bande est à peu près valable pour l'enregistrement sur fil, avec toutefois quelques petites différences en ce qui concerne les courbes de réponse ainsi que les valeurs du bruit de fond et de la distorsion qui sont généralement un peu moins bonnes que celles qui correspondent à la bande. Pour ces raisons, le fil est généralement réservé aux enregistrements de qualité moyenne.

On utilise quelquefois des disques magnétiques en matière plastique moulée, à laquelle on a incorporé l'oxyde magnétique. L'enregistrement se fait longitudinalement au fond d'un sillon qui ne sert que de guide à une tête de lecture légère montée sur un bras pivotant.

Enfin, on tend de plus en plus à utiliser comme support une pellicule perforée de 16 ou 35 mm de large qui présente l'avantage de fonctionner avec les mêmes dispositifs de défilement que les films cinématographiques standards. La largeur du film permet alors d'enregistrer simultanément ou successivement plusieurs pistes sonores sur la même bande.

La vitesse de 77 cm/sec (sensiblement 30 pouces/sec.) est à peu près universellement adoptée pour la haute qualité. Pour d'autres usages on emploie des vitesses plus faibles permettant d'économiser la bande et donnant sur du matériel équivalent une qualité et surtout une stabilité des enregistrements un peu moindres. Les vitesses faibles n'ont pas encore été normalisées et leur choix est pour l'instant laissé à l'initiative des constructeurs. On utilise surtout les vitesses sous-multiples de la vitesse standard soit en particulier 38 cm/sec. (15 pouces/sec.) et 19 cm (7,5 pouces/sec.). On observe actuellement une tendance à la réduction des vitesses utilisées ce qui présenterait de nombreux avantages. L'emploi d'une vitesse faible pour la haute qualité, quoique très probable dans un proche avenir, offre l'inconvénient de réduire les longueurs d'onde et par conséquent d'augmenter considérablement l'importance de la partie du spectre dans laquelle les phénomènes sont plus complexes et mal connus.

11. — Conclusions — Applications.

Les mérites de l'enregistrement magnétique ont été souvent discutés. Quel que soit le point de vue adopté, les procédés magnétiques possèdent indiscutablement sur tous les autres moyens actuels d'enregistrement deux avantages sérieux :

D'une part, de grandes possibilités de qualité ; la supériorité du magnétophone est surtout marquée sur le chapitre du bruit de fond et de la dynamique.

D'autre part et surtout, une souplesse d'utilisation extraordinaire. Il permet en effet l'enregistrement instantané sans préparation spéciale de la machine ou du support, le contrôle immédiat de la qualité pendant l'enregistrement, l'effacement du support et sa réutilisation, la retouche locale d'un enregistrement incorrect, le montage, l'enregistrement de plusieurs pistes sur la même bande, etc., etc.

Tous ces avantages rendent son champ d'application illimité.

La radiodiffusion a été une des premières à utiliser le magnétophone qui se prête particulièrement bien à ses besoins spéciaux. Elle en fait un usage de plus en plus large (la Radiodiffusion Française consomme 150 kilomètres de bandes neuves par semaine).

Le Cinéma commence, lui aussi, à s'intéresser à la bande magnétique qui peut lui rendre des services considérables. Sans même parler de la juxtaposition à l'image d'une piste magnétique sur les copies positives, ce qui présente encore certaines difficultés pratiques, l'emploi du film magnétique pour l'enregistrement au studio ou en extérieurs, repré-

senterait un progrès considérable (économie de pellicule et surtout contrôle immédiat).

Pour les amateurs la question de savoir si le film magnétique pourra remplacer le disque est assez délicate à résoudre. Elle peut vraisemblablement se ramener au problème suivant : sur cent utilisateurs du disque, combien y en a-t-il qui soient susceptibles d'apprécier un élargissement de la bande de fréquence et de la dynamique, étant entendu que telle amélioration suppose un matériel électroacoustique de très bonne qualité donc de prix élevé ?

Nous avons vu à ce propos que si le problème de la copie et du tirage des enregistrements n'est pas encore résolu, il est permis d'espérer qu'il le sera très prochainement. Si l'on songe que l'enregistrement magnétique s'est répandu depuis moins de dix ans, on voit qu'il serait un peu prématuré de considérer ce dernier problème comme définitivement insoluble.

Enfin, l'enregistrement magnétique semble avoir un très grand avenir dans tous les domaines de l'industrie, partout où il y a des ordres à transmettre et à enregistrer, depuis la dictée du courrier jusqu'au contrôle des ordres dans l'aviation ou la marine. On peut même prévoir dans tous ces domaines une véritable révolution grâce au fait que l'enregistrement magnétique assure vraiment et pour la première fois le moyen de saisir la parole au vol partout où la transmission de l'information sous la forme écrite n'est pas indispensable.

Il serait dangereux de vouloir trop prévoir des réalisations futures, l'avenir en pareil cas dépasse toujours les prévisions les plus audacieuses.

SPECTROGRAPHE DE MASSE POUR L'ANALYSE RAPIDE ⁽¹⁾ DES MÉLANGES GAZEUX

PAR

J. TAIEB

Ingénieur au C. E. A.

Nous décrivons un spectrographe de masse réalisé au C. E. A. et destiné à l'analyse rapide des mélanges gazeux. Cet appareil est caractérisé par la possibilité d'observer le résultat de l'analyse sur l'écran d'un oscillographe cathodique, sous forme d'un diagramme appelé spectre de masse du gaz analysé.

1. — Principe de l'appareil.

On sait que des particules électrisées de rapport $\frac{e}{m}$ différent peuvent être séparées par l'action d'un champ électrique et d'un champ magnétique (e : charge de la particule, m : masse de la particule).

Pour analyser un mélange gazeux on ionise les molécules de ce mélange dans une source d'ions. Les ions passent ensuite dans un dispositif accélérateur (champ électrique), puis dans un dispositif sélecteur (champ magnétique) qui les sépare. La trajectoire des ions est un demi-cercle entièrement situé dans le champ magnétique (appareil du type 180°). Les ions correspondant à un rapport donné $\frac{e}{m}$ arrivent ensuite à une électrode collectrice reliée à l'entrée d'un amplificateur.

On peut ainsi mesurer le courant transporté par les ions de chaque masse, et en déduire la proportion de chaque masse dans le mélange.

2. — Différentes parties du spectrographe (fig. 1).

a) *Source d'ions.* Pour ioniser les molécules on utilise le bombardement d'électrons possédant une énergie réglable de quelques eV à 250 eV. La source est constituée par une boîte métallique portant deux fentes. A l'extérieur de la boîte, en face de la première fente, se trouve le filament de tungstène qui produit ces électrons. Les gaz à analyser arrivent par une canalisation, puis passent à travers une fuite réglable (robinet à aiguille) qui maintient une pression de l'ordre de 10^{-3} mm de H_g dans la source. Les ions produits sont extraits de la source à travers la deuxième fente. Signalons que l'ionisation n'est pas un phénomène simple, en ce sens qu'une seule espèce de molécules peut donner naissance à plusieurs espèces d'ions dont les proportions varient suivant les conditions de l'ionisation (pression dans la source, énergie des électrons ionisants).

Notons qu'une faible fraction seulement des molécules est ionisée. Pour éviter que les faisceaux d'ions ne soient dispersés par chocs sur les molécules contenues dans l'enceinte du spectrographe, il faut

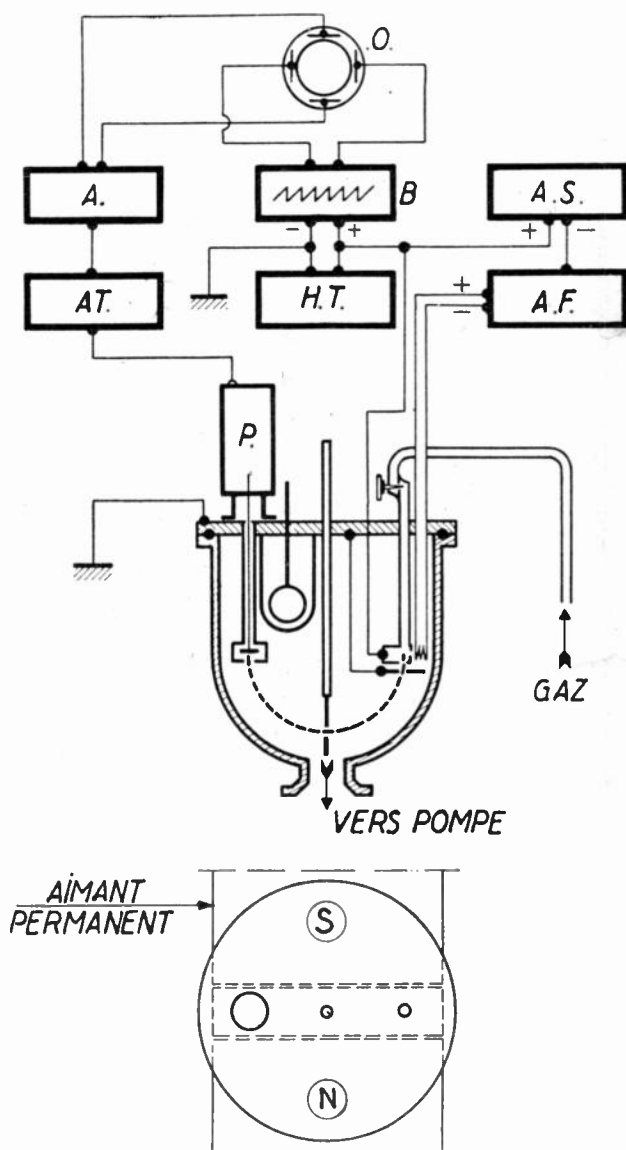


Fig. 1. — Schéma général du spectrographe de masse.

H. T. : alimentation haute tension du dispositif accélérateur.
B : balayage.
A. F. : alimentation de chauffage du filament.
A. S. : alimentation de la source.
O : oscillographe.
P : préamplificateur.
AT : atténuateur.
A : amplificateur.

(1) Communication présentée à la Société des Radioélectriciens le 18 mars 1950.

y maintenir une pression inférieure à 10^{-5} mm de H_g . Une pompe de 100 l/s est employée pour créer ce vide malgré l'afflux des molécules provenant de la source.

b) *Dispositif accélérateur*. La boîte métallique constituant la source d'ions est maintenue à un potentiel positif V . En face de la fente d'extraction se trouve une fente parallèle qui est découpée dans une petite plaque mise à la masse. L'intervalle entre les deux fentes constitue le dispositif accélérateur.

Remarquons que la vitesse initiale des ions issus de la source est négligeable (faible énergie communiquée par le choc des électrons). On peut considérer que la vitesse des ions à la sortie du dispositif accélérateur est entièrement acquise pendant sa traversée : les ions de chaque masse constituent un faisceau monocinétique légèrement divergent.

c) *Dispositif sélecteur*. Il est constitué par un champ magnétique H perpendiculaire à la direction de la vitesse initiale des ions, et parallèle aux fentes. On sait que les ions simplement chargés décrivent

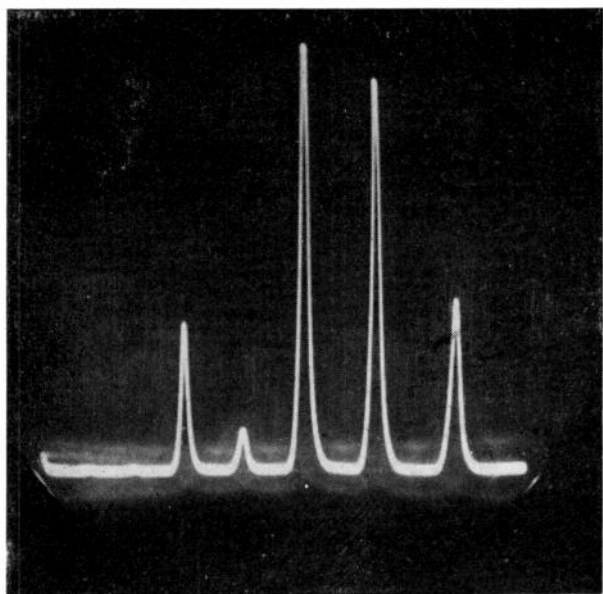


Fig. 2. — Spectre du gaz d'éclairage.
De gauche à droite masses de 20 à 14.

dans ces conditions des trajectoires circulaires dont le rayon R est lié au champ magnétique H , au potentiel d'accélération V et à la masse m de l'ion par la formule suivante :

$$mV = 4,8 \cdot 10^{-5} H^2 R^2$$

(V volts, H gauss, R centimètres).

Chaque masse donnera donc naissance à un faisceau d'ions légèrement divergent et qui converge après un parcours d'un demi cercle dans le dispositif sélecteur (focalisation à 180°).

Le champ magnétique est fourni par un aimant permanent de 2.700 gauss.

d) *Collecteur*. Après parcours dans le dispositif

sélecteur, les ions de rapport $\frac{e}{m}$ donné, pour une valeur déterminée de V , arrivent, après passage à travers une fente dont les parois sont à la masse, à une électrode collectrice reliée à la masse par une grande résistance R .

On mesure le courant qui arrive sur cette électrode. Il est proportionnel au nombre des ions de la masse considérée. Si la tension d'accélération V est la somme d'une tension continue et d'une tension en dents de scie, le rayon de chaque trajectoire varie autour d'une valeur moyenne, et l'électrode collectrice est balayée par l'extrémité d'un certain nombre de faisceaux d'ions. Elle reçoit donc des impulsions, que l'on amplifie et que l'on applique aux plaques de déflexion verticales d'un oscillographe. Le balayage horizontal de l'oscillographe est effectué par une tension en dents de scie synchrone de la première.

La figure tracée sur l'écran de l'oscillographe est stable. Elle est constituée par une série d'impulsions dont la position renseigne sur la nature des gaz contenus dans le mélange ; le rapport des amplitudes des différentes impulsions renseigne sur le rapport des concentrations des différents gaz (figure 2).

3. — Qualités essentielles de l'appareil.

a) *Résolution* : définie par exemple par la dernière masse non confondue à la base avec la suivante. On démontre en effet que lorsque la masse m croît, la base de l'impulsion correspondant sur le spectre décroît comme $\frac{1}{m}$, tandis que l'intervalle séparant

deux masses décroît comme $\frac{1}{m^2}$. La résolution est liée à la qualité de la focalisation. Pour cet appareil la dernière masse non confondue avec la suivante est voisine de 80.

b) *Plus petit rapport de concentration mesurable* : lié à l'optique de l'appareil et à la sensibilité des amplificateurs (bon rapport signal/bruit) : $\frac{1}{1000^e}$ pour cet appareil.

c) *Temps de mesure* : pour les appareils à balayage lent, le temps de mesure est lié à la vitesse du balayage. L'appareil présenté ayant une fréquence de balayage de 100 c/s, le temps de mesure est déterminé par l'inertie de la canalisation reliant le récipient qui contient le gaz à analyser à la source d'ions. Dans la plupart des essais courants, il est de l'ordre de $\frac{1}{10}$ de seconde.

d) Citons pour mémoire deux qualités générales des spectrographes de masse : la *fidélité*, liée à la possibilité de reproduire les mêmes conditions physiques dans la source d'ions (réglage possible du courant et de la tension d'accélération des électrons primaires), et la *linéarité*, qui rend possible l'application du principe de superposition au résultat de

l'analyse. Dans cet appareil, elles sont respectées moyennant quelques précautions opératoires. Il faut y ajouter la commodité d'utilisation propre aux appareils à balayage rapide et liée d'une part à la possibilité d'observation directe et d'autre part au nombre très réduit des réglages et stabilisations des circuits de mesure (amplificateurs à courant alternatif).

La figure 3 représente la face avant du spectrographe de masse.

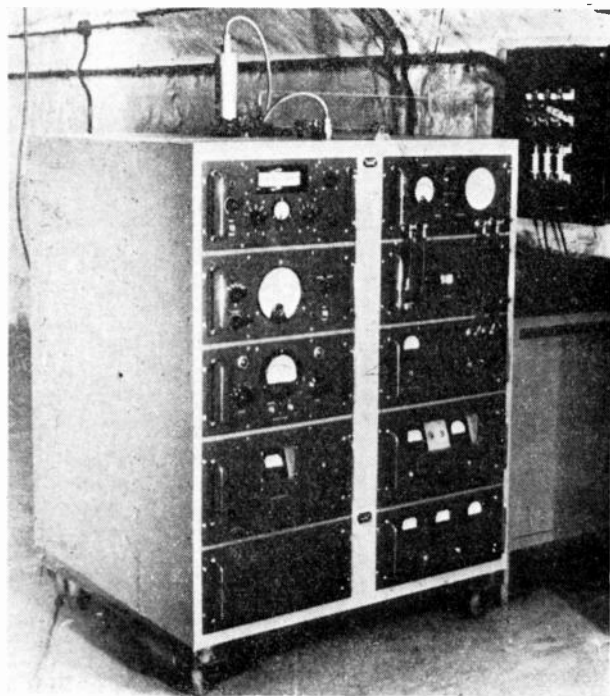


Fig. 3. — Spectrographe de masse pour l'analyse rapide des mélanges gazeux.

Nous ne parlerons pas des différents circuits d'alimentation, qui sont de type classique et non stabilisés. Signalons simplement la possibilité de régler la tension et l'intensité du courant électronique de la source d'ions, la possibilité de régler la composante continue de la tension d'accélération de 0 à 2 500 volts, et la composante en dents de scie de 0 à 200 volts.

L'opérateur peut donc à volonté amener sur l'écran tel ou tel domaine du spectre de masse, et faire varier son étendue, c'est-à-dire le nombre de masses qu'il contient.

4. — Amplificateurs.

La chaîne d'amplification est constituée par un préamplificateur, un atténuateur, et un amplificateur. L'atténuateur permet de ramener le signal de sortie à un niveau constant, ce qui permet l'utilisation d'un amplificateur de qualité courante. La lecture de l'amplitude se fait sur l'atténuateur.

Les qualités essentielles de la chaîne d'amplification, passage sans déformation du signal et bon rapport signal/bruit, conduisent aux spécifications suivantes :

a) Bande passante nécessaire :

Limite vers les hautes fréquences, pour le passage des impulsions : 5 fois la fréquence $\frac{1}{2T}$ (T durée de l'impulsion), soit 5 000 c/s.

Limite vers les basses fréquences, pour le passage des paliers entre impulsions : $\frac{1}{10}$ de la fréquence de récurrence, soit 10 c/s.

b) Rapport signal/bruit.

La figure 4 représente un spectre de masse à faible niveau. On voit que la sensibilité de l'appareil est limitée par le bruit de fond qui se présente sous la forme d'une bande aux contours plus ou moins flous.

Parmi les causes multiples du bruit de fond, signalons tous les bruits dus aux lampes du préamplificateur, le bruit dû à l'agitation thermique dans

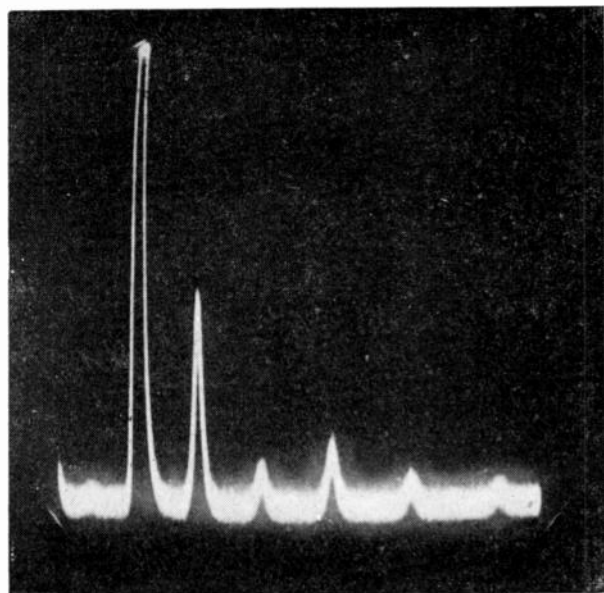


Fig. 4. — Spectre des gaz résiduels du spectrographe.
De gauche à droite masses de 19 à 13.

la résistance R reliant le collecteur à la masse, le bruit dû aux fluctuations du courant grille de la lampe d'entrée à travers la résistance R .

Le bruit thermodynamique, tout autres choses égales, est proportionnel à $\sqrt{R}$, si on le mesure en tension aux bornes de R .

La source de courant possédant une impédance extrêmement élevée, le signal est proportionnel à R . C'est pourquoi l'on a intérêt à augmenter autant que possible la valeur de R .

La bande passante du circuit d'entrée est maintenue malgré l'utilisation d'une résistance R élevée à la valeur déterminée plus haut, grâce à une contre-réaction totale. Dans ces conditions, on peut employer une résistance R de 1 000 M Ω , avec une

bande de 5 kc/s. Le plus petit courant que l'on puisse déceler est alors égal à 10^{-12} ampères (valeur efficace).

Les autres avantages du procédé de contre-réaction sont les suivants : les bruits autres que le bruit thermodynamique sont ramenés à un faible niveau ; le préampli est parfaitement linéaire ; le signal possède un niveau élevé dès l'entrée, ce qui élimine l'influence des ronflements parasites ; la microphonie est diminuée. Il faut signaler la nécessité de blinder avec grand soin le circuit d'entrée.

5. — Applications de l'appareil.

1° Analyse rapide des gaz : analyse de gaz de haut-fourneaux, de gaz d'éclairage, de gaz de combustion, etc... Contrôle de certaines réactions. Contrôle de pureté de certains gaz. Etude des gaz dé-

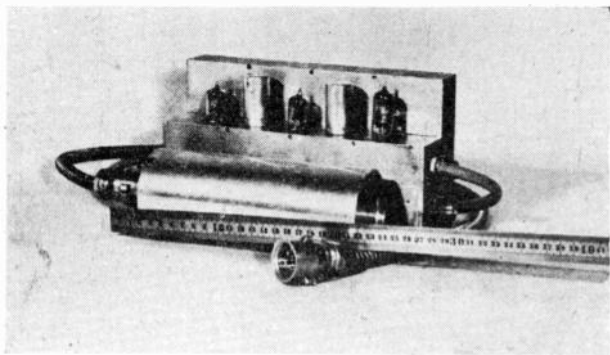


Fig. 5. — Préamplificateur et amplificateur.

gagés lors du pompage des tubes à vide. Analyse quantitative des hydrocarbures légers.

2° Applications en biologie : le spectrographe permet de déceler les isotopes ; c'est l'appareil de mesure utilisé dans la méthode des traceurs stables que

l'on applique en biologie, parallèlement à la méthode des traceurs radioactifs, à l'étude des processus fondamentaux de la vie.

3° Applications à la technique du vide : recherche des fuites. L'appareil permet de déceler de faibles traces d'hélium, à l'intérieur d'une enceinte où l'on fait le vide.

Pour la recherche des fuites on opère en balayant la surface extérieure de l'enceinte avec un pinceau d'hélium. Si une trace d'hélium pénètre à l'intérieur par la fuite, l'appareil l'indique ; on peut ainsi déceler et localiser la fuite, même en présence d'une fuite plus importante.

6. — Amélioration des performances.

L'amélioration des propriétés optiques de l'appareil (focalisation) et de la sensibilité des amplificateurs peut conduire à une amélioration de la résolution ou à la possibilité de mesurer de plus petits rapports de concentration. Nous étudions actuellement une modification du tube qui permet une meilleure résolution, et une modification des amplificateurs qui permettrait de multiplier le rapport signal bruit par un facteur de l'ordre de 50.

Conclusion.

Rappelons pour terminer les qualités fondamentales de la méthode d'analyse au spectrographe de masse : faible quantité de matière nécessaire à l'analyse (pour un gaz à la pression atmosphérique, une fraction de mm^3) ; rapidité de la méthode qui apparaît si l'on compare les quelques minutes nécessaires à l'analyse spectrographique d'un mélange gazeux aux délais que demande l'analyse chimique du même mélange ; possibilité d'effectuer des opérations là où d'autres méthodes sont inopérantes (recherche des isotopes). Enfin sécurité et commodité de la méthode, dues au fait que l'opérateur a sous les yeux le spectre de masse et contrôle sans cesse le résultat de ses mesures.

LA RÉGULATION DE TENSION DES GÉNÉRATEURS ÉLECTROSTATIQUES VAN DE GRAAFF

PAR

J. TAIEB

Ingénieur au C. E. A.

Parmi les accélérateurs de particules utilisés en physique nucléaire, les appareils formés par l'association d'un tube accélérateur et d'un générateur électrostatique sont ceux qui permettent d'obtenir les énergies les plus faibles (3 à 4 MeV en pratique pour les appareils déjà réalisés, 12 MeV en projet). Ils tirent cependant leur intérêt du fait qu'ils sont les seuls à pouvoir fournir des faisceaux intenses, homogènes et stables en énergie. On les utilise comme appareils de mesure, lorsqu'on se propose de déterminer les énergies nécessaires à provoquer, sur une cible, certaines réactions nucléaires (niveaux de résonance, seuils, etc ...).

L'accélération des particules (protons ou deutérons en général) a lieu en une seule fois, dans un tube accélérateur droit dont une extrémité, qui porte la source d'ions, est à un potentiel V , et dont l'autre extrémité, qui porte la cible, est à la masse. Il suffit de maintenir constant, avec une approximation donnée, le potentiel V , pour maintenir l'énergie des particules accélérées constante avec la même approximation.

Nous parlerons des différents moyens employés jusqu'ici pour obtenir la stabilisation de ces potentiels de plusieurs millions de volts, et des moyens que nous comptons employer pour stabiliser le potentiel du générateur de 5 MV en construction au C. E. A.

Pour situer le problème, nous indiquerons le résultat obtenu au Rice Institute par Bennett, Bonner Mandeville et Watt, pour la stabilisation de tension d'un générateur fonctionnant à 1 MV. Les fluctuations calculées sont de ± 150 volts.

1. — Structure d'un générateur électrostatique Van de Graaff.

Le principe de cet appareil est très simple. On charge une électrode possédant une capacité C par rapport à la masse. Au fur et à mesure que la charge Q de l'électrode s'accroît, son potentiel V s'accroît également.

La figure 1 représente un schéma de principe du générateur. L'électrode que l'on charge est l'électrode haute tension de l'appareil. Les charges lui sont apportées par une courroie isolante tendue sur deux poulies dont l'une est située à l'intérieur de l'électrode haute tension, et l'autre est à la masse.

Les charges sont produites au voisinage de la poulie à la masse par l'ionisation du gaz de l'enceinte

qui renferme l'appareil, ionisation que l'on provoque à l'aide d'un ensemble de pointes métalliques — appelé peigne de charge — porté à une tension de quelques dizaines de kV. Un effluve entre peigne et courroie

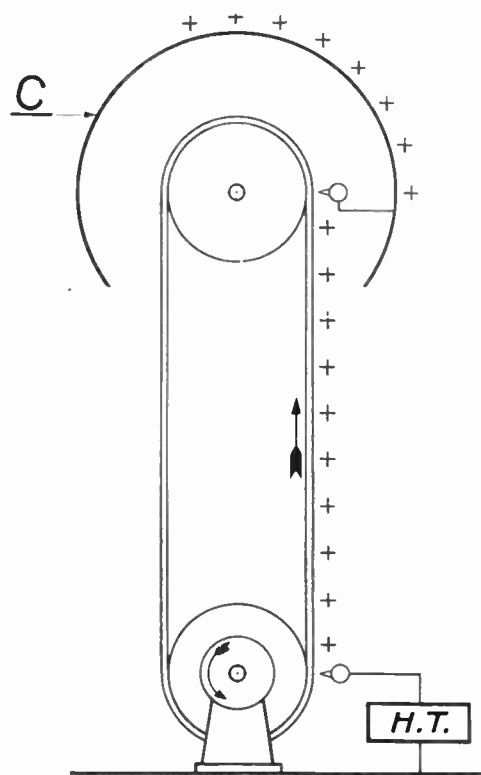


Fig. 1. — Schéma de principe d'un générateur électrostatique Van de Graaff.

dépose sur celle-ci les charges qu'elle transporte à l'électrode haute tension.

Le potentiel que peut prendre l'électrode est limité par les fuites d'une part, par les décharges disruptives entre électrode et masse d'autre part.

Pour éviter que ces décharges ne se produisent à la tension normale du générateur, on répartit le potentiel entre électrode et masse grâce à une série de plateaux métalliques reliés par de grandes résistances.

L'ensemble du générateur est monté à l'intérieur d'une enceinte qui contient du gaz (azote, air atmosphérique, fréon) à une pression variable suivant les cas, et qui est voisine en général de 20 kg par cm². Le générateur comprend en outre une source d'ions dans l'électrode haute tension, une cible à la masse, et, entre les deux, le tube accélérateur qui traverse l'empilement des plateaux équipotentiels. La figure 2

(1) Communication présentée à la Société des Radioélectriciens le 18 mars 1950.

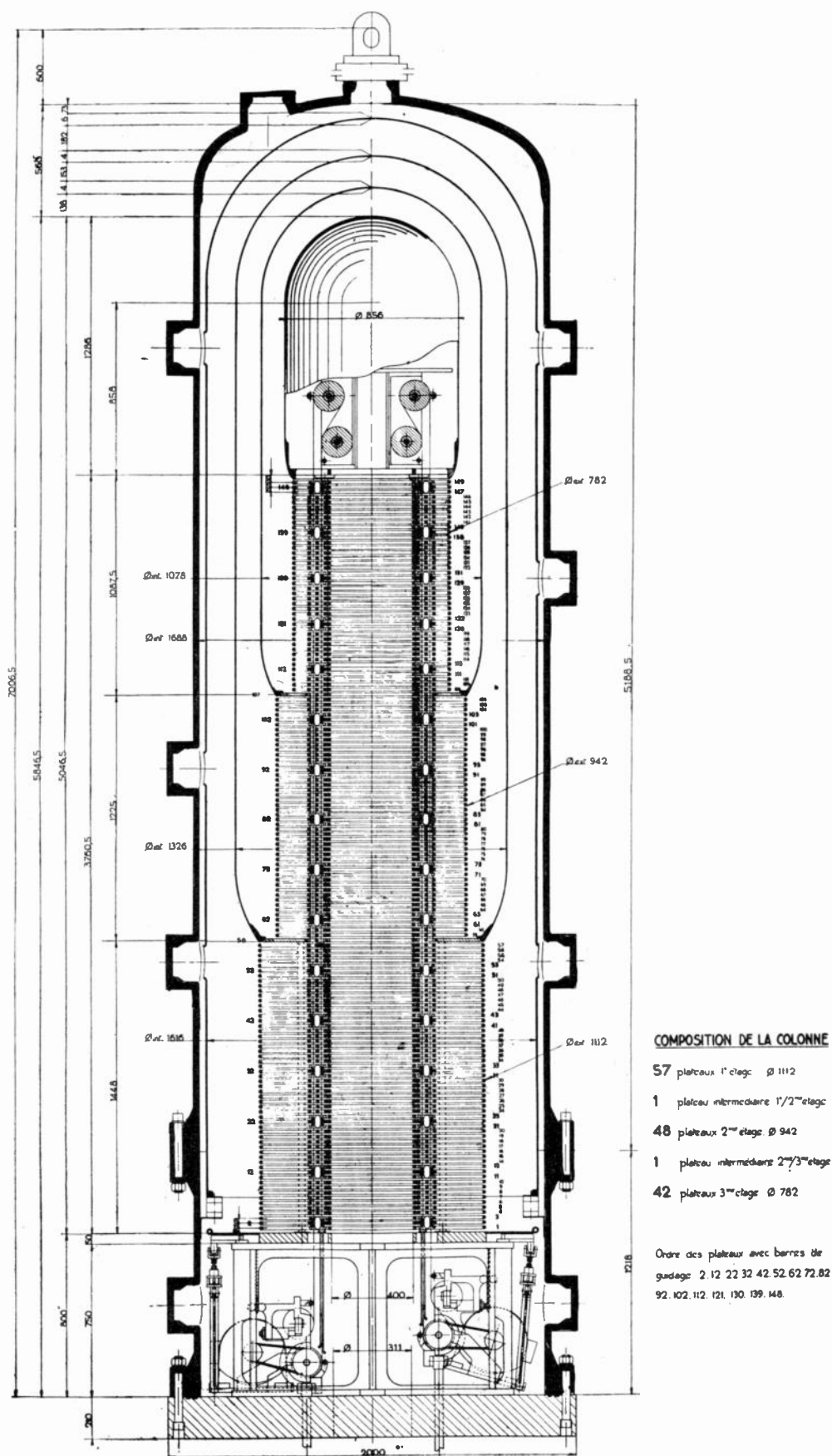


Fig. 2. — Générateur électrostatique de 5 Mégavolts en construction au Commissariat à l'Energie Atomique

représente un croquis d'encombrement du générateur en construction au C. E. A. La figure 3 est la

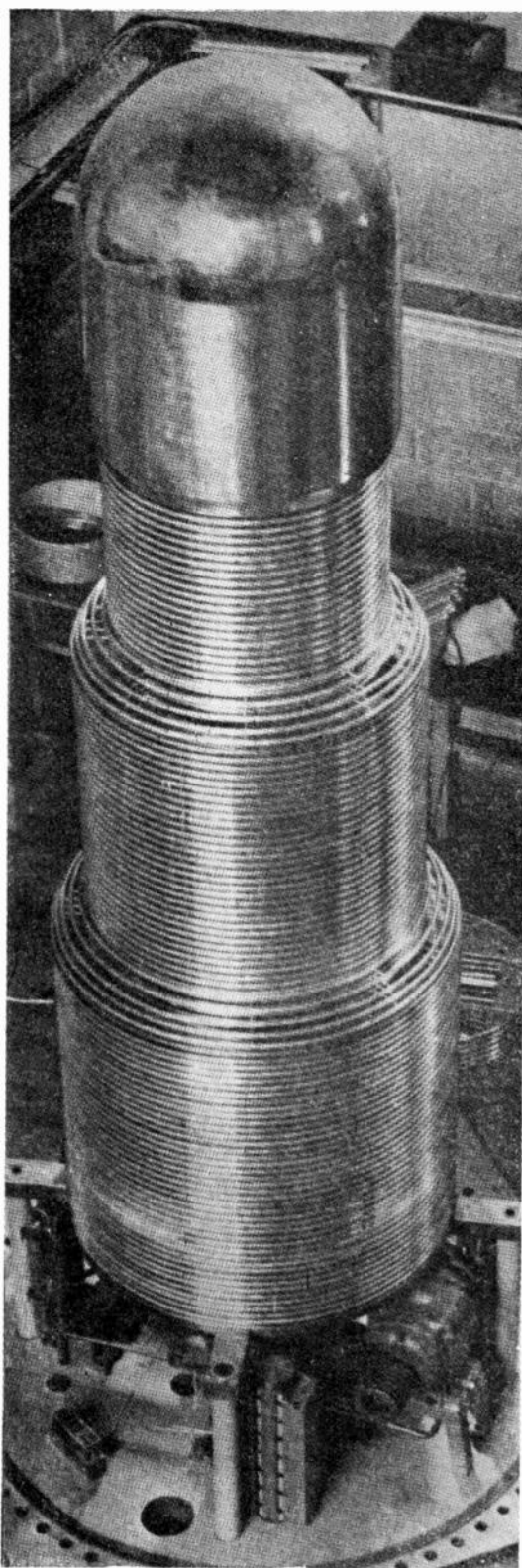


Fig. 3. — Générateur électrostatique du Massachusetts Institute of Technology, type 5 MV, cloche à pression enlevée. On distingue l'électrode haute tension, l'empilement des plateaux équipotentiels et le moteur d'entraînement de la courroie.

Nucleonics Novembre 1947. Mac Graw Hill Publishing Company, Inc article de Denis M. Robinson *Electrostatic Accelerators in Nuclear Research* Vol 1 N° 3 pages 70 - 77.

photographie d'un appareil construit au M. I. T. On distingue l'électrode haute tension et l'empilement des plateaux équipotentiels.

2. — Schéma électrique de l'appareil.

La figure 4 représente le schéma électrique simplifié d'un générateur électrostatique. R est la résistance reliant l'électrode haute tension à la masse ; C est la capacité de l'électrode haute tension par rapport à la masse ; G est le générateur composé de l'effluve et de la courroie, que l'on peut assimiler à une source à impédance infinie (le courant apporté par l'effluve et la courroie ne dépend pas de la tension V de la machine) ; T est le circuit d'utilisation, c'est-à-dire le tube accélérateur dont on peut considérer également l'impédance comme infinie puisque le courant qui le traverse ne dépend que du réglage de la source d'ions. Enfin, les effluves et fuites le long des isolants peuvent être représentés par le circuit R , dont l'impédance est fonction des caractéristiques de ces effluves. Soit i_1 le courant de charge apporté par la courroie, i_2 le courant qui parcourt

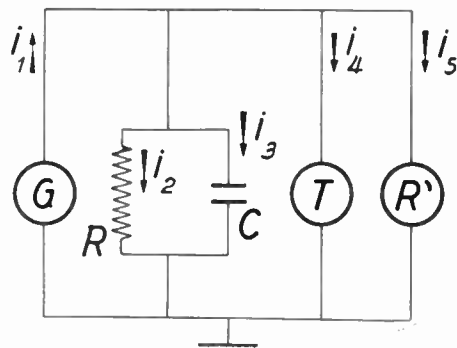


Fig. 4. — Schéma électrique simplifié d'un générateur électrostatique Van de Graaff.

G : Générateur constitué par le peigne et la courroie.

T : Tube.

R : résistance de la colonne.

C : capacité entre électrode haute tension et masse.

R' : fuites et effluves.

la résistance, i_3 le courant capacitif, i_4 le courant du tube, i_5 les pertes et effluves ; on a :

$$i_1 = i_2 + i_3 + i_4 + i_5$$

$$\text{soit} \quad i_1 = \frac{V}{R} + C \frac{dV}{dt} + i_4 + i_5$$

Si les différents courants i_1 , i_4 , i_5 étaient constants, la tension du générateur serait déterminée par la relation :

$$(1) \quad V = R [i_1 - (i_4 + i_5)]$$

En fait, i_1 , i_4 et i_5 sont sujets à des fluctuations qui entraînent des fluctuations de la tension V .

3. — Différentes causes d'irrégularité de la tension du générateur.

Pour une valeur déterminée du courant dans le tube, on constate, lorsque le générateur n'est pas

stabilisé, que la tension de l'électrode haute tension est sujette à des fluctuations pouvant aller jusqu'à 10 %.

Il existe plusieurs causes d'irrégularité :

1^o *Irrégularités de la tension dues aux fluctuations du courant de charge.*

a) Les fluctuations de la haute tension d'alimentation du peigne de charge, entraînées par les fluctuations du secteur, amènent des variations dans le régime de l'effluve de charge. Le courant i_1 transporté par la courroie varie donc, ainsi que la tension V du générateur.

b) Les irrégularités du régime de l'effluve, dues à une variation des conditions de l'effluve (soit position mécanique, soit conditions atmosphériques dans le cas des machines situées à l'air libre) produisent le même effet.

c) Les irrégularités de la charge prise par la courroie (propriétés superficielles de la courroie), produisent une fluctuation périodique de la tension de la machine, la période étant le temps nécessaire à la courroie pour faire un tour (fréquence de l'ordre de quelques cycles par seconde).

d) Le frottement de la poulie à la masse provoque la formation sur la face interne de la courroie, de charges d'auto-excitation, qui varient suivant les propriétés superficielles de la face interne de la courroie et qui provoquent des variations de tension de la machine de même fréquence que les précédentes.

2^o *Irrégularités de la tension dues aux variations du courant d'utilisation.*

Si le peigne de charge est maintenu à une tension constante, et que l'on modifie le débit i_4 du tube, l'équilibre électrique aura lieu à une tension V différente (équation 1). Il faut donc refaire le réglage de la tension en agissant sur le courant de charge de la courroie chaque fois que l'on change le débit dans le tube.

En outre, les petites fluctuations de débit du tube pourront entraîner des fluctuations de la tension de la machine.

3^o *Irrégularités de la tension dues aux variations des fuites et effluves.*

À la tension normale de la machine, les variations dans le régime des fuites et effluves, constituent une cause importante d'irrégularité de la tension. L'oscillogramme de cette tension montre l'existence d'impulsions rapides et répétées, qui sont provoquées par les effluves.

4^o *Irrégularités violentes.*

Toutes les irrégularités précédentes peuvent être éliminées par un des procédés que nous décrirons plus loin. Par contre, les décharges ou claquages entre électrode haute tension et masse, qui entraînent la formation d'un arc avec des courants instantanés extrêmement élevés, ne sont pas suscep-

tibles d'être corrigés. Le générateur est calculé pour que ces claquages n'aient pas lieu à la tension à laquelle on se propose de le faire travailler.

Un dispositif permet d'interrompre le faisceau, de le masquer, ou encore d'arrêter les mesures nucléaires, au cas où, par suite d'un claquage, le régulateur serait incapable de maintenir la tension à la valeur normale.

1. — *Différentes méthodes de régulation*

a) *Stabilisation du courant de charge.* — Pour réduire les irrégularités dues au courant de charge de la courroie, on stabilise ce courant en plaçant entre l'effluve et son alimentation, un système électronique possédant une impédance dynamique très élevée. On arrive ainsi à réduire les fluctuations à environ 0,25 %.

Cette méthode supprime toutes les irrégularités de la tension dues aux variations de la charge transportée sur la face externe de la courroie. Elle n'a aucun effet sur les variations du courant d'auto-excitation, et sur toutes les autres causes de fluctuations.

b) *Asservissement du courant de charge de la courroie à la tension de l'électrode haute tension.* Le stabilisateur électronique du courant de charge de la courroie est commandé par la différence ε qui existe entre la tension à laquelle on veut stabiliser le générateur et la tension qu'il fournit réellement.

On ne peut corriger par ce procédé que les irrégularités dues au secteur, aux variations lentes du courant du tube accélérateur, et, d'une façon générale, toutes les fluctuations lentes de la tension. En effet, ce système est caractérisé par l'existence d'un temps de transmission entre le peigne, situé à la base de la courroie, et l'électrode haute tension, de telle sorte que tout signal provoqué au peigne et destiné à corriger une fluctuation de tension n'arrive à l'électrode qu'au bout d'un temps égal à une demi-période de la courroie (de l'ordre de $1/5$ de seconde). Cette caractéristique entraînerait, si le système de régulation était sensible aux fluctuations dont la période est de l'ordre du temps de transmission, l'établissement d'un régime d'auto-oscillation du système, accompagné de claquages, et empêchant l'utilisation de l'appareil. On est donc obligé d'empêcher que la chaîne de régulation ne soit sensible à ces fréquences. C'est pourquoi elle ne peut stabiliser efficacement la tension que pour des fréquences très basses (période de l'ordre de 10 secondes).

Cette méthode de régulation ne peut empêcher les irrégularités de la tension dues aux caractéristiques de la courroie elle-même. Quoique l'emploi d'un système de charge de la courroie à grande impédance dynamique élimine les irrégularités du courant de charge, les variations du courant d'auto-excitation subsistent.

c) *Effluve de régulation.* — On maintient la tension de la machine constante en faisant agir en face de l'électrode haute tension une pointe dont le potentiel est commandé.

Dans cette méthode, le temps de transit des ions entre électrode et pointe est de l'ordre de 10^{-3} sec.

et impose, comme dans le cas précédent, une limitation à la vitesse de réponse du système. De plus, ce procédé charge le générateur.

d) *Régulation par faisceau électronique.* — Un faisceau d'électrons de quelques μA traverse le tube, de la masse à l'électrode haute tension. Ce courant compensateur permet, entre certaines limites, de maintenir constante la charge de l'électrode et par conséquent son potentiel.

En fait, ces limites sont très étroites. Le système ne peut corriger que de très faibles variations de tension. Comme le système précédent, il charge en permanence le générateur car la correction d'une chute de tension se fait par diminution du courant. Il existe encore dans ce système un temps de transmission légèrement inférieur à 10^{-6} sec. et qui est dû au système de mesure de la tension employé pour commander le régulateur.

e) *Régulation par écran capacitif.* — On entoure l'électrode haute tension d'un écran dont le potentiel est commandé de façon à stabiliser par influence la tension du générateur. Le schéma électrique correspondant est représenté sur la fig. 5.

Le système joue un rôle analogue au système de régulation par faisceau électronique ; le courant injecté dans l'électrode est un courant capacitif qui peut aller jusqu'à l'ampère. C'est donc un procédé bien plus énergétique, et qui a l'avantage de ne pas charger le générateur.

Par contre, le système n'est pas susceptible d'effectuer la correction des dérives ; en effet, la constante de temps de charge de la capacité constituée par l'écran capacitif et l'électrode haute tension est de l'ordre de 10 secondes. La chaîne de régulation rapide à écran capacitif est donc toujours associée à une chaîne de régulation lente comprenant la courroie.

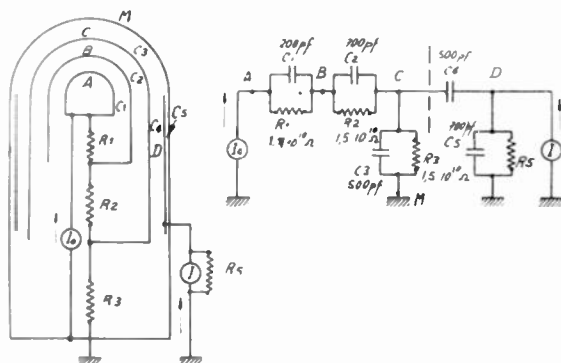


Fig. 5. — Schéma électrique du générateur électrostatique stabilisé par écran capacitif.

A : électrode haute tension.

B, C : écrans intermédiaires destinés à répartir le potentiel entre électrode haute tension et masse pour éviter les décharges disruptives.

D : écran capacitif.

I_0 : système de charge comprenant le peigne et la courroie.

I : alimentation de l'écran capacitif.

Système de mesure de la tension du générateur.

Les ions produits par la source comprennent des ions atomiques et des ions moléculaires. Les ions atomiques sont seuls utilisés pour les expériences nu-

cléaires. Le faisceau d'ions moléculaires, après la traversée du tube accélérateur, est séparé du faisceau des ions atomiques par passage dans un champ magnétique (séparateur magnétique), et arrive ensuite dans un analyseur électrostatique auquel on applique une tension de référence.

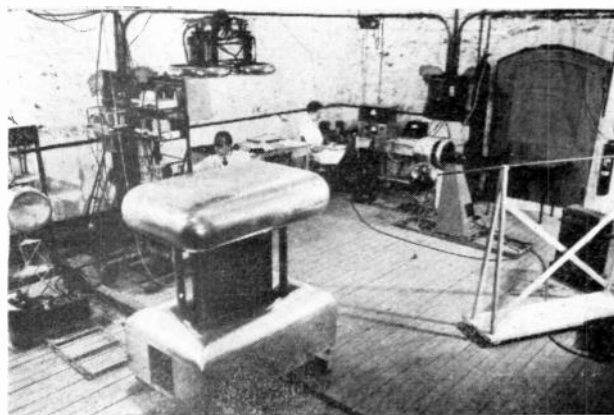


Fig. 6. — Maquette expérimentale de générateur Van de Graaff au cours des essais de stabilisation.

C'est la position du point d'arrivée de ce faisceau sur une cible qui indique la valeur de la tension du générateur. La cible comporte à cet effet deux plaques séparées par une fente et reliées à l'entrée d'un amplificateur symétrique, dont le signal de sortie est ainsi fonction de la tension du générateur.

Le temps de transit des ions entre la source et la cible limite la vitesse de réponse d'un tel système de mesure. (Temps de transit d'une fraction de μs , imposant la nécessité, pour des raisons de stabilité, de fixer au-dessous du mégacycle la limite supérieure de la bande passante des amplificateurs associés au système de régulation).

5. — Chaîne de régulation réalisée au C.E.A.

Avant leur réalisation définitive pour la stabilisation du générateur de 5 MV en construction au C. E. A., les chaînes de régulation sont mises à l'essai sur une maquette expérimentale de générateur électrostatique fournissant 300 kV. Nous décrirons la chaîne de régulation lente de cette maquette. On remarque sur la figure 6 la maquette dont l'électrode haute tension est portée par quatre isolateurs de stabonite ; au-dessus de cette électrode se trouve l'appareil de mesure de la tension (voltmètre générateur) et à l'arrière on distingue le châssis du système de régulation. La chaîne de régulation comprend (fig. 7) :

a) Une alimentation stabilisée S servant de référence.

b) Un discriminateur ou mesureur d'erreurs D qui compare la tension du générateur électrostatique à la tension fournie par S. C'est en même temps un modulateur, c'est-à-dire qu'il fournit à sa sortie un signal alternatif proportionnel à l'erreur, et dont la phase dépend du sens de l'erreur.

c) Un amplificateur *A* qui amplifie le signal d'erreur. Un second amplificateur *B* amplifie une tension sinusoïdale d'amplitude constante déphasée de 90° par rapport au signal d'erreur et fournie également par le discriminateur.

d) Un moteur asynchrone diphasé *M* dont les deux enroulements sont alimentés par les amplis *A* et *B*.

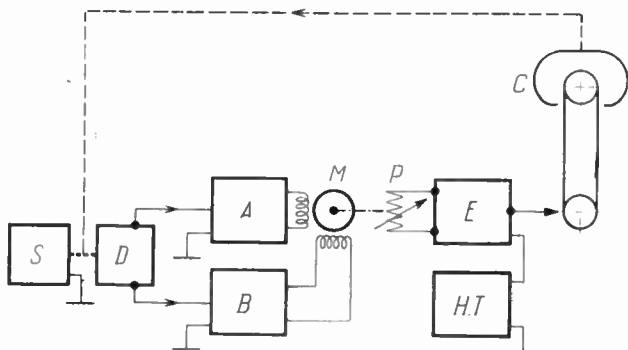


Fig. 7. — Chaîne de régulation lente de générateur électrostatique Van de Graaff; maquette expérimentale réalisée au C. E. A. Schéma général.

C : électrode du générateur électrostatique.

S : tension de référence.

D : discriminateur électrostatique (type dérivé du voltmètre générateur).

A, B : amplificateurs.

M : moteur asynchrone diphasé (sens de rotation déterminé par le sens du signal d'erreur fourni par D).

P : potentiomètre de commande du stabilisateur E.

E : stabilisateur du courant de charge.

H. T. : alimentation haute tension du peigne de charge.

Ce moteur tourne dans un sens ou dans l'autre suivant la phase de la tension d'erreur.

e) Un stabilisateur électronique de courant *E* situé entre le peigne de charge et l'alimentation haute tension de ce peigne, et commandé par un potentiomètre *P* couplé au moteur.

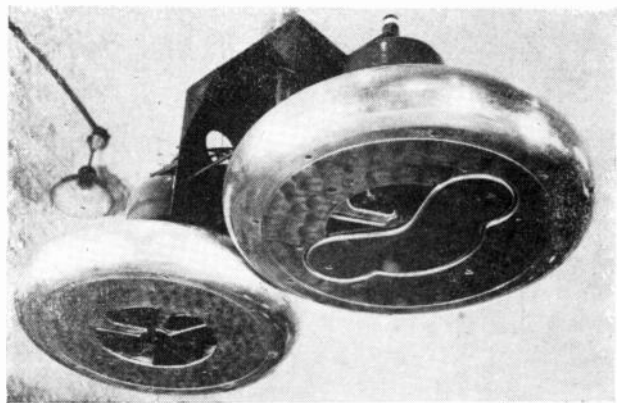


Fig. 8. — Voltmètre générateur et discriminateur électrostatique. Ces appareils permettent la mesure des très hautes tensions continues, soit par lecture directe sur un appareil de mesure branché à la sortie, soit par comparaison avec une tension continue de référence.

Le rôle de cet ensemble est de réduire le courant de charge de la courroie si la tension de la machine est trop élevée et de l'augmenter si la tension est trop basse.

L'introduction d'un élément mécanique dans la chaîne de régulation permet le réglage sans statisme de la tension, c'est-à-dire une correction avec précision infinie pour les très basses fréquences (équation de transfert possédant un pôle double à l'origine). De plus, les problèmes d'isolement du régulateur de courant sont résolus simplement par la présence d'un arbre en plexiglass entre le moteur et le potentiomètre qu'il entraîne.

6. — Caractéristiques des appareils utilisés.

La figure 8 représente le discriminateur et l'appareil de mesure de la tension. Celui-ci est un voltmètre générateur à électrode tournante. Cet appareil fournit une tension sensiblement sinusoïdale et proportionnelle à la haute tension à mesurer. Le

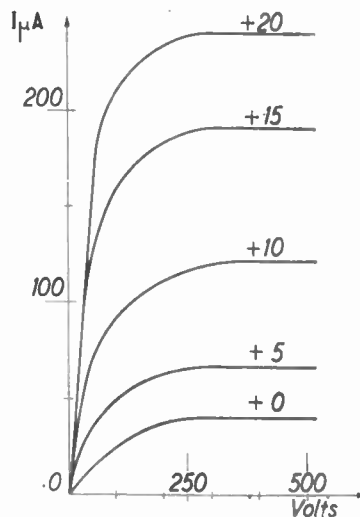


Fig. 9. — Caractéristiques du stabilisateur de courant. Intensité du courant de charge de la courroie en fonction de la tension aux bornes du stabilisateur pour différentes valeurs de la tension d'entrée du stabilisateur.

Courbes tracées pour une résistance r de 100 kΩ.

discriminateur (appareil de droite sur la fig. 8) est un voltmètre générateur auquel on a adjoint une électrode supplémentaire portée à la tension de référence, qui est de l'ordre de 300 volts.

On étudie actuellement un nouveau modèle de discriminateur où l'électrode supplémentaire est une grille. Des précautions ont été prises pour éviter les différences de potentiel de contact dues à la présence de métaux différents.

Nous ne parlerons pas des amplificateurs qui sont classiques.

Le moteur diphasé utilisé comme détecteur de phase possède un rotor très léger formé d'une cloche cylindrique d'aluminium de quelques dixièmes de millimètre d'épaisseur, et son inertie est très faible.

Le stabilisateur de courant a pour rôle de maintenir constant le courant d'effluve malgré les variations de la haute tension et les modifications du régime de l'effluve, si le potentiomètre qui le commande est maintenu sur une position fixe. Cet appareil, dont un type est utilisé en Angleterre, au Cavendish Laboratory, est formé par l'association en

série de deux lampes, triode et pentode, et d'une résistance r . Ce système se comporte vis-à-vis des fluctuations de sa tension aux bornes comme une résistance de plusieurs milliers de $M\Omega$. L'ensemble est porté à une quinzaine de kV et fonctionne grâce à un transformateur d'isolement. La figure 9 représente les caractéristiques du courant en fonction de

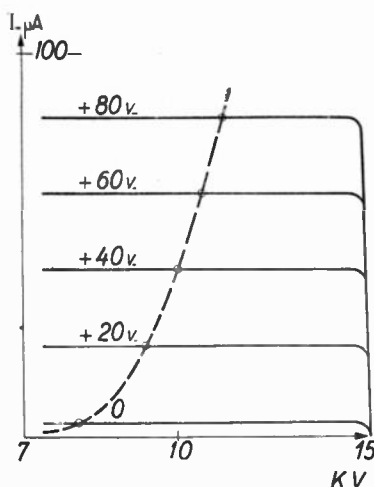


Fig. 10. — Détermination du point de fonctionnement du système de charge de la courroie.

En abscisses, haute tension d'alimentation du peigne de charge ; en ordonnées, courant de charge de la courroie. Les caractéristiques du stabilisateur de courant sont figurées en trait plein (pour $r = 1 M\Omega$). La caractéristique de l'effluve est figurée en tirets.

Le point de fonctionnement, pour une valeur donnée de la tension d'entrée v du régulateur de courant, est l'intersection de la caractéristique correspondant à v et de la caractéristique de l'effluve.

la tension aux bornes et de la tension d'entrée (déterminée par la position du potentiomètre). La figure 10 montre comment l'on associe ces caractéristiques à celles de l'effluve pour déterminer le point

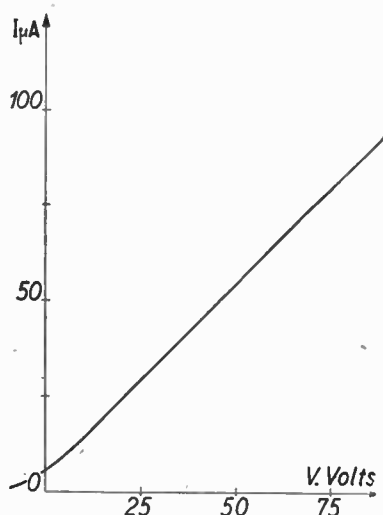


Fig. 11. — Courant de charge de la courroie en fonction de la tension d'entrée du stabilisateur de courant (pour $R = 1 M\Omega$).

de fonctionnement du système de charge. La figure 11 montre la proportionnalité rigoureuse entre le

courant de charge et la tension d'entrée (position du potentiomètre).

Le générateur lui-même se comporte, lorsque des résistances sont placées entre l'électrode haute tension et la masse, comme un simple réseau RC. Lorsque, comme c'est le cas pour la maquette, R est représenté seulement par la résistance de fuite des isolateurs, la courbe représentant la tension du générateur en fonction du courant de charge se sature à partir d'un certain potentiel et la résistance dynamique, très grande aux faibles tensions, devient faible aux tensions élevées.

La maquette fonctionne habituellement à une tension de l'ordre de 300 kV avec un courant de charge pouvant varier entre 100 et 300 micro-amperes. La haute tension du peigne de charge est de 15 kV. La chaîne de régulation stabilise la tension à plus de un pour dix mille pour des fluctuations de tension dont la période est de l'ordre de 10 secondes. Le gain en chaîne ouverte de l'ensemble est voisin de l'unité aux environs de 5 c/s, pour des considérations de stabilité du servomécanisme. Pour les mêmes raisons, on emploie des réseaux correcteurs qui provoquent une avance de phase dans la chaîne aux environs de la même fréquence, moyennant quoi le servomécanisme est stable et nerveux, la suppression des réseaux correcteurs conduisant à un pompage violent.

Nous ne terminerons pas cet exposé sans remercier M. Gérard Lehmann dont les conseils, tant pour le choix des caractéristiques que pour les réglages en cours d'essai, ont grandement contribué au succès de cette réalisation.

BIBLIOGRAPHIE

1. Généralités sur les générateurs Van de Graaff.
 - (1) R. J. VAN DE GRAAFF, J. G. TRUMP and W. W. BUECHNER, *Rep. Progr. Phys.*, G. B., **XI**, 1. — (1946, 47).
 - (2) R. L. FORTESCUE and P. D. HALL, *Proc. Instn. Electr. Engr. G. B.*, **96**, 1. — 77 (1949).
 - (3) S. D. WINTER, "Le Générateur électrostatique moderne du type Van de Graaff" à paraître au tome 6 des "Réunions d'Étude et de Mise au point tenues sous la présidence de Mr Louis de Broglie", Éditions de la Revue d'Optique.
2. Régulation lente.
 - (4) A. O. HANSON, *Rev. Sci. Instrum.*, U.S.A., **15**, 57. — (1944) voir également (1), (2), (9).
3. Stabilisation par effluve.
 - (5) R. M. ASHBY and A. O. HANSON, *Rev. Sci. Instrum.* U.S.A., **13**, 128, — (1942).
 - (6) J. L. Mc. KIBBEN, D. H. FRISCH and J. M. HUSH, *Phys. Rev. U.S.A.*, **70**, 117, — (1946). Voir également (9).
4. Stabilisation par faisceau électronique.
 - (7) W. E. BENNETT, T. W. BONNER, C. E. MANDEVILLE and B. E. WATT, *Phys. Rev. U.S.A.* — **70**, 882. — (1946).
 - (8) S. J. BAME and L. M. BAGGETT, *Rev. Sci. Instrum.* U.S.A. — **20**, 839. — (1949).
5. Mesure de la tension par analyseur électrostatique.
 - (9) R. E. WARREN, J. L. POWELL and R. G. HERB, *Rev. Sci. Instrum.* U.S.A. — **18**, 559. — (1947).
 - (10) W. A. FOWLER, C. C. LAURITSEN and T. LAURITSEN, *Rev. Sci. Instrum.* U.S.A. **18**, 818. — (1947).
 - (11) R. L. HENKEL and B. PETREE, *Rev. Sci. Instrum.* U.S.A. **20**, 729. — (1949), voir également (4), (5), (6), (7), (8).

REMARQUES CONCERNANT L'AMPLIFICATION OBSERVÉE SUR DES SEMI-CONDUCTEURS

(Phénomènes de transistance)

PAR

H. F. MATARE

Laboratoire C^{ie} des Freins et Signaux Westinghouse

Pour permettre une appréciation quantitative du phénomène de transistance il est présenté un ensemble de mesures comparatives sur deux organes mécaniquement identiques dont l'un : « Transistron » présente le phénomène d'amplification et l'autre : « Non-Transistron » ne permet pas d'amplification.

Depuis la première publication de Bardeen et Brattain (1) sur l'effet observé à l'aide du « transistor », beaucoup d'auteurs ont traité la question des « couches superficielles » qui sont à la base de l'effet d'élargissement de la zone du potentiel de l'électrode émettrice (emitter) (2) (3). La théorie d'une diffusion par « trous » (électrons positifs) est modifiée de sorte qu'on parle plutôt maintenant d'une « courbure » (curving up) du niveau du potentiel, à proximité de la surface, due à une accumulation d'électrons libres (4) (5). Ceci détermine, pour des raisons d'équilibre, une couche double, de signe positif. Dans le cas du « transistron » cette couche peut former un « pont » présentant le caractère de conductibilité par manque d'électrons ou à défaut électronique qui, par la densité accrue des porteurs de courant se répand jusqu'à l'électrode acceptrice (collector). Sous certaines conditions on peut présenter le nombre des électrons, à proximité de la surface, par :

$$N_s = \left[\frac{2}{1 + \exp(\Delta E_1 + \phi - \Delta V_s - \mu) / k T} - 1 \right] N$$

où : N = nombre des électrons captés (équilibre).

ΔV_s = position du niveau d'énergie des « couches superficielles » en relation avec la bande de conductibilité.

ΔE_1 = différence d'énergie entre le haut de la bande « remplie » et la bande de conductibilité.

μ = hauteur du potentiel électrochimique au-dessus de la bande remplie.

ϕ = niveau de potentiel dû à la couche double.

Afin de mieux connaître le phénomène mis en œuvre et afin de comprendre, quantitativement, l'effet de transistance on a procédé à des mesures de résistances et de capacités sur des triodes à cristal réalisées en France (transistron).

A la Fig. 1 on a tracé un ensemble de caractéristiques d'un transistron :

1) $I_c = f(I_e) U_c = \text{const.}$

2) $I_c = f(I_e) U_e = \text{const.}$

c'est-à-dire le courant d'acceptrice en fonction du courant d'émettrice, pour les tensions respectives constantes.

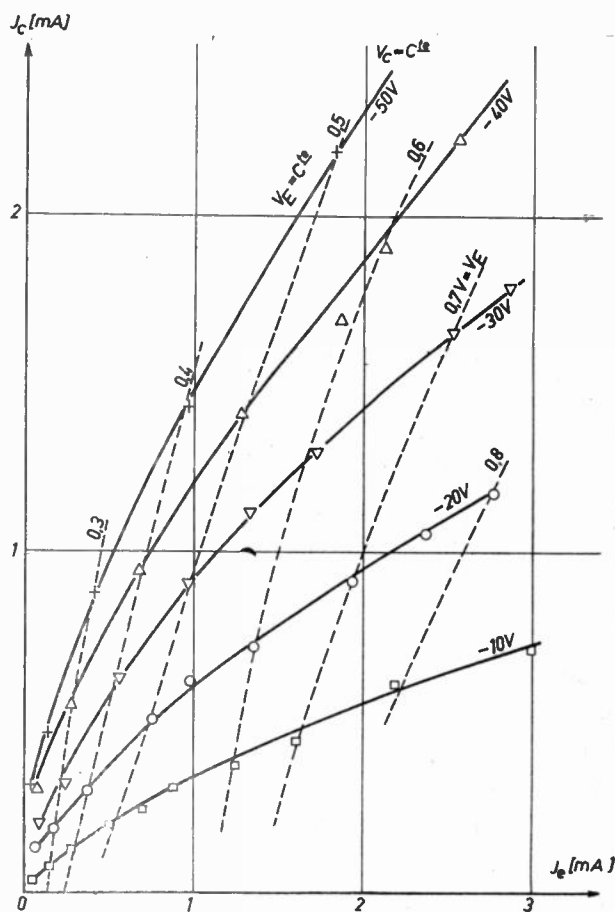


FIG. 1

L'effet de transistance, se traduisant par une amplification est réalisable, si le coefficient :

$$\alpha = (\partial I_c / \partial I_e) U_c = \text{const.}$$

est supérieur à 0.

On définit maintenant le « non-transistron » (N. T.) comme un organe de même construction qu'un transistron, mais dont α est exactement = 0.

C'est-à-dire dont les courbes $I_c = f(I_e)$ U_c dégenèrent en droites, parallèles à l'axe I_e .

Il est une autre manière permettant de définir un « non-transistron » et qui est très importante pour l'interprétation des mesures. On peut représenter

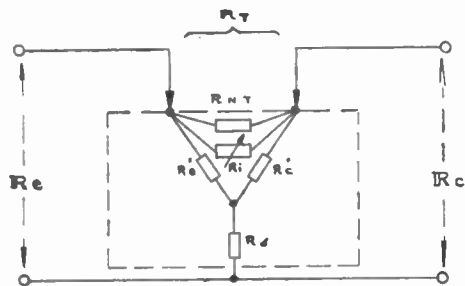


FIG. 2

un transistor sous son aspect très général d'un assemblage de deux contacts ponctuels sur un semi-conducteur dont le schéma équivalent correspond à la Fig. 2.

La résistance de la couche d'arrêt, du côté de l'émetteur est R'_e , celle du côté de l'accepteur R'_c .

Dans le cas du transistor cette résistance n'est pas seulement constituée par la résistance, très élevée, de la couche superficielle du cristal, en parallèle avec l'association en série des résistances internes des couches d'arrêt, mais il s'y superpose une résistance d'interaction (effet de transistance) due à la couche double. On a donc, dans le cas du « non-transistron » ($\partial I_c / \partial I_e = 0$)

$$R_{NT} \gg R'_e + R'_c$$

Et dans le cas du « transistor » ($\partial I_c / \partial I_e \geq 0$).

$$R_T \approx R'_e + R'_c$$

Ceci donne l'autre paramètre caractéristique pour l'amplification :

$$\gamma = R_T / R_{NT} (< 1, \text{cas général})$$

Il est désigné comme : coefficient d'interaction. γ représente aussi une mesure pour le fonctionnement de la couche double.

Après ces définitions, on va décrire le procédé de mesure : Puisqu'il s'agit de très petits changements de capacité, la méthode appliquée fut celle du désaccord d'un circuit mélangeur pour 60 Mc/s avec une

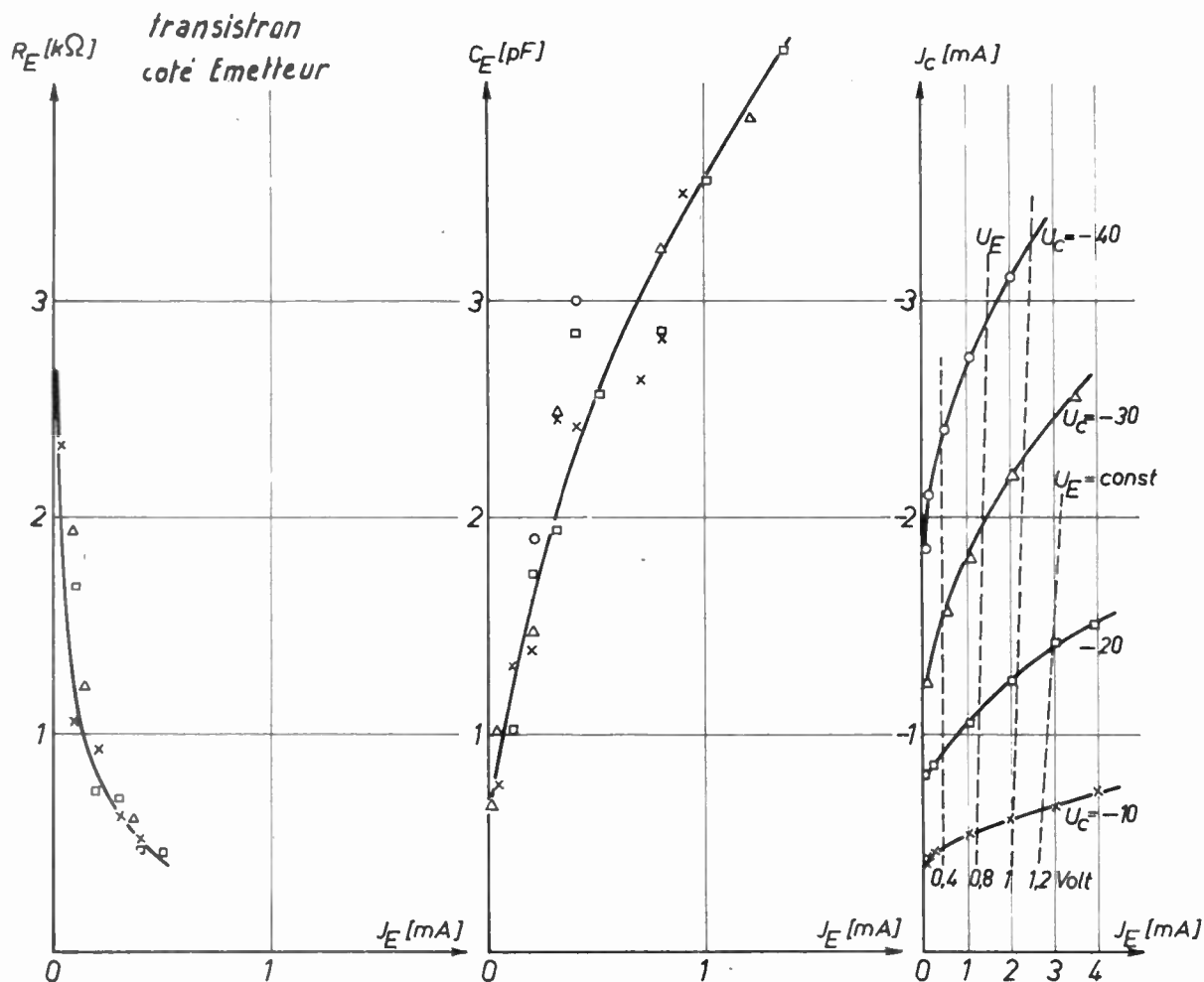


FIG. 3

La résistance de parcours R_s est supposée commune aux deux couches. Et, ce qui est essentiel, il existe une résistance variable, entre les deux aiguilles, qui a été dénommée : résistance de transfert R_T .

capacité totale de l'ordre de 5 p F. Par un système spécial, un désaccord d'ordre de 0,022 pF, pouvait être vérifié. Le circuit de mesure où le détecteur ou le transistor fut branché était découplé par rapport

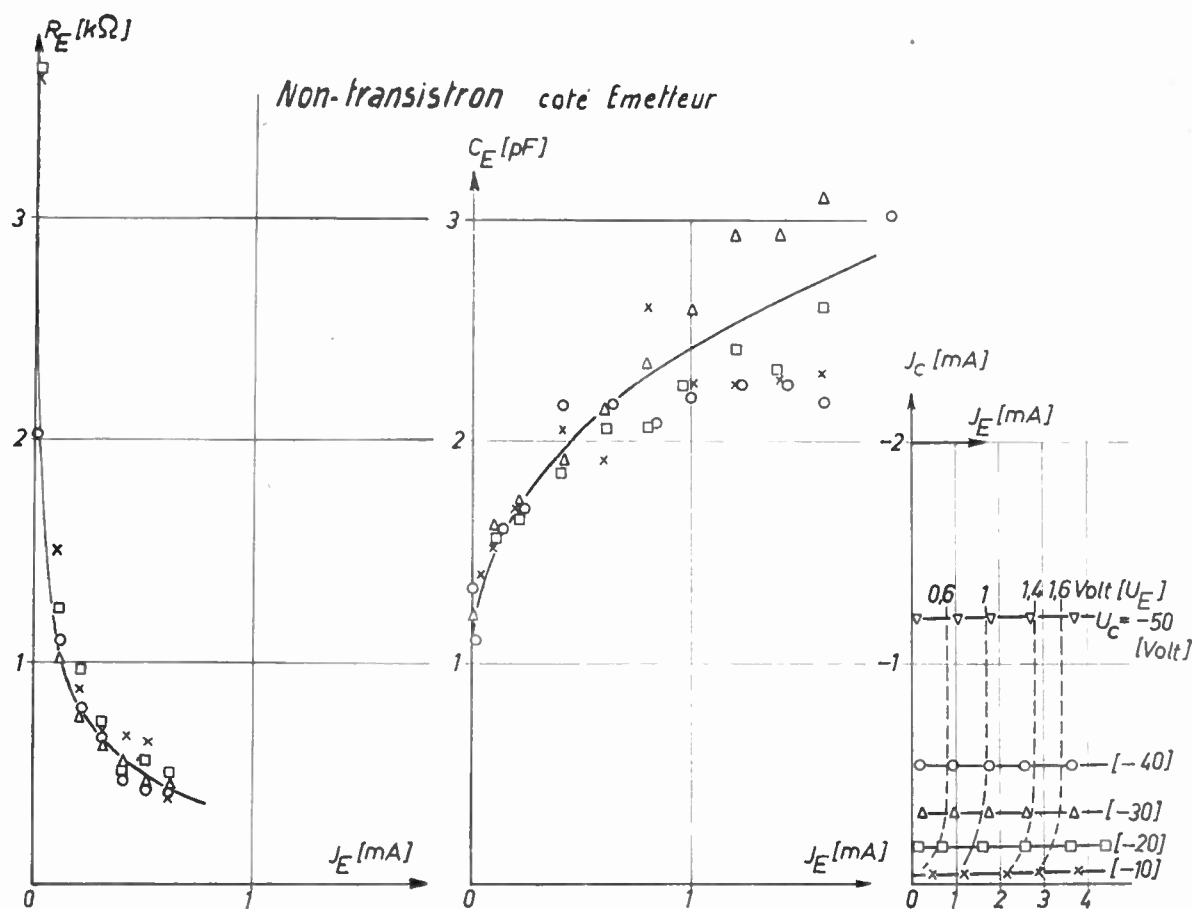


FIG. 4

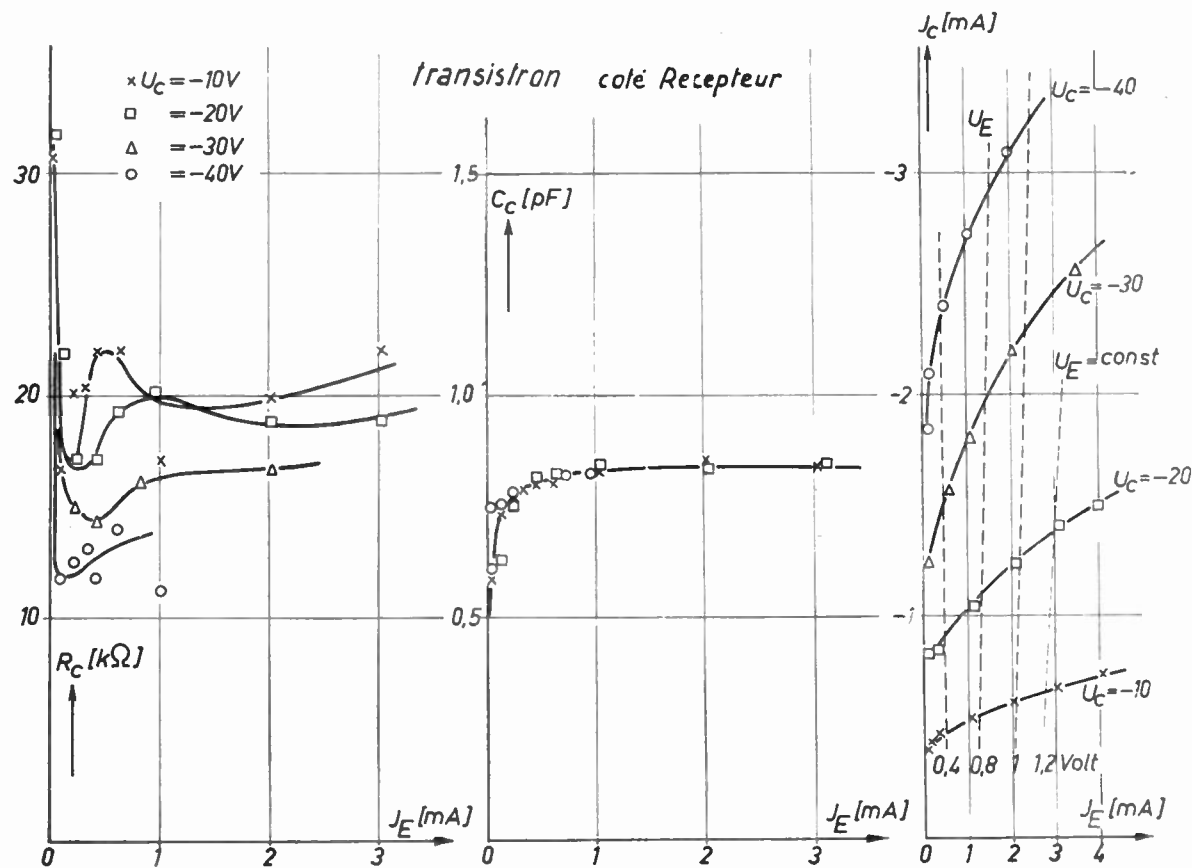


FIG. 5

au circuit mélangeur. Pour que le détecteur ne soit pas influencé par la tension de l'oscillateur local un circuit bouchon est prévu dans le montage. La fréquence moyenne est amplifiée et détectée.

On peut, de cette façon, faire des mesures même autour du point zéro d'une diode, ce qui est décisif.

Le résultat des mesures est expliqué à l'aide des Fig. 3 à 8.

Fig. 3 représente le résultat des mesures du côté « Emettrice ». A droite on voit le champ de caractéristiques du transistor employé — pour les paramètres U_c de -10 à -40 Volt. Au milieu on voit la capacité mesurée du côté émettrice. Les différents points correspondent aux tensions indiquées dans le champ des caractéristiques.

$\partial C_E / \partial I_E$ et $\partial C_E / \partial U_E$ respectivement dans les deux cas :

« transistor » et « non-transistor ».

Entre 0,4 et 1,40 mA pour I_E on relève, par exemple, d'après le champ des caractéristiques, pour une différence $\Delta U_E \approx 0,5$ V de la tension de l'émettrice dans le cas du « transistor » :

$\partial C_E / \partial U_E = 3,2$ p F/V et dans le cas du « non-transistor »

$$\partial C_E / \partial U_E = 1,1 \text{ p F/V p. e.}$$

D'après la surface, connue, de contact d'aiguille, de l'ordre de $3 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^2$, on peut calculer d'après Schot-

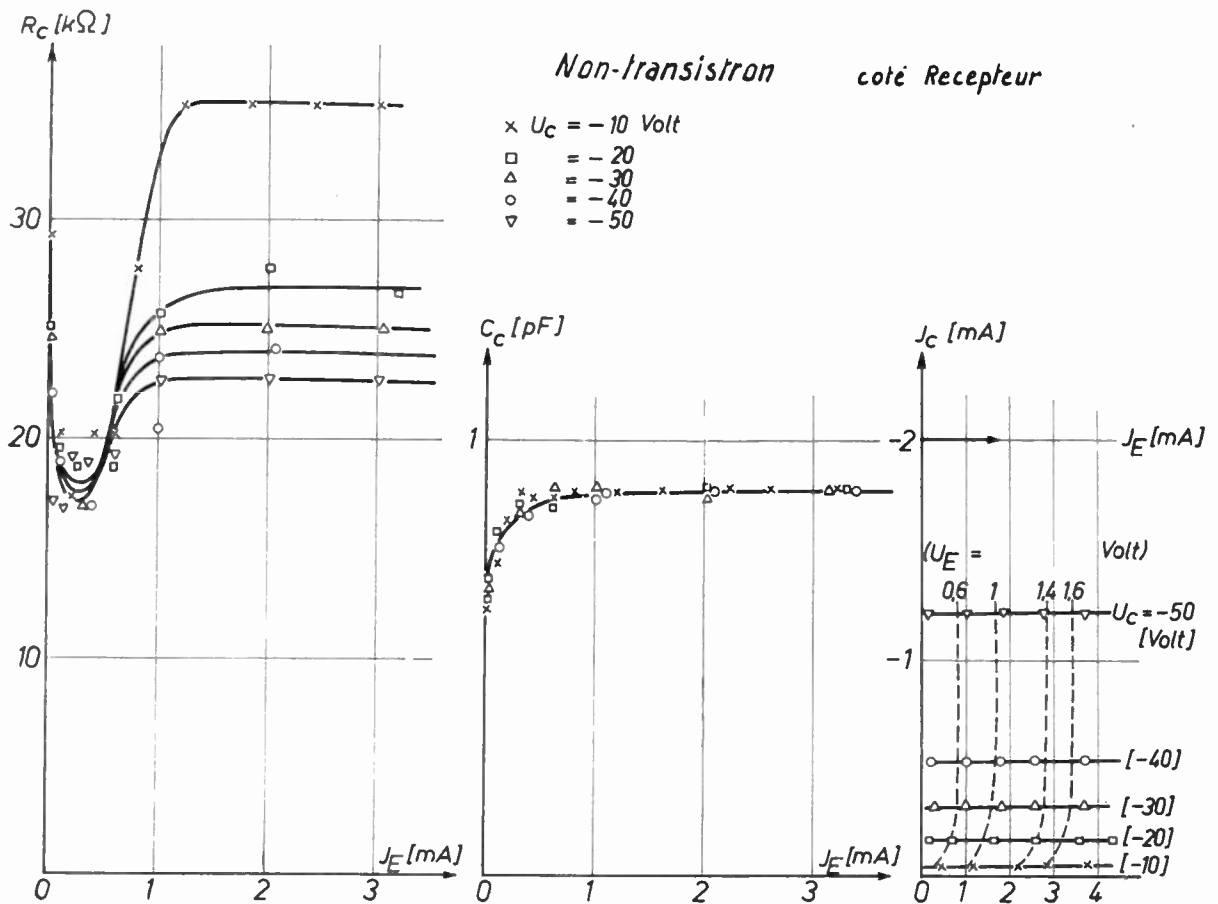


FIG. 6

La capacité passe de 0,7 p F pour $I_e = 0$, à 4 p F, environ pour un courant d'émettrice = 1,4 mA.

A gauche on a figuré la variation de la résistance R_E qui tombe de 2,5 ($k\Omega$) à 400 Ω , environ, pour I_E de 0 à 0,5 mA pour toutes les tensions U_c .

Fig. 4 représente le résultat des mêmes mesures sur un élément « non-transistor ». Le champ de caractéristiques, à droite, présente des parallèles à l'axe des I_E . La capacité C_E a la même allure mais elle est un peu inférieure (1 pF), à la capacité dans le cas du « transistor ».

Un fait très important est la différence marquée des pentes :

tky (6) la densité des points d'impuretés dans les deux cas.

Puisque :

$$\frac{\partial (1/c^2)}{\partial U_E} = \frac{8\pi}{\epsilon e} \frac{1}{n^{-(+)}}$$

n^- = densité des points de caractère « accepteur ».

n^+ = densité des points de caractère « donneur »

ϵ = constante diélectrique du Ge (~ 18).

e = charge unitaire = $4,78 \cdot 10^{-10}$ (U. E. S.).

on obtient par la densité des « donneurs » (+), pour le Ge considéré :

$$n^+ [\text{cm}^{-3}] = 7,6 \cdot 10^{30} \frac{\partial U}{\partial (1/c^2)} [\text{V (Far/cm}^2)^2]$$

Ceci donne pour le présent cas :

$$n^+ [\text{cm}^{-3}] \text{ transistor} \approx 10^{17}$$

$$n^+ [\text{cm}^{-3}] \text{ non-transistor} \approx 10^{16}$$

Les valeurs absolues peuvent être un peu différentes suivant la surface active des aiguilles (les valeurs des surfaces mesurées sous le microscope sont celles de parties aplaties, après contact) et les constantes diélectriques. Toutefois la différence marquée des pentes $\partial U / \partial (1/c^2)$ pour un même Germanium indique que la densité apparente n^+ des « donneurs » est plus élevée dans le cas du « transistor » que dans celui du « non-transistor ».

Ceci peut être imputé, d'après Markham et Miller, à un état de surface à densité accrue d'électrons. La

tron » et du « non-transistor » donne une explication de même caractère pour le phénomène.

Une valeur accrue de n^+ peut être le résultat d'une valeur accrue de n^- ou, en d'autres termes, il y a un facteur 10 environ entre la densité des électrons libres, dans une partie « non-transistor » et la densité des défauts d'électrons dans une partie « transistor » du cristal. Cette différence peut être encore plus grande pour un Ge de résistivité plus élevée. Le Ge utilisé avait une résistivité d'ordre de $2 \Omega \cdot \text{cm}$. La variation de résistance R_E est identique.

Fig. 5 représente le cas du Transistor du côté de l'acceptrice. La capacité est moins grande (de 0,5 à 0,85 pF) et la résistance R_e , par contre, est plus élevée. Mais elle passe aussi d'une valeur de $30 \text{ k} \Omega$, aux environs du point $I_E = 0$, à $12 \text{ k} \Omega$ pour des courants très faibles du côté de l'émettrice.

Enfin, ce qui est très important, la résistance s'abaisse pour U_c croissant. En général, les courbes de résistance ne sont pas très dispersées et les valeurs sont de même ordre.

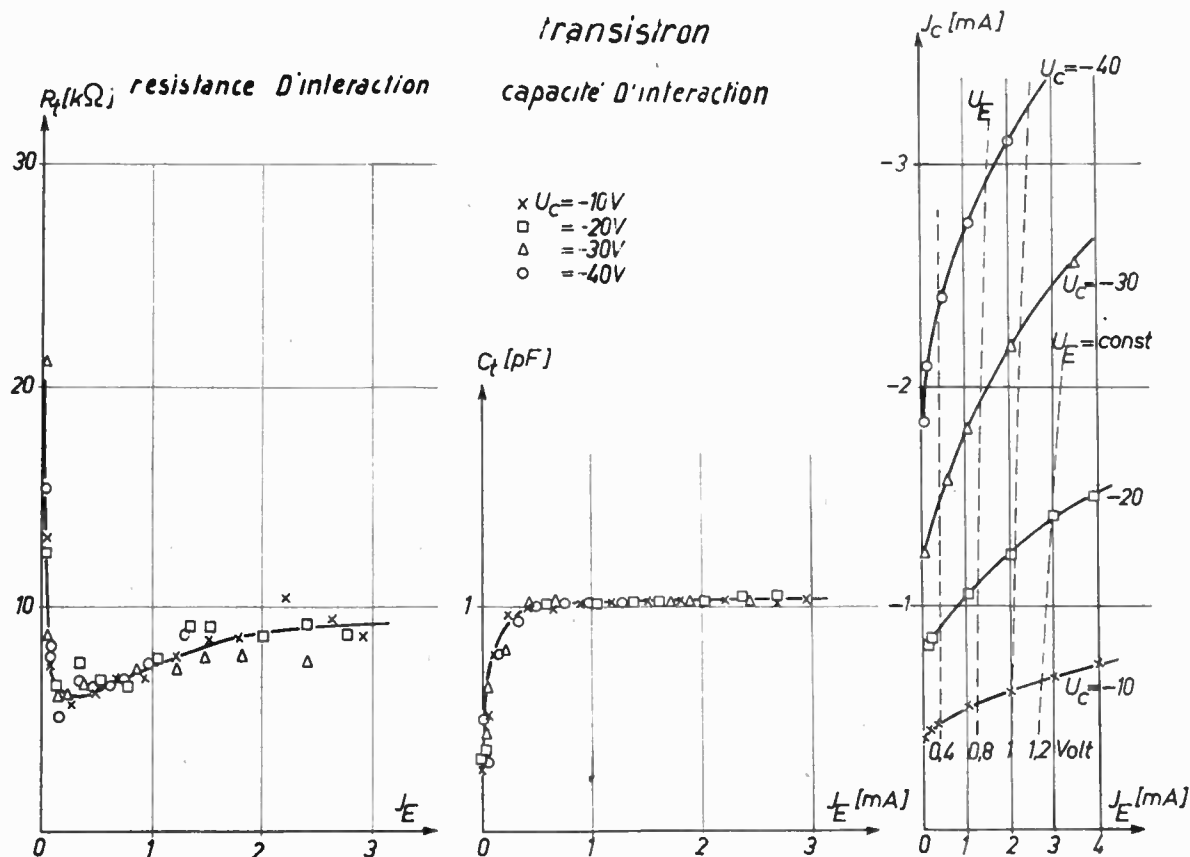


FIG. 7

haute valeur de n^+ est explicable ainsi si l'on admet avec Bardeen et Brattain (1) que le courant de l'émetteur est porté par des défauts ou manques d'électrons. Ces auteurs ont calculé une densité de « trous » d'ordre de :

$$n \approx 4 \cdot 10^{16} \quad (\text{cm}^{-3})$$

soit un facteur 40 entre la densité des trous positifs) et la densité des électrons libres.

On voit bien, pour le cas présenté ici que la différence des valeurs de n^+ dans les cas du « transis-

tron » et du « non-transistor » donne une explication de même nature dans le cas du « non-transistor ». La différence est nette du côté de la résistance de l'acceptrice. Les courbes pour les différentes tensions U_c sont de même allure mais plus dispersées spécialement pour les valeurs élevées de I_E . Toutefois la résistance ne s'abaisse pas très notablement et reste comprise entre 20 et $30 \text{ k} \Omega$ environ.

D'après le schéma 2, cette chute de résistance s'explique par l'abaissement de R_{NT} par suite de l'interaction. Ce phénomène est plus clairement vi-

sible à la Fig. 7 où l'on a tracé le résultat des mesures d'interaction c'est-à-dire entre les deux aiguilles. Dans le cas du transistor, cette résistance descend très rapidement de 20 à 6 kΩ environ pour remonter un peu avec I_E , mais toutes les valeurs, pour les diverses tensions U_c , du côté acceptrice, s'inscrivent dans une courbe. La capacité est très petite au com-

ment mieux exprimé pour des basses tensions U_c . Mais puisqu'il est connu (comparer les pentes des courbes $I_c = f(I_E)$ que α est plus grand pour U_c croissant, on peut en déduire que l'interaction se fait aussi par l'intermédiaire de la résistance de couche R'_c , élargie dans le cas des tensions de blocage élevées.

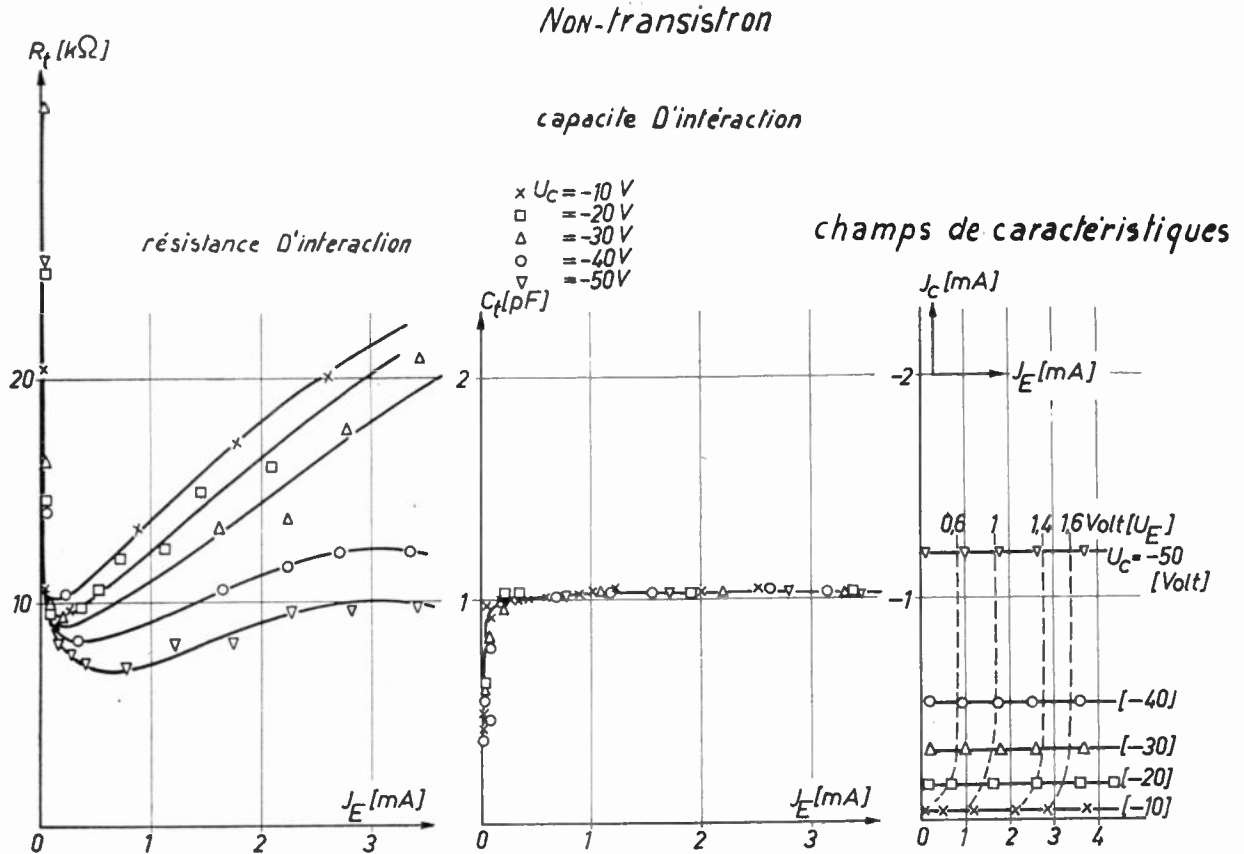


FIG. 8

mencement et s'approche, pour I_E croissant, de la valeur des capacités observables sur des détecteurs à cristal dans la partie inverse ou, de blocage, de leur caractéristique.

La Fig. 8 représente enfin le résultat dans le cas d'un « non-transistor ». La différence réside dans la résistance de transfert R_{NT} qui est plus grande.

Commençant aussi par des valeurs très élevées (30 kΩ) elle tombe à 7 kΩ mais il y a des courbes individuelles pour chaque U_c (-10 à -50 volts et, ce qui est important, la valeur de R_{NT} monte beaucoup avec I_E alors qu'elle reste assez sensiblement constante dans le cas du « transistor ».

Un fait très curieux apparaît : le coefficient d'interaction $\gamma = R_T/R_{NT}$ qui est 1, pour I_E infime, descend pour les courants :

$I_E < 0,4 \text{ mA}$ pour augmenter à nouveau pour les valeurs élevées de U_c .

γ est le plus petit pour les tensions U_c faibles. Ceci est dû au fait que pour U_c élevé, les courants qui passent par la voie R'_c (Fig. 2) sont déjà considérables et le shunt par $R'_c + R'_e$ est notable. On peut conclure que l'effet de transistance est nette-

Puisque ces expériences ont été faites à une fréquence de 60 Mc/s c'est-à-dire nettement au-dessus de la limite de fonctionnement du transistor, on peut considérer :

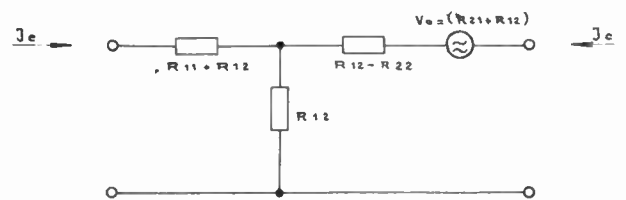


FIG. 9

$$R_i = \frac{R_T \cdot R_{NT}}{R_{NT} - R_T} = \frac{R_T}{1 - \gamma}$$

comme une résistance d'amortissement réelle.

Dans le cas de $\gamma = R_T/R_{NT} \approx 0,5$, R_i est de l'ordre de R_{NT} . Conformément à la Fig. 2, on peut établir les équations du quadripole :

$$\begin{bmatrix} \Delta U_e \\ \Delta U_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R'_e + R_s & -R_i(1 - \gamma) \\ -\alpha(R'_c + R_s) & R'_c + R_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta I_e \\ \Delta I_c \end{bmatrix}$$

puisque dans le cas considéré, les éléments de la diagonale latérale de la matrice des résistances ne sont même pas égaux en sens opposé, $R_{12} \neq -R_{21}$, mais entièrement différents, la règle d'inversion n'est pas valable. On peut ici transformer la matrice en une somme de deux matrices dont l'une suit la règle d'inversion. Ceci correspond alors à un branchement en T qui est exprimé par :

$$\|R\| = \begin{vmatrix} R_{11} & R_{12} \\ -R_{12} & R_{22} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 0 & 0 \\ R_{21} + R_{12} & 0 \end{vmatrix}$$

Le transistor peut être représenté sous forme d'un quadripole en ajoutant à la tension de sortie (à vide), une source de tension $(R_{21} + R_{12}) I_e$. Il

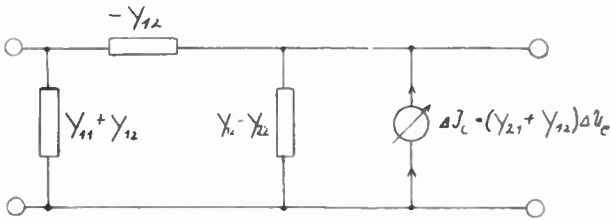


FIG. 10

en résulte le schéma représenté à la fig. 9 présentant l'expression :

$$\|R\| = \begin{vmatrix} R'_e + R_s - R_i(1-\gamma) & 0 \\ R_i(1-\gamma) & R_c + R_s \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 0 & 0 \\ -\alpha(R'_c + R_s) - R_i(1-\gamma) & 0 \end{vmatrix}$$

On voit qu'il faut ajouter à la tension de sortie, en cas de marche à vide, une tension donnée par $(R_{21} + R_{12}) \Delta I_E$, pilotée par le courant d'émettrice.

Partant de la matrice de conductibilité on peut également établir le branchement en π :

$$\begin{vmatrix} \Delta I_E & 0 \\ \Delta I_c & 0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} Y_{11} & Y_{12} \\ Y_{21} & Y_{22} \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} \Delta U_E & 0 \\ \Delta U_c & 0 \end{vmatrix}$$

La matrice des conductances peut également être scindée puisque $Y_{12} \neq -Y_{21}$:

$$\|Y\| = \begin{vmatrix} Y_{11} & Y_{12} \\ -Y_{12} & Y_{22} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 & 0 \\ Y_{21} + Y_{12} & 0 \end{vmatrix}$$

La première de ces matrices est celle d'un branchement en π avec les conductibilités transversales $Y_{11} + Y_{12}$ et $Y_{12} - Y_{21}$ et la conductibilité longitudinale $-Y_{12}$; la deuxième matrice impose d'ajouter au courant de sortie, en cas de court-circuit, un courant $(Y_{21} + Y_{12}) \Delta U_E$, piloté par la tension d'entrée (fig. 10).

Il s'ensuit, toujours pour le cas considéré :

$$Y = \begin{vmatrix} \frac{R_{22}}{|R|} & -\frac{R_{12}}{R} \\ -\frac{R_{21}}{|R|} & \frac{R_{11}}{R} \end{vmatrix}$$

où $|R| = R_{11} R_{22} - R_{12} R_{21}$ donc :

$$Y = \begin{vmatrix} \frac{1}{R'_e + R_s - \alpha \gamma R_{NT}} & \frac{\gamma R_{NT}}{(R'_c + R_s)[R'_e + R_s - \alpha \gamma R_{NT}]} \\ \frac{\alpha}{R'_e + R_s - \alpha \gamma R_{NT}} & \frac{R'_e + R_s}{(R'_c + R_s)[R'_e + R_s - \alpha \gamma R_{NT}]} \end{vmatrix}$$

Et en séparant les matrices, comme indiqué précédemment, on obtient :

$$Y = \begin{vmatrix} \frac{\alpha}{R'_e + R_s - \alpha \gamma R_{NT}} & \frac{\gamma R_{NT}}{(R'_c + R_s)[R'_e + R_s - \alpha \gamma R_{NT}]} \\ \frac{-\gamma R_{NT}}{(R'_c + R_s)[R'_e + R_s - \alpha \gamma R_{NT}]} & \frac{R'_e + R_s}{(R'_c + R_s)[R'_e + R_s - \alpha \gamma R_{NT}]} \end{vmatrix}$$

$$+ \begin{vmatrix} 0 & 0 \\ \frac{\alpha}{R'_e + R_s - \alpha \gamma R_{NT}} & \frac{\gamma R_{NT}}{(R'_c + R_s)[R'_e + R_s - \alpha \gamma R_{NT}]} \end{vmatrix}$$

comme somme de matrices de conductances dont on peut immédiatement tirer les valeurs correspondant au schéma Fig. 10.

L'auteur se permet d'exprimer ses remerciements à Monsieur Sueur, Ingénieur en Chef des P. T. T. pour l'intérêt qu'il a bien voulu marquer au sujet de ce travail.

BIBLIOGRAPHIE

1. — BARDEEN and BRATTAIN. — The Transistor, a Semiconductor Triode. *Phys. Rev.* 74-230 (1948).
Physical Principles involved in Transistor Action. *Phys. Rev.*, Vol. 75. 2d Ser. N° 8, p. 1208.
2. — HAGUES and SHOOKLEY. — Investigation of Hole Injection in Transistor Action *Phys Rev*, Vol 75 2d Ser N° 4, p. 691.
3. — E. J. RYDER et W. SHOCKLEY. — Interpretation of dependence of Resistivity of Ge on Electric Field. *Phys. Rev.*, Vol. 75, 2d. Ser. N° 2, p. 310.
4. — J. N. SHIVE. — The Double — Surface Transistor. *Phys. Rev.*, Vol. 75. éd. Ser. N° 4, p. 689.
5. — J. J. MARKHAM et P. H. MILLER. — The effect of Surface States on the Temperature Variation of the Work Function of Semiconductors. *Phys. Rev.*, Vol. 75. N° 6, p. 959, 15 March 1949.
6. — W. SCHOTTKY. — *Zeitschrift f. Physik*, Bd. 118 ; p. 539, (1941-42).

L'IGNITRON ET SES APPLICATIONS

PAR

R. DAVID et CH. CAUSSIN

Ingénieurs à la Société

« LE MATERIEL ELECTRIQUE S.W. »

Théorie générale

L'ignitron est un redresseur à vapeur de mercure à une seule anode créé par la Westinghouse Electric International Company vers 1933. Ses caractéristiques essentielles résultent de l'emploi d'un dispositif d'amorçage périodique de l'arc, dénommé igniter.

C'est vers 1931 que le Dr Joseph Slepian, Ingénieur de la Westinghouse, découvrit ce moyen de réglage nouveau qui repose sur les propriétés d'un cristal semi-conducteur plongeant en permanence dans la cathode en mercure.

Alors que, dans les autres redresseurs connus à vapeur de mercure, l'arc était maintenu en permanence dans la cuve, l'igniter permet de l'établir seulement à l'instant même où, au cours de chaque période du courant alternatif, on désire rendre le tube conducteur et de le laisser s'éteindre à la fin de l'alternance positive du courant.

Si depuis son origine l'ignitron a subi divers perfectionnements, l'igniter reste la caractéristique essentielle de ce genre de redresseur et a fait l'objet d'un brevet fondamental qui est la propriété exclusive de la Westinghouse Electric and Manufacturing Company.

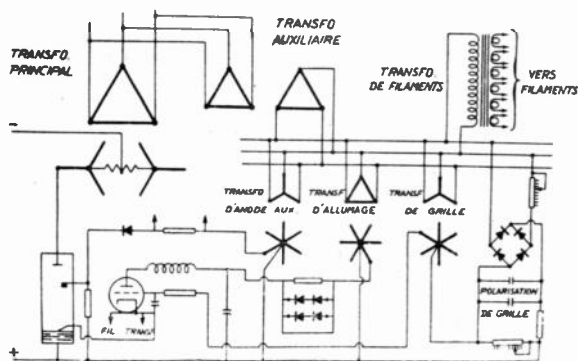


FIG. 1. — Schéma d'allumage à thyristors.

Si l'on applique à l'igniter à un moment choisi, une pointe de tension d'amplitude convenable, un courant prend naissance pour amorcer un arc. On peut attribuer en particulier l'émission électronique au premier instant au développement d'un gradient de potentiel extrêmement élevé, de l'ordre du million de volts par centimètre, à la surface du mercure, notamment du fait de la rugosité de sa surface, dont

les nombreuses et minuscules aspérités constituent autant de points de concentration du champ électrique.

L'arc local ainsi amorcé se propage le long de l'igniter, et de là, à l'anode si elle est portée à un potentiel convenable.

Naturellement, il est nécessaire que l'amorçage ait lieu dans des conditions bien définies, et le bon fonctionnement de l'igniter dépend essentiellement du choix de la matière qui le constitue, généralement le bore et ses composés, carbure de bore en particulier, de sa résistance électrique, et du traitement qu'elle a subi.

L'impulsion appliquée à l'ignitron peut être fournie par l'un des procédés connus de production de pointes de tension et de courant, comprenant le plus généralement un ensemble d'inductances et de capacités.

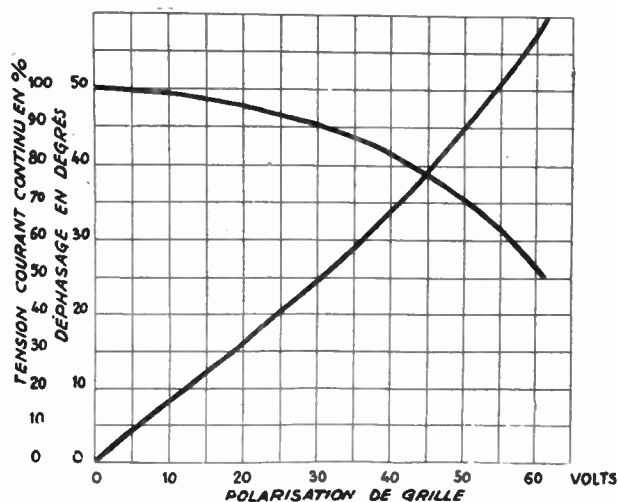


FIG. 2. — Courbe de réglage avec schéma à thyristors.

L'un des procédés utilise un thyatron d'allumage à la grille duquel on applique la pointe de tension fournie par la décharge d'un condensateur.

En agissant sur la tension de grille du thyatron, soit par superposition d'une tension continue variable à une tension alternative de polarisation, soit par tout autre système de déphasage, on règle à volonté la phase de l'impulsion par rapport à la période de la tension anodique de l'ignitron (Fig. 1).

Ce procédé de réglage est le plus précis et la courbe de régulation que l'on obtient ainsi, exprimant la grandeur de la tension continue recueillie à la

sortie d'un ensemble d'ignitrons formant un groupe redresseur, en fonction du courant de polarisation, est donnée par la figure 2.

Le seul inconvénient de ce dispositif réside dans la durée relativement brève des thyatron.

Un autre dispositif plus récent évite l'emploi de thyatron et utilise une réactance saturée qui,

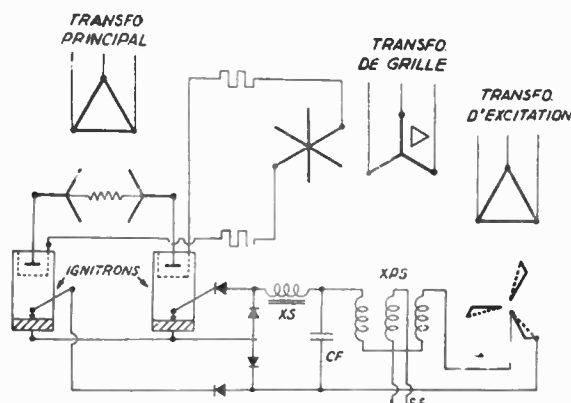


FIG. 3. — Schéma d'allumage à réactance.

traversée par le courant de décharge d'un condensateur, produit une courbe de courant très pointue qui passe dans l'igniter (Fig. 3).

La courbe de régulation correspondante est donnée par la fig. 4.

L'arc est amorcé à nouveau au cours de chaque période, ce qui permet de régler aisément la durée de conduction du tube.

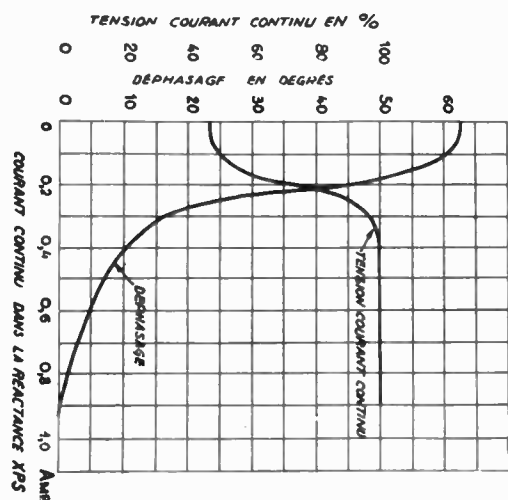


FIG. 4. — Courbe de réglage avec le schéma à réactance.

Le courant nécessaire dans l'igniter est relativement important et atteint une valeur efficace de 5 à 7 ampères. La durée de passage de ce courant est par contre extrêmement brève.

Tous les ignitrons actuellement construits sont du type à enveloppe métallique. Il existe deux genres d'ignitrons se distinguant par leur mode de construction.

Pour les courants n'excédant pas actuellement environ 200 ampères moyens par élément, on utilise la construction métallique entièrement scellée, où

le vide est fait une fois pour toutes dans le tube lors de la construction, comme dans les tubes électroniques de petites dimensions.

Pour les courants plus élevés, on emploie des igni-



FIG. 5. — Ignitron scellé.

trons démontables, eux aussi à enveloppe métallique, mais où le vide est entretenu par un système de pompage comme dans les autres redresseurs de puissance.

Les figures 5 et 6 sont des vues extérieures d'un ignitron dit « scellé » et d'un ignitron dit « pompé ». L'une des particularités essentielles des ignitrons est leur volume très réduit. Un appareil de 125 mm environ de diamètre est capable d'un courant de l'ordre de 200 ampères et un appareil de 500 mm environ d'un courant de 1000 ampères.

Le réallumage de l'arc à chaque période par l'igniter lui assure une grande fixité, ce qui permet de ne pas isoler la cathode de l'enveloppe.

Nous avons vu que la durée d'application de l'impulsion à l'igniter est extrêmement brève, cela pour réduire la consommation d'énergie qui en résulte et accroître la précision du réglage.

Dans les ignitrons scellés utilisés pour la soudure, cela est sans inconvénient, car le courant qui traverse l'ignitron est toujours assez élevé pour que l'arc une fois amorcé par l'igniter se maintienne grâce à l'ionisation entretenue par le courant d'anode.

Dans les ignitrons scellés utilisés comme redresseurs, des circonstances peuvent se présenter (par exemple courant d'anode trop faible), où l'on pourrait

éprouver des difficultés pour assurer le passage de l'arc sur l'anode. C'est pourquoi, les ignitrons scellés (fig. 7) utilisés comme redresseurs comportent une petite anode auxiliaire placée au voisinage de la cathode. Cette anode auxiliaire est reliée au secondaire d'un transformateur qui lui applique une tension modérée de l'ordre d'une cinquantaine de volts

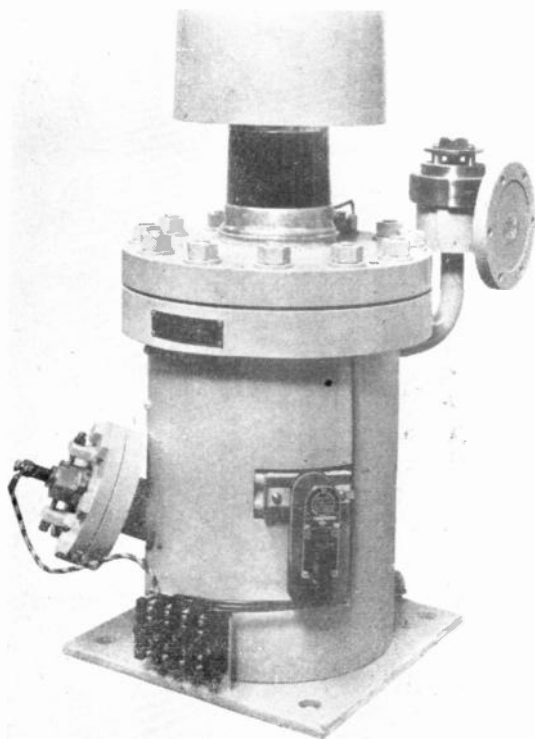


FIG. 6. — Ignitron à vide entretenu.

efficaces, déphasée d'environ 30° en avant sur la tension d'anode principale. Le potentiel de l'anode auxiliaire est assez près de son maximum au moment de l'amorçage de l'igniter et reste au voisinage de ce maximum assez longtemps pour faciliter l'établissement sur l'anode principale de l'arc qui au tout premier instant s'établit sur l'anode auxiliaire.

Un courant de quelques ampères sur l'anode auxiliaire suffit pour maintenir une ionisation suffisante.

Les ignitrons du type à dispositif d'entretien du vide ou « pompés », ne possèdent pas d'anode auxiliaire, mais une grille entourant l'anode (Fig. 8).

Cette grille est constituée par une cloche en graphite percée de trous. La figure 9, qui représente le montage de plusieurs anodes en chambre conditionnée, permet de voir nettement les grilles en graphite qui recouvrent ces anodes.

La grille est alimentée par le secondaire d'un transformateur qui produit une tension de l'ordre de 55 volts efficace déphasée de 30° environ (20 à 40°) en avant de la tension anodique. La grille joue au moment de l'allumage une fonction analogue à celle de l'anode auxiliaire dans les tubes plus petits, c'est-à-dire qu'elle facilite l'acrochage de l'arc sur l'anode, grâce à la constance relative de la tension de grille pour une variation importante de la phase d'allumage (Voir Figure 10).

La grille joue aussi un rôle très important dans la protection contre les retours d'arc.

On sait que, dans tous les redresseurs à vapeur de mercure à quelque modèle qu'ils appartiennent, les retours d'arc se produisent le plus souvent immédiatement après l'extinction du courant normal de l'anode. On les attribue à l'ionisation résiduelle, d'autant plus importante que l'extinction du courant a été plus rapide, ainsi qu'à l'apparition brusque d'une tension inverse d'amplitude d'autant plus grande que le passage du courant par zéro a été plus retardé. La valeur instantanée de la tension inverse qui apparaît alors et que l'on pourrait appeler la « tension de rétablissement » peut atteindre une fraction importante de la tension inverse maximum.

Dans les ignitrons pompés, la grille, dont le potentiel, déphasé en avant de la tension anodique est négatif au moment de la commutation du courant, a pour rôle de drainer les ions positifs déionisant ainsi la région anodique et réduisant la probabilité du retour d'arc.

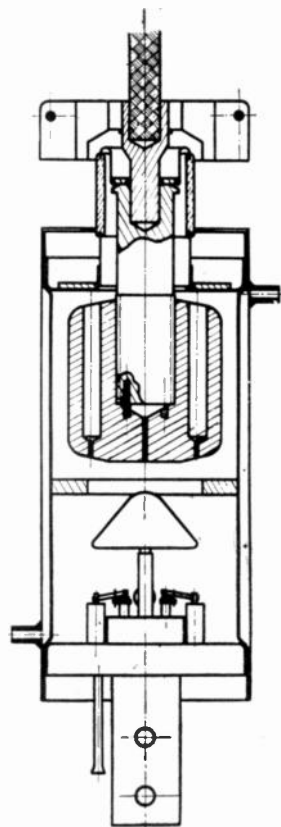


FIG. 7. — Coupe d'ignitron scellé.

Dans la construction Westinghouse, la grille n'a généralement que la double fonction de faciliter l'amorçage et de déioniser la région anodique lors de l'extinction. Les ignitrons à basse tension sont pourvus d'une seule grille. Certains appareils à haute tension sont munis d'une deuxième, parfois même d'une troisième grille, généralement au même potentiel que la première, et qui renforcent son action. Il existe cependant des appareils à plusieurs grilles dont l'une au moins sert à contrôler l'instant de l'amorçage, rôle dévolu dans la construction habituelle au seul igniter.

La chute de tension dans l'arc d'un ignitron est de 16 à 25 volts, plus faible que celle d'un redresseur polyanodique, grâce au fait que l'arc y est plus court. En outre, elle est lentement variable avec le courant.

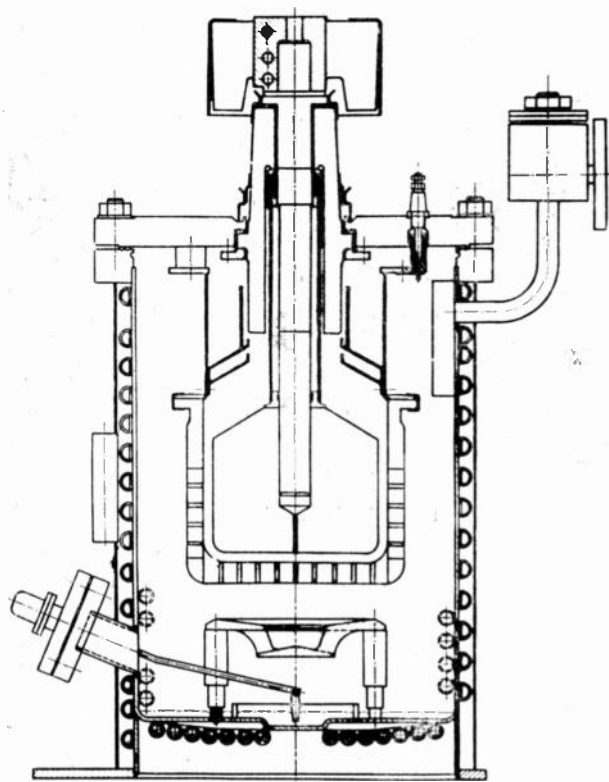


FIG. 8. — Coupe d'ignitron à vide entretenu.

En conséquence, le rendement est plus élevé que celui des redresseurs polyanodiques et a fortiori des groupes tournants.

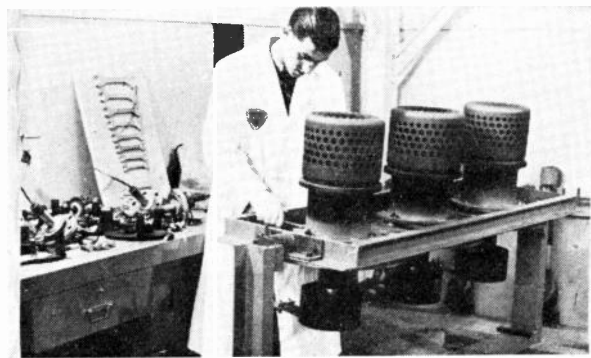


FIG. 9. — Montage d'anodes en chambre conditionnée.

Les ignitrons comportent un système de refroidissement par circulation d'eau dont nous vous dirons quelques mots dans un instant.

Applications.

L'emploi des ignitrons a pris en Amérique un développement extrêmement important depuis et pendant la guerre.

L'ignitron peut être utilisé soit comme élément d'un groupe redresseur soit comme contacteur sans inertie.

Une unité d'un groupe redresseur comprend 6 ou 12 ignitrons pompés soit dans un montage double-

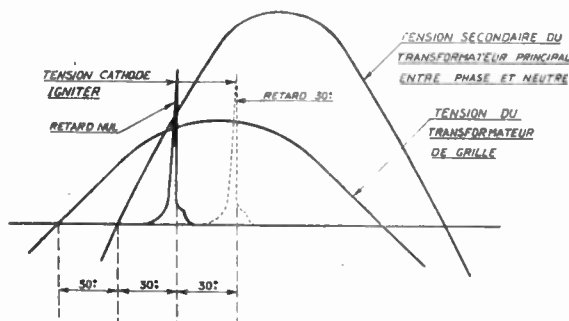


FIG. 10. — Courbe de tension de grille.

triphasé, soit dans un montage hexaphasé ou double hexaphasé. Les figures 11 et 12 sont les courbes de variation des tensions dans un ensemble double-triphasé, soit sans retard à l'amorçage, soit avec retard de 30°. On voit dans la partie inférieure de ces figures les courbes de variation de tension d'une anode dans ces deux hypothèses. Ces courbes mettent en évidence l'influence du déphasage sur la valeur de la « tension de rétablissement ».

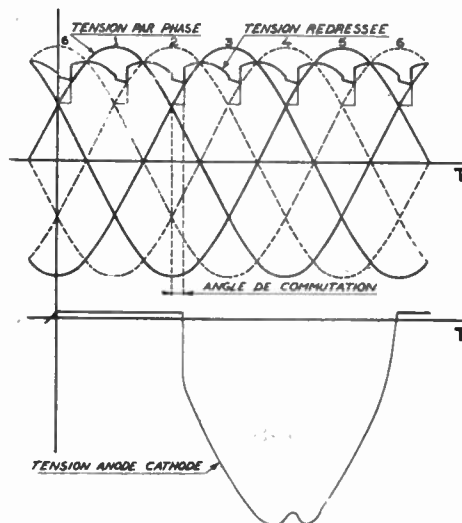


FIG. 11. — Tensions dans le fonctionnement en redresseur sans déphasage.

Une installation puissante, comme celles utilisées dans l'industrie électrochimique, comprend un certain nombre d'unités de chacune 12 ignitrons. Ces unités sont groupées en parallèle, ou mieux alimentées avec des tensions légèrement déphasées entre elles de façon à multiplier le nombre de phases de l'ensemble. Chaque ignitron est généralement pourvu d'un interrupteur d'anode qui élimine instantanément tout appareil affecté par un retour d'arc. L'appareil est ensuite remis immédiatement en service ; la perturbation apportée dans le service passe inaperçue si le nombre d'unités est suffisamment élevé.

Des installations d'électrochimie pour une puissance totale de plus de 5 millions de kW constituées par des ignitrons ont été installées en Amérique. Des puissances unitaires de plusieurs dizaines de milliers de kW sont fréquentes. Une installation de 70 000 kW environ est en cours d'installation en France.

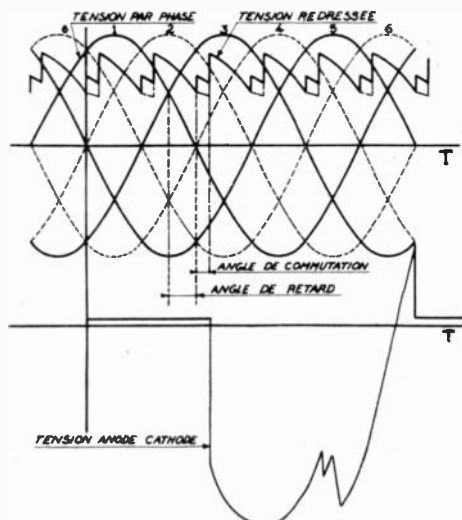


FIG. 12. — Tensions dans le fonctionnement en redresseur avec déphasage

Les ignitrons sont également utilisés au lieu et place de groupes tournants pour fournir l'énergie électrique à des moteurs de laminoirs. Une installation de ce genre et d'une puissance de 5 000 kW est en cours d'installation en France.

Les sous-stations de traction à courant continu constituent également une application importante des ignitrons.

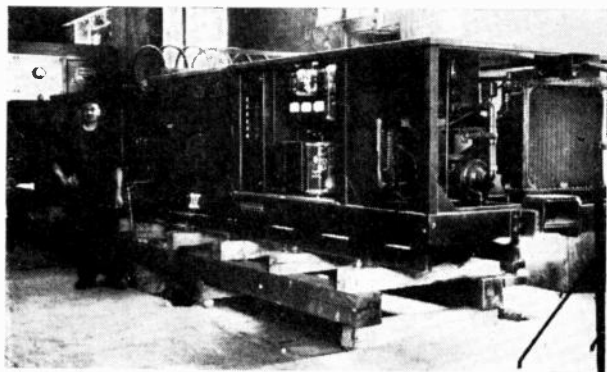


FIG. 13. — Station mobile d'ignitron.

Dans les mines, des stations mobiles d'ignitrons sont employées pour alimenter en courant continu les installations du fond. Une station mobile de 300 kW est installée aux Mines de la Sarre (fig. 13-14).

Enfin, une application très importante à signaler est l'emploi des ignitrons pour le contrôle du courant des machines à souder par résistance. L'ignitron fonctionne ici comme contacteur à fermeture instantanée. Si en effet, on insère un ignitron sur un circuit à courant alternatif, et si son igniter est ali-

menté par un dispositif de contrôle spécialement conçu, l'ignitron laisse passer ou bloque chaque alternance positive du courant alternatif suivant que son igniter reçoit ou non une impulsion. On peut ainsi régler la durée du courant de soudure. On peut aussi faire varier son intensité moyenne en réglant

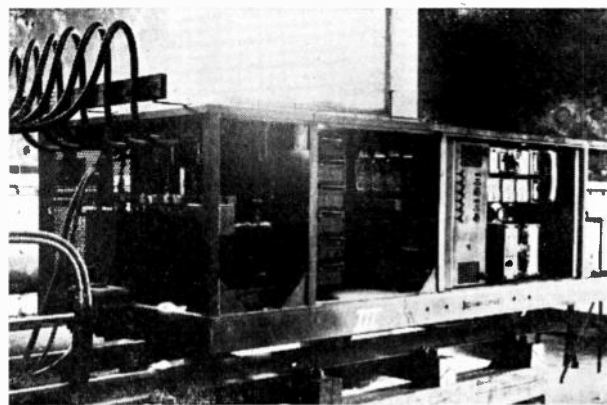


FIG. 14. — Station mobile d'ignitron.

l'instant d'allumage donc la durée de conduction du tube pendant une alternance. En pratique, on utilise deux ignitrons agissant chacun sur une alternance.

« Le Matériel Electrique S.W. », licencié de la Westinghouse Electric en France, a entrepris dans ses usines de Champagne-sur-Seine la construction des ignitrons.

Construction des ignitrons.

Il reste pour compléter cette rapide prise de contact avec un engin très répandu en Amérique et appelé, croyons-nous, à un grand développement en Europe, à vous parler de ses particularités constructives et des différents schémas d'allumage auxquels il donne lieu.

La constitution d'un pot d'ignitron pompé est relativement plus simple que celle d'un redresseur polyanodique classique. On trouve en démontant un élément type J par exemple représenté sur les figures 6 et 8, trois ensembles partiels principaux, le montage d'anode, la cuve de cathode et la traversée d'igniter.

Une particularité intéressante du montage d'anode est la façon dont est réalisée la traversée étanche isolée ; on soude à l'étain (fig. 15) deux collerettes en cuivre mince sur la porcelaine qui a subi une métallisation et un étamage préalables aux deux endroits à souder. La collerette supérieure est ensuite soudée à la tige d'anode, la collerette inférieure, à une troisième collerette, elle-même soudée auparavant à la plaque d'anode ou couvercle. Ce système assure à la fois une étanchéité parfaite, une résistance mécanique élevée et une élasticité suffisante pour permettre les dilatations.

La tige d'anode est composite (cuivre-monel), et se visse dans l'anode en graphite. Ses dimensions permettent l'évacuation de la chaleur dissipée dans l'anode vers un radiateur en cuivre. La grille, dont

la forme dépend des régimes de surcharge prévus pour le redresseur, est fixée à un support isolé du couvercle par des mycalex. La traversée de la connexion de grille peut être réalisée soit par une bougie d'avion, soit par un scellement au verre rapporté sur la plaque d'anode.

Dans la cuve, on a pu supprimer la porcelaine qui isole ordinairement celle-ci de la cathode dans les redresseurs polyanodiques classiques, ceci grâce au fait que la tache cathodique n'est pas entretenue



Fig. 15. — Soudure de collerettes sur porcelaine.

en permanence, et par conséquent, n'a pas le temps de s'évaporer du mercure pour atteindre les parois métalliques. Le refroidissement est réalisé extérieurement au moyen d'un tube de cuivre soudé à l'étain sur la paroi latérale et sur le fond de cathode. Un tube intérieur de refroidissement en acier doux gainé intérieurement de cuivre est prévu sur les types G, J et L.

Ce système, un peu plus difficile à réaliser qu'une chemise d'eau, évite l'attaque de l'acier et sa traversée par des ions hydrogène lourd.

Pour empêcher les projections directes de mercure sur la grille et l'anode, on dispose au-dessus de lui un écran en graphite qui n'existe d'ailleurs pas dans le type E.

La traversée d'igniter est formée d'un scellement au verre rapportée au moyen de soudure par résistance sur une membrane flexible serrée entre deux brides. On peut ainsi relever de l'extérieur, sans casser le vide, l'igniter au-dessus de la surface du mercure pour le transport, et régler sa profondeur d'immersion par une mesure de résistance.

Les joints d'étanchéité sont des anneaux de fil d'aluminium émaillé, écrasés jusqu'au fluage. Dans le restant de l'appareil, collecteur de vide, pompes, etc..., ils sont en caoutchouc synthétique du genre néoprène.

La cuve porte encore une valve d'isolement, sans boisseau ni presse-étoupe, dont la manœuvre ne casse pas le vide. La pièce essentielle de cette valve

est un soufflet en acier inoxydable, soudé à la molette sur le couvercle de la valve et sur la vis de manœuvre.

Le montage de ces divers éléments et l'assemblage final demandent les mêmes précautions que celles mises en œuvre dans la construction de tous les tubes à vide. La difficulté réside dans les dimensions des pièces à manœuvrer. Celles-ci sont dégraissées dans une machine au trichloréthylène, grenillées à la grenaille d'acier et polies à la brosse métallique. Elles arrivent alors dans une chambre conditionnée où l'air est filtré par un filtre électrostatique du type précipitron, et maintenu à une température et un état hygrométrique constants. Ce local a plus l'allure d'une chambre de chirurgie que d'un atelier, et le travail y est poussé très rapidement afin que les pots puissent être mis sous vide peu après le début du montage. Il faut naturellement éviter toute trace de graisse, de rouille, d'humidité et de corps étrangers.

Le dégazage est opéré par une marche en court-circuit sous tension réduite, qui comprend de nombreux cycles de surcharge durant au total une huitaine de jours. Après le dégazage, les pots sont démontés et nettoyés à nouveau, puis l'ensemble remonté est remis sous vide et est prêt à subir les essais de fonctionnement normal.

Un groupe redresseur comprend 6 ou 12 ignitrons monoanodiques montés sur un châssis : les valves sont connectées à un collecteur de vide dont les dérivations sont refroidies de la même façon que les cuves. Puis vient le groupe de production et de contrôle du vide, qui comprend une pompe à vapeur de mercure à trois étages de diffusion, un réservoir intermédiaire barométrique, une pompe rotative à huile, une jauge de MacLeod et un micromanomètre thermique monté en pont et actionnant un relais de vide.

Ce relais est réglé pour déclencher le groupe au-dessus de $20\ \mu$ et permettre le déclenchement au-dessous de $3\ \mu$. Le refroidissement est généralement réalisé en circuit fermé, avec échangeur de chaleur. Dans les groupes à 250 V, la température optimum de fonctionnement est comprise entre 45 et 53°, celle à ne pas dépasser est de 65°. Dans les groupes à 600 V ces chiffres sont respectivement de 40°, 45° et 55°. Le minimum requis est de 6° et le réchauffage de l'eau est continué jusqu'à obtention de la température de 15°. Au-dessus de la zone optimum on risque le retour d'arc, et au-dessous, le non-allumage. Ces valeurs sont également bonnes pour les ignitrons scellés. Une série de relais actionnés par des thermostats et commandant les organes convenables permet le maintien automatique de la température dans la région optimum.

Si l'on suppose que l'échangeur est du type eau-eau, avec une température de l'eau à l'entrée de 20°, le débit à prévoir est de l'ordre de 60 litres/heure, pour 100 ampères de charge. Il est environ doublé quand l'eau entre à 35°, ceci pour une tension d'arc comprise entre 16 et 20 volts. Lorsqu'on ne dispose pas d'une quantité suffisante d'eau courante, on a recours à un aéroréfrigérant. En règle générale le refroidissement par circulation directe n'est pas utilisé à cause du danger d'entartrage auquel il serait difficile de remédier.

Nous parlerons tout à l'heure du circuit d'allu-

mage qui est quelquefois installé également sur le châssis du groupe redresseur. Pour terminer cette description, nous citerons un seul chiffre très suggestif : le poids d'un ensemble redresseur de 3 000 kW à 600 volts n'est que de 7 500 kg, dans lesquels le cuivre n'est utilisé que pour les barres de connexion, les tubes de refroidissement, les tiges et radiateurs d'anodes, soit environ 7 à 8 % du poids total.

Bien différent est l'aspect d'un ignitron scellé. Qu'il soit destiné au service redresseur ou au service soudure, nous retrouvons les mêmes éléments que dans un élément pompé, avec quelques simplifications dans le cas d'ignitrons de soudure ; mais la réalisation, apparemment facile lorsqu'on se contente de jeter un coup d'œil sur le plan, se complique

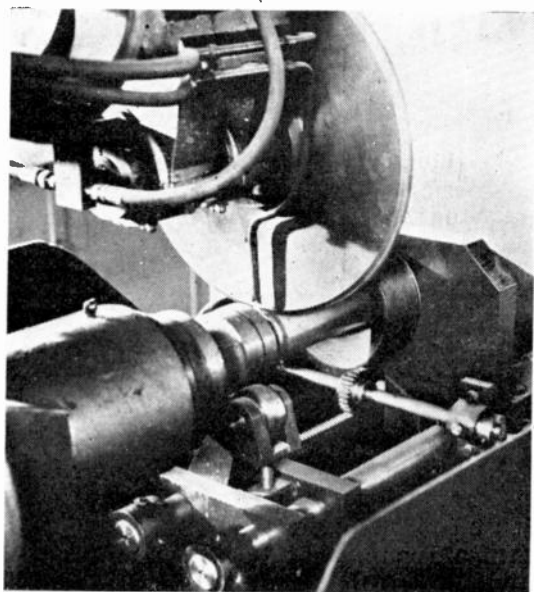


FIG. 16. — Machine à souder à la molette.

singulièrement du fait des nombreuses soudures dont chacune pose un problème d'étanchéité, ainsi que des considérations de dégazage initial, puisqu'il ne saurait être question de procéder, comme avec des ignitrons pompés, à un dégazage en fonctionnement en court-circuit.

On distingue, sur la figure 7, les éléments qui constituent un tube redresseur de type C. Deux enveloppes en acier inoxydable stabilisé forment chemise d'eau, la régularité du refroidissement étant assurée par un simple fil enroulé en spirale entre les deux tubes. Le tube intérieur est obturé à ses deux extrémités par deux fonds formant l'ensemble d'anode et l'ensemble de cathode. Les soudures circulaires sont exécutées à l'aide d'une machine à souder à la molette à contrôle électronique, à alimentation triphasée, capable de 35 000 ampères (fig. 16).

L'ensemble supérieur supporte la tige d'anode sur laquelle vient se visser l'anode par l'intermédiaire d'un scellement au verre qu'on réalise au tour de verrier.

Auparavant, les parties métalliques ont été réunies par une soudure par bossage sur une presse à souder dont le contrôle est semblable à celui de la

machine précédente, et capable de 100 000 ampères (fig. 17).

L'ensemble cathode est obtenu par des moyens analogues. Sur le fond sont fixés : le tube de dégazage en acier extra doux, la ou les traversées d'igniters, éventuellement la traversée d'anode auxiliaire qui remplace la grille des ignitrons pompés, un écran de molybdène qui contrecarre l'agitation du mercure et un écran de graphite dont le rôle est d'empêcher les projections de mercure sur l'anode.

Avant montage, les pièces métalliques sont soigneusement dégraissées et décapées. Elles subissent un traitement approprié à la nature du métal dans un four électrique de 30 kW à atmosphère d'ammoniac craqué où des précautions spéciales sont prises pour éviter toute trace d'ammoniac libre. Le refroidissement s'opère dans un tunnel alimenté en atmosphère contrôlée et faisant suite au four.

Les graphites sont également dégazés sous vide à 2 000° et conservés de même dans un réservoir de stockage. La fabrication des igniters et leur dégazage font l'objet d'une suite d'opérations laborieuses contrôlées fréquemment de façon à obtenir des produits comparables, au point de vue résistance mécanique, résistance électrique et caractéristique d'allumage. Après le dégazage final, les igniters sont conservés dans le vide. En général, les pièces constituant un ignitron sont montées moins d'une semaine après leur dernier traitement. Ceci règle, en fonction des moyens dont dispose l'atelier,

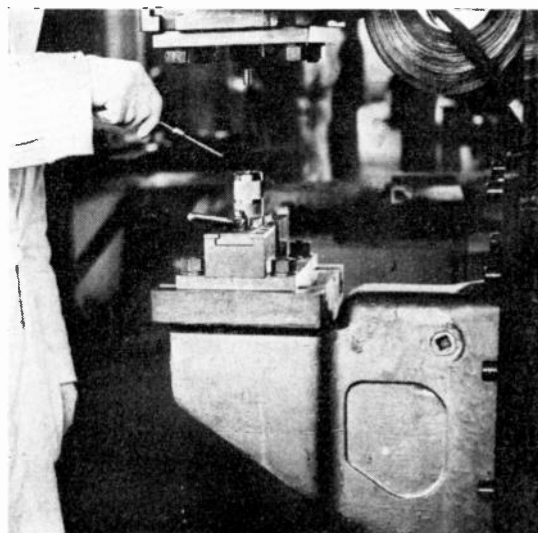


FIG. 17. — Presse à souder.

l'importance des séries à entreprendre. Cependant, on peut stocker toutes les pièces à leur avant-dernière phase de fabrication, ce qui permet de répondre rapidement à la demande, tout en n'ayant pas de stock d'appareils finis.

L'ignitron étant monté sans son enveloppe externe, est dégazé pendant un temps variant de 2 à 9 heures selon sa taille, entre 925 et 1000°. Le chauffage est effectué par induction au moyen d'un générateur à 500 kilocycles. Ce procédé présente de nombreux avantages, en particulier il permet un réglage très

souple de la chauffe et une surveillance facile des scellements au verre. Il est important de surveiller la pression pendant le dégazage et d'en limiter l'augmentation lorsque se produit le dégagement massif des gaz occlus. Le mercure, qui a été auparavant bidistillé sous vide, est introduit en fin d'opération sous forme d'un fin brouillard, par un injecteur à pointe. La durée de remplissage est d'environ 10 minutes. Enfin, le tube est scellé en pinçant le tube d'évacuation et en le soudant à l'aide d'une pince à souder mobile triphasée de 25 kVA. Depuis le début du dégazage jusqu'à l'obturation de l'ignitron, ce dernier n'a donc pas bougé de place. Il ne reste plus qu'à souder à la molette la chemise d'eau et à procéder aux essais, qui sont les suivants : mesure de résistance d'igniter à froid, essai d'allumage, essai d'isolement, mise sous tension à froid à 12 000 volts. Ce dernier essai donne une indication de la valeur du vide et est répété au bout d'une quinzaine de jours pour vérifier l'étanchéité absolue de l'appareil.

Ces indications extrêmement succinctes donnent une idée du travail nécessité par la construction d'un engin d'allure très innocente et des moyens matériels mis en œuvre. On s'étonne à première vue de la disproportion apparente entre les machines et le produit mais la surprise disparaît lorsqu'on les voit fournir en une fraction de seconde des soudures étanches au vide d'une surface considérable. On comprend aussi le prix relativement élevé de ces tubes, en songeant au surplus à la sélection sévère des matières et aux rebuts inévitables qui surviennent tant au cours de la fabrication qu'aux essais.

Schémas d'allumage.

Nous traiterons maintenant, schématiquement les principaux circuits d'allumage utilisés pour exciter les igniters.

Le plus simple, aujourd'hui abandonné sur les redresseurs, mais souvent conservé sur les ignitrons de machines à souder, est l'allumage dit « anodique », la tension appliquée à l'anode l'est également à l'igniter correspondant par l'intermédiaire d'un thyatron. Il suffit d'agir sur la phase d'allumage de ce dernier par l'intermédiaire de sa tension de grille, pour jouer sur la phase d'allumage de l'ignitron. Ce dispositif simple présente de nombreux inconvénients. En effet, dès que le thyatron est conducteur, un arc s'établit entre le mercure de l'ignitron et le support de l'igniter. La tension anode-cathode de l'ignitron n'est plus égale à la tension du secondaire du transformateur, mais seulement à la somme de la tension d'arc d'igniter et de la chute interne du thyatron. Elle est de l'ordre de 25 volts et si pour une raison quelconque, l'arc n'est pas transmis à l'anode principale, le thyatron n'est pas court-circuité et est rapidement mis hors de service. Ceci risque de se produire surtout aux faibles charges et entraîner tout au moins un retour d'arc dans le thyatron, d'où l'allumage de l'igniter et augmentation de l'ionisation au voisinage de la cathode pendant la période de tension inverse. On utilise cependant l'allumage anodique dans le cas d'application des ignitrons aux machines à souder par résistance, où les charges sont généralement élevées, en protégeant

les thyatrons par des fusibles. Les igniters présentent dans ce cas une résistance à froid comprise entre 25 et 150 ohms.

Les dispositifs normalement employés sur les redresseurs se classent en deux groupes : ceux à décharge de capacité et ceux dits « à réactance saturable ».

Pour obtenir un allumage positif certain, on estime désirable d'appliquer à l'igniter une pointe de tension de l'ordre de 600 à 700 volts, qui correspondrait à une pointe de courant de 45 à 60 A dans une résistance de 0,25 ohms. Le maximum du courant moyen d'igniter est de 2 ampères pour une durée d'intégration de 10 secondes, la valeur efficace allant de 5 à 7 ampères. Les pertes dans le circuit d'igniter sont de 100 à 250 Watts par igniter.

On voit tout de suite l'importance que va prendre le dispositif d'allumage par rapport au reste de l'installation, et c'est ce qui explique qu'il ne soit pas indiqué de prévoir de redresseurs ignitrons pour une puissance inférieure à 100 kW.

Dans l'allumage par décharge de capacité (fig. 1.), le circuit comprend un transformateur d'allumage chargeant une capacité à travers une résistance ou une réactance. Le condensateur peut se décharger dans l'igniter à travers une deuxième réactance et un thyatron. La variation de la phase de l'allumage de l'igniter par rapport à celle de la tension d'anode s'obtient en agissant sur la polarisation de grille, généralement en superposant à une tension alternative de grille de grandeur et de phase invariables une tension continue variable. Tout autre système déphaseur serait évidemment possible. Pour permettre des déphasages de grande amplitude sans nuire à la stabilité du circuit, la charge du condensateur est faite à travers un redresseur sec, avec une avance suffisante pour que la capacité soit chargée à la tension maximum quel que soit l'instant de la décharge. Une fois la décharge terminée, le transformateur de charge débite, tant que sa tension reste positive, directement dans l'igniter un courant faible suffisant pour entretenir l'arc d'igniter.

L'allumage dit « par réactance saturée » (fig. 3) a, au fond, une certaine similitude avec le précédent. Le thyatron qui jouait le rôle d'un contacteur-redresseur est remplacé par une réactance — dont la caractéristique U, I présente un coude très accentué, ceci pour la fonction contacteur — en série avec un redresseur sec, pour la deuxième fonction de thyatron.

Un condensateur d'allumage est chargé à travers une réactance linéaire par un transformateur de charge, jusqu'à une tension pour laquelle la réactance saturable se sature et laisse passer la décharge du condensateur. En réalité, on dispose d'un jeu de redresseurs secs permettant d'utiliser la décharge du condensateur dans les deux sens et d'alimenter deux igniters en opposition de phase.

Le déphasage de l'allumage peut se réaliser de diverses façons : déphaseur mécanique ou pont déphaseur avant le transformateur de charge, ou encore remplacement de la réactance linéaire de charge par une réactance à trois noyaux, dont l'un est saturé plus ou moins par un courant continu de réglage. Ce dernier moyen permet de faire varier la ten-

sion continue aux bornes de l'ignitron de 50 % en jouant sur un courant de polarisation de 0 à 1 ampère.

On a ainsi un dispositif entièrement statique et sans tube à vide. Il est à peine moins précis que celui à capacité-thyratron, et sa stabilité est très bonne. Il s'amorce pour une tension d'excitation comprise entre 90 et 95 % de la tension nominale et reste ensuite amorcé même lorsqu'elle s'abaisse jusqu'à 50 à 60 % de celle-ci (selon la valeur du courant continu de saturation).

L'allumage par réactance saturable est actuellement très répandu aux Etats-Unis et semble répondre fort bien aux conditions numériques que nous avons énoncées il y a quelques instants.

La régulation de la tension continue d'utilisation peut, dans tous les cas d'allumage, se faire manuellement ou automatiquement en agissant sur le dispositif déphaseur, qu'il s'agisse d'un potentiomètre réglant la polarisation des grilles des thyratrons, d'un déphaseur mécanique, ou d'un courant continu de saturation. Dans le cas de marche en parallèle, un régulateur du type « à peignes » ou analogue agit sur le circuit de déphasage, un petit transformateur d'amortissement évitant le pompage. On n'utilise pas habituellement toute la gamme du réglage possible, car on réduirait alors par trop le facteur de puissance. Les calculs théoriques concernant les circuits de puissance des ignitrons sont d'ailleurs les mêmes que ceux qui intéressent les redresseurs polyphasés, puisqu'ils ne préjugent en rien du procédé d'allumage de l'arc.

Caractéristiques.

Je ne peux malheureusement qu'effleurer la question, pourtant importante, des caractéristiques des ignitrons. La chute de tension d'arc est faible, 16 à 25 volts, et sa valeur en fonction du débit est lentement croissante. Entre 25 et 150 % de la charge nominale, le rendement ne varie pas de plus d'un point. Les surcharges admissibles sont limitées comme toujours par l'échauffement, mais la masse de l'appareil étant faible au regard de celle d'un convertisseur tournant, il en résulte des conditions différentes. Ceci est encore plus vrai des ignitrons scellés montés sur des machines à souder et qui travaillent toujours en surcharge. Les habitués des con-

trôles électroniques connaissent bien les notions de facteur d'utilisation et de durée d'intégration ainsi que les courbes qui servent à déterminer le type d'ignitrons à monter sur une machine donnée.

Quant aux ignitrons pompés, on distingue :

- le service industriel : charge 125 % pendant 2 heures, 200 % pendant 1 minute ;
- le service électrochimie : charge 150 % pendant 1 minute ;
- le service mines et traction :
 - classe 1 : 150 %, 2 heures ; 200 %, 1 minute ;
 - classe 2 : 150 %, 2 heures ; 300 %, 1 minute ;
 - classe 3 : 150 %, 2 heures ; 300 %, 5 minutes.

Je me contente d'indiquer les possibilités d'automatisme qui peut être poussé à l'extrême et comporter toutes les sécurités désirables et j'en arrive pour terminer à l'appareillage des circuits de puissance. Il faut se protéger contre un retour d'arc éventuel, et on est conduit, selon la puissance de l'installation à utiliser des disjoncteurs à plus ou moins grande vitesse. Dans les petites installations, le côté continu est coupé par un disjoncteur semi-rapide, coupant le courant en 2 à 3 périodes, le côté alternatif étant équipé de disjoncteurs normaux coupant le courant en 8 à 10 périodes. Quand la puissance totale installée dépasse 9 000 A dans la classe 600 volts ou 12 000 A dans la classe 250/300 V on installe des disjoncteurs ultra-rapides d'anode, limitant le courant en moins d'une demi-période et le coupant en moins d'une période. On facilite la marche en parallèle de plusieurs unités avec des disjoncteurs semi-rapides de cathode. Il s'agit de cas d'espèce à résoudre suivant les caractéristiques du réseau alternatif et du réseau continu.

Pour conclure, je rappellerai que l'ignitron a supplanté en Amérique les autres systèmes de redresseurs de grande puissance. Les groupes installés y représentent actuellement plus de 3 millions de kW, et on peut dire que ce développement a été un des facteurs qui ont influencé la marche de la dernière guerre. On a pu, en effet équiper électriquement des usines de production d'aluminium et de magnésium en des temps records qui n'auraient pu être réalisés avec des convertisseurs tournants. Les considérations de rendement, de facilité d'installation, de sécurité d'exploitation et de possibilité de surcharges vous auront convaincu, je l'espère, des possibilités d'avenir de l'ignitron en France et en Europe.

REMARQUES SUR L'USAGE DES CADRES

PAR

P. POINCELOT

Ingénieur en Chef des Postes et Télégraphes

Depuis quelque temps, les auditeurs de la Radio-diffusion ont remis les cadres à la mode. Mais ce qu'ils demandent au collecteur d'ondes fermé n'est plus, comme naguère, d'assurer, par un effet directif, une protection contre une émission jugée indésirable. Il s'agit d'améliorer le rapport du signal au bruit. On trouve dans le commerce un grand nombre de cadres qui, malgré leur construction simple et leur prix modique, sont très efficaces, ainsi que l'expérience le montre aisément. Cependant, nous avons pu constater qu'on ne donne pas toujours une explication satisfaisante de ce fait.

Il nous a paru opportun de le justifier dans cette courte note, afin de montrer qu'il ne tient pas à des circonstances fortuites ou secondaires, mais bien à la nature même du collecteur d'ondes. Ces raisons ne peuvent que renforcer notre opinion à l'égard du cadre.

On sait que les parasites industriels et même atmosphériques se propagent à grande distance le long des conducteurs du secteur électrique, d'une manière

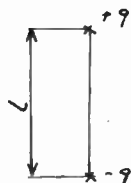


Fig. 1

très dissymétrique, favorable au rayonnement. Mais, lorsque la distance d'une source est très inférieure à la longueur d'onde, le champ rayonné décroît très vite, si bien que dès qu'on écarte l'aérien du secteur, on constate une amélioration considérable ; on connaît l'intérêt des antennes extérieures avec une descente sous écran ; les antennes intérieures sont souvent préférées par les auditeurs à cause de leur simplicité, mais, le plus souvent, elles ont une hauteur efficace faible, sont fortement couplées au secteur, et par suite procurent un mauvais rapport signal/bruit.

Considérons (fig. 1) un doublet électrique constitué par deux charges variables $\pm q$ distantes de la longueur l infiniment petite. Soit

$$\varphi = lq \quad (1)$$

le moment du doublet.

On peut déterminer facilement le rayonnement du doublet. Soit (fig. 2) un point M de l'espace dont les coordonnées sphériques sont r, θ, α , le doublet étant situé à l'origine et dirigé suivant l'axe oz .

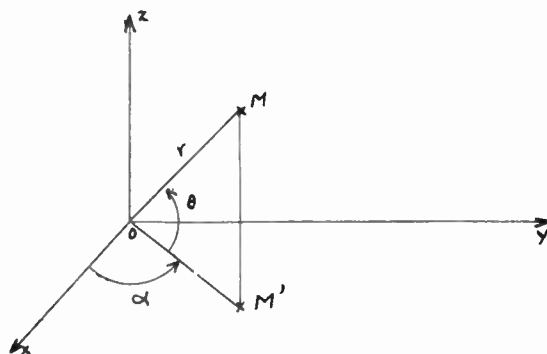


Fig. 2

Les composantes ($E_x, E_y, E_z, \mathcal{H}_x, \mathcal{H}_y, \mathcal{H}_z$) du tenseur de Maxwell sont exprimées par les relations suivantes, en unités électromagnétiques c.g.s. :

$$E_x = \frac{c^2}{r^3} \sin \theta \cos \theta \left[3\varphi + 3\frac{r}{c}\varphi' + \frac{r^2}{c^2}\varphi'' \right] \quad (2)$$

$$E_y = 0 \quad (3)$$

$$E_z = -\frac{c^2}{r^3} \cos^2 \theta \left[3\varphi + 3\frac{r}{c}\varphi' + \frac{r^2}{c^2}\varphi'' \right] + 2\frac{c^2}{r^3} \left[\varphi + \frac{r}{c}\varphi' \right] \quad (4)$$

$$\mathcal{H}_x = 0 \quad (5)$$

$$\mathcal{H}_y = -\frac{1}{r^2} \cos \theta \left[\varphi' + \frac{r}{c}\varphi'' \right] \quad (6)$$

$$\mathcal{H}_z = 0 \quad (7)$$

avec :

$$\varphi' = \frac{d\varphi}{dt}, \quad \varphi'' = \frac{d^2\varphi}{dt^2} \quad (8)$$

Si le moment φ est une fonction sinusoïdale du temps, il vient :

$$\varphi' = j\omega\varphi, \quad \varphi'' = -\omega^2\varphi \quad (9)$$

et nous pouvons écrire le système précédent sous la forme :

$$E_x = \frac{c^2}{r^3} \sin \theta \cos \theta \left[3 + j 3 \frac{2 \pi r}{\lambda} - \left(2 \pi \frac{r}{\lambda} \right)^2 \right] \varphi \quad (10)$$

$$E_y = 0 \quad (11)$$

$$E_x = -\frac{c^2}{r^3} \cos \theta \left[3 + j 3 \frac{2 \pi r}{\lambda} - \left(2 \pi \frac{r}{\lambda} \right)^2 \right] \varphi \quad (12)$$

$$+ 2 \frac{c^2}{r^3} \left[1 + 2 \pi \frac{r}{\lambda} \right] \varphi$$

$$\mathfrak{H}_x = 0 \quad (13)$$

$$\mathfrak{H}_y = -\frac{j \omega}{r^2} \cos \theta \left[1 + j 2 \pi \frac{r}{\lambda} \right] \varphi \quad (14)$$

$$\mathfrak{H}_z = 0 \quad (15)$$

Si nous envisageons la réception des ondes longues ou moyennes, nous avons à considérer des distances très inférieures à la longueur d'onde. On voit alors que le champ électrique décroît comme l'inverse du cube de la distance, c'est-à-dire d'une manière très rapide, ce qui justifie l'usage d'antennes extérieures à descente écranée. On remarque aussi qu'à courte distance, la composante $\mathfrak{H}_y$ décroît comme $\frac{1}{r^2}$, en suivant une loi différente. A grande distance au contraire, les composantes décroissent comme $\frac{1}{r}$, et l'on a, pour une onde plane, la relation

$$E = c \mathfrak{H} \quad \text{u. é. m. c. g. s.} \quad (16)$$

Considérons maintenant un émetteur lointain pour lequel les composantes E_s et $\mathfrak{H}_s$ satisfont à la relation (16) et une source locale de bruit à laquelle correspondent des composantes E_b et $\mathfrak{H}_b$:

$$E_b = \frac{c^2}{r^3} \varphi \quad (17)$$

$$\mathfrak{H}_b = \frac{c}{r^3} \cdot \frac{2 \pi r}{\lambda} \cdot \varphi \quad (18)$$

Soient une antenne et un cadre de dimensions infiniment petites. Si h désigne la hauteur efficace de l'antenne, les tensions de signal et de bruit sont respectivement :

$$e_s = h c \mathfrak{H}_s \quad (19)$$

$$e_b = h \frac{c^2}{r^3} \varphi \quad (20)$$

si bien, que pour l'antenne, le rapport signal/bruit s'écrit :

$$\sigma_A = \frac{\mathfrak{H}_s r^3}{c \varphi} \quad (21)$$

Pour le cadre, les quantités précédentes deviendront :

$$e'_s = \omega S \mathfrak{H}_s \quad (22)$$

$$e'_b = \omega S \mathfrak{H}_b \quad (23)$$

On trouve ainsi, pour le cadre, le rapport signal/bruit :

$$\sigma_c = \frac{\mathfrak{H}_s \lambda r^2}{2 \pi c \varphi} \quad (24)$$

et l'on peut évaluer comme suit le gain procuré par le cadre :

$$\frac{\sigma_c}{\sigma_A} = \frac{\lambda}{2 \pi r} \quad (25)$$

Considérons maintenant un cadre de dimensions finies, sur la surface duquel le champ parasite est variable. Nous allons chercher si les dimensions du

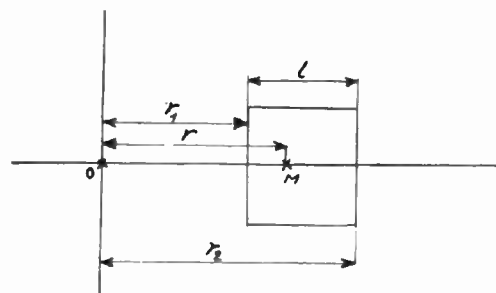


Fig. 3

cadre présentent une valeur optimum. Supposons que la composante $\mathfrak{H}$ du bruit soit normale à la surface du cadre. En nous reportant à la relation (14), nous écrirons :

$$\mathfrak{H} = \frac{1}{r^2} [1 + j k r] \varphi \quad (26)$$

avec

$$k = \frac{2 \pi}{\lambda} \quad (27)$$

Dans l'évaluation de la tension de bruit, nous aurons à résoudre l'intégrale :

$$e_b = k \int_{r_1}^{r_2} [1 + j k r] \frac{e^{-j k r}}{r^2} dr \quad (28)$$

On la trouve égale à :

$$e_b = K \left\{ \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \times \right. \quad (29)$$

$$\left. [\cos k(r_2 - r_1) - j \sin k(r_2 - r_1)] \right\} e^{-j k r_1}$$

Posons :

$$r_2 - r_1 = l \quad (30)$$

Nous avons :

$$k(r_2 - r_1) = 2\pi \frac{l}{\lambda} \ll 1 \quad (31)$$

Le module de e_b est donc sensiblement égal à :

$$|e_b| \approx K \left[\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right] = \frac{Kl}{r_1(r_1 + l)} \quad (32)$$

On voit que, si r_1 est constant et l variable, $|e_b|$ varie suivant la courbe de la figure 4.

Il est donc avantageux, à priori, d'augmenter la surface limitée par l'enroulement, pourvu que le cadre conserve une symétrie suffisante.

L'emploi de cadres blindés, avec une symétrie parfaite de l'enroulement par rapport à la masse, tels que ceux dont on se sert en radiogoniométrie,

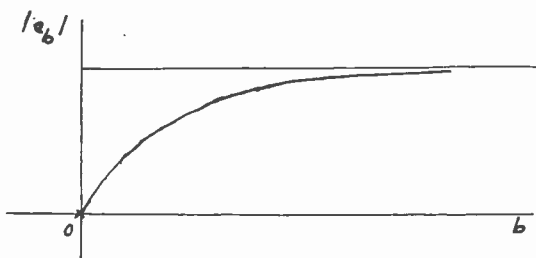


Fig. 4

serait naturellement avantageux du point de vue du rapport signal/bruit. On sait que ce procédé supprime pratiquement l'effet d'antenne. Il a l'inconvénient d'être plus coûteux. En outre, le blindage amortit le cadre en diminuant son facteur de surtension. On trouve d'ailleurs de tels cadres dans le commerce.

Parmi les autres causes qui peuvent contribuer à l'amélioration du rapport signal/bruit, on men-

tionne souvent l'effet directif. Nous sommes d'avis qu'il s'agit là d'un avantage secondaire mais non absolument négligeable. Etant donné qu'en moyenne le rayonnement parasite n'a pas de direction privilégiée par rapport au champ utile, l'effet est dû seulement aux qualités sélectives du cadre, qui sont meilleures que celles d'une antenne.

Enfin, en raison de la valeur élevée de son coefficient de surtension, qui peut être 10 ou 20 fois plus grand que celui d'une antenne médiocre, le cadre peut améliorer la sélectivité du circuit d'entrée et contribuer de cette manière à l'amélioration du rapport signal/bruit. A notre avis, cet effet peut être assez sensible dans le cas de récepteurs relativement simples, qui ne possèdent aucun étage présélecteur, comme beaucoup de récepteurs de radiodiffusion.

Faisons une application numérique de la formule (25), sans toutefois y voir autre chose qu'un ordre de grandeur, en raison de l'imprécision de nos données. Considérons un émetteur à ondes longues, tel que Radio-Luxembourg et prenons :

$$\lambda = 1\,300 \text{ m}$$

$$r = 5 \text{ m}$$

Nous trouvons une amélioration de 32 décibels, à laquelle peut encore s'ajouter celle qui provient des causes secondaires que nous avons sommairement examinées ; or l'addition des décibels fait penser au dicton populaire sur l'accroissement d'une boule de neige.

Plusieurs auteurs étudient des radiogoniomètres du genre Adcock, dont on connaît l'avantage en ce qui concerne « l'effet de nuit », mais dans lesquels les antennes sont remplacées par des cadres, ce qui est intéressant à divers égards, par exemple celui des rayonnements secondaires et des parasites locaux.

A notre avis, le cas des parasites est tout à fait analogue à celui des rayonnements secondaires qui ont fait l'objet de travaux assez anciens, notamment de la part de R. MESNY (*Onde Electrique*, mars 1935, Editorial, pages 129-130, par R. MESNY).

DE LA CONCEPTION DES GÉNÉRATEURS H. F. A USAGE INDUSTRIEL ET DU DÉVELOPPEMENT DE LEUR UTILISATION EN FRANCE ⁽¹⁾

PAR

M. Jean GIRARDEAU

Ingénieur E.C.P.

Directeur Général de la Société de Traitements Electrolytiques et Electrothermiques

Bien que les possibilités du chauffage par induction et du chauffage par pertes diélectriques aient été connues depuis longtemps, c'est seulement après la dernière guerre que ces nouvelles applications des courants Haute-Fréquence ont pris véritablement un essor industriel.

I. — LA CONCEPTION DES GÉNÉRATEURS HAUTE-FRÉQUENCE A USAGE INDUSTRIEL

Avant d'examiner le développement de cette industrie au bout de ces cinq années d'existence, il nous a paru indispensable de considérer tout d'abord les enseignements que l'expérience a permis de dégager en ce qui concerne les appareils eux-mêmes.

En effet, si la conception de ceux-ci était à l'origine sensiblement identique à celle des émetteurs de radiodiffusion, on peut affirmer aujourd'hui qu'il existe une technique particulière pour la conception et la construction des générateurs de Haute-Fréquence industrielle.

Les différences entre ces deux matériels sont en effet considérables.

1°) Différence dans les buts à atteindre

Un émetteur de radiodiffusion est fait pour rayonner sur une longueur d'ondes déterminée, et l'encombrement de l'éther impose une très grande stabilité, ce qui exige la multiplication du nombre d'étages, le pilotage à quartz, etc... L'émission ayant généralement pour but de transmettre des sons, le filtrage doit être extrêmement soigné pour éviter les ronflements parasites.

Au contraire, dans les générateurs destinés aux traitements thermiques, le pourcentage d'harmoniques et le taux de ronflements peuvent être relativement élevés.

Nous pouvons donc mettre en œuvre un seul étage auto-oscillateur monté suivant la disposition classique Hartley, Colpitts, etc... et un organe de couplage, transformateur magnétique dans le cas de l'induction, transformateur genre Boucherot dans le cas du chauffage par pertes diélectriques.

Par suite de la présence de ces éléments de couplage, et en particulier dans le cas du chauffage par pertes diélectriques, l'énergie réactive mise en jeu dans le primaire est sensiblement plus importante que dans le cas d'un émetteur ordinaire, sinon il se produirait un passage d'ondes avant l'arrivée à pleine charge du poste.

Cette valeur élevée des KVA du circuit oscillant impose même, dans certains cas, la réalisation de circuits à surtension élevée, analogues aux circuits à constantes réparties, utilisés pour les ondes ultra-courtes.

En ce qui concerne le filtrage, celui-ci peut être réduit à sa plus simple expression, et même supprimé.

2°) Différence dans les conditions d'emploi

La conception d'un appareil doit nécessairement être étroitement liée à ses conditions d'emploi particulières. Or, celles-ci sont extrêmement différentes dans les deux cas :

a) Les locaux :

Les générateurs d'émission sont placés dans des locaux généralement construits à cet effet, où les conditions de propreté et d'aération ont été particulièrement étudiées.

En Haute-Fréquence industrielle, les générateurs sont introduits dans les locaux existants, à proximité de leurs postes de travail, et le plus souvent ces locaux sont bien loin de présenter toutes les conditions requises.

Il n'est pas rare, dans certaines usines de moulage de matières plastiques ou de caoutchouc, de voir régner en été une température ambiante dépassant 50° C. Les fuites de vapeurs des presses y sont constantes et les taux d'humidité très élevés.

Dans d'autres cas, le générateur doit fonctionner dans un nuage de poussière contenant des particules métalliques, et parfois dans un brouillard de sucre ou même de produits chimiques inflammables.

Ceci implique évidemment que les conditions d'isolement et de ventilation soient particulièrement étudiées. Il serait en fait infiniment souhaitable, si cela n'aboutissait pas à un prix de revient trop élevé, que les générateurs Haute-Fréquence présentent toutes les caractéristiques d'un matériel tropicalisé.

(1) Conférence faite à la Société des Radioélectriciens le 19 avril 1950.

b) Le personnel d'utilisation :

Si le matériel de radiodiffusion ou de télécommunication est toujours entre les mains de techniciens avertis, c'est bien rarement le cas des générateurs de Haute-Fréquence industrielle.

Le personnel d'utilisation est loin d'être familier de la technique radio. Dans le cas du moulage de thermodurcissables, ce personnel est constitué fréquemment par de simples manœuvres ; pour le soudage des thermoplastiques, par des ouvrières jusqu'alors familières des machines à coudre ; et même dans l'industrie mécanique, s'il existe parfois un ingénieur ayant quelques connaissances radio qui effectue les réglages et les mises au point, la production est assurée par des ouvriers habitués jusqu'alors au fonctionnement de chalumeaux à acétylène ou de fours très robustes.

Le maniement des générateurs doit donc être quasi-automatique et dépendre le moins possible de lecture d'appareils de mesure que ne savent pas lire, en général, les gens qui les utilisent quand ils prennent la peine de les regarder, ce qui est tout à fait exceptionnel ! Les possibilités de fausses manœuvres devront par conséquent être totalement éliminées.

3°) Différence dans l'utilisation

Alors qu'un émetteur ordinaire remplit une fonction toujours identique à elle-même, les générateurs

un assez grand nombre de pièces très diverses, aussi, doit-il être toujours « adapté » aux pièces à traiter.

Dans un récent article paru dans la Revue « Mécanique », M. Paul PARTIOT, dont la compétence en la matière est particulière puisqu'à l'aide de 3 générateurs 100 kW il effectue la trempe à façon de pièces très variées, manifestait son étonnement et sa satisfaction de pouvoir injecter successivement avec un même générateur, quelques 100 kW dans une roue d'automotrice, quelques 60 à 70 kW dans un engrenage de motocyclette, et 20 ou 30 kW dans un axe de piston de vélomoteur, tout ceci sans décrocher, c'est-à-dire en faisant osciller les triodes sans aucun réglage particulier autre que celui de la puissance appliquée (fig. 1).

Il est nécessaire, pour obtenir ce résultat, de créer dans le circuit d'utilisation une intensité extrêmement élevée permettant de travailler sur les impédances très variables des inducteurs.

A titre d'indication, le générateur 100 kW dont les performances viennent d'être citées permet d'obtenir dans le circuit d'utilisation une intensité de 2.000 Ampères.

4°) Différence dans l'appréciation des éléments d'amortissement

Les éléments d'amortissement des générateurs Haute-Fréquence industrielle diffèrent essentiellement des éléments d'amortissement des générateurs d'émission radio. En effet, ils sont inclus dans des fabrications dont le prix de revient est soumis à la concurrence. Ils deviennent un facteur de ce prix de revient, et leur coût d'exploitation est toujours comparé aux autres méthodes existantes.

Ce matériel doit donc être établi au meilleur prix, sans toutefois sacrifier aux conditions de robustesse et de facilité d'utilisation énoncées ci-dessus.

Conclusion

En conclusion, les points sur lesquels il convient d'insister sont les suivants :

Les générateurs de Haute-Fréquence industrielle sont des appareils simples au point de vue conception électrique et radioélectrique, mais toute la difficulté est reportée sur le problème d'adaptation.

Ce problème d'adaptation est d'ailleurs plus difficile à résoudre que dans la radio ordinaire, étant donné les variations de la charge à la sortie suivant la température du matériau et les variations consécutives de la fréquence à l'entrée.

Le fonctionnement doit être quasi-automatique, les manœuvres se limitant autant que possible à la mise en route et à l'arrêt.

Enfin, et ce dernier point nous paraît le plus important, sous peine d'être en effet inutilisable dans l'industrie, le générateur de Haute-Fréquence industrielle doit présenter toutes les caractéristiques d'une machine-outil simple, robuste et efficace. Il doit s'éloigner autant que possible d'un matériel de laboratoire aux performances parfois étonnantes, mais d'une utilisation délicate sinon impossible en exploitation courante, et d'une sécurité de fonctionnement insuffisante.

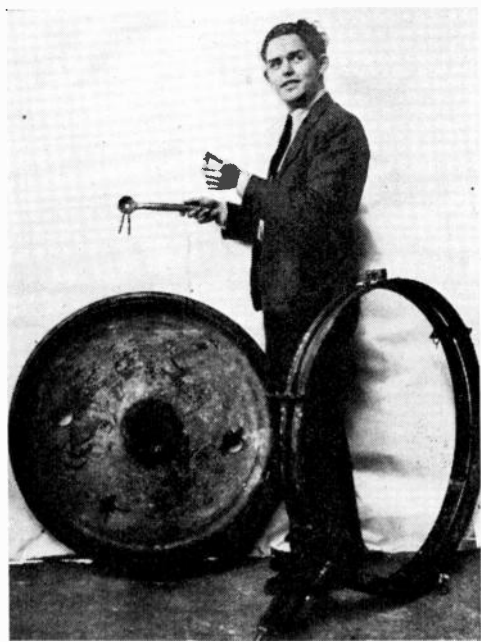


Fig. 1. — Possibilités d'un générateur français (Ets Partiot Rueil). Les pièces présentées avec leurs inducteurs : une roue d'automotrice et un maneton de moto sont chauffés successivement sans aucune modification de réglage. Le poste oscille aussi bien dans les deux cas.

industriels doivent se prêter à une très grande souplesse d'utilisation. Sauf cas exceptionnels, les séries ne sont pas suffisamment importantes en France pour qu'un générateur soit appelé à fonctionner plus de quelques heures sur une pièce unique ; le plus souvent, il est appelé à traiter dans la même journée

Si l'idée d'économie doit toujours être présente à l'esprit de l'ingénieur d'études, on ne doit toutefois jamais lui sacrifier le coefficient de sécurité de l'ouvrage en exploitation courante. Seuls, des appareils parfaitement éprouvés, soumis à plusieurs mois d'une utilisation réellement industrielle, doivent être mis à la disposition des utilisateurs.

Les générateurs conçus ou réalisés sans respecter ces conditions risqueraient de donner lieu aux pires déboires lorsqu'ils seraient mis entre les mains des usagers, et pourraient même faire disparaître la confiance que ceux-ci ont acquise dans la Haute-Fréquence industrielle, à la suite des résultats obtenus ces dernières années.

Lampes d'équipement

Les constructeurs de générateurs Haute-Fréquence industrielle utilisent actuellement les mêmes lampes que celles qui équipent les générateurs de radiodiffusion, pour l'excellente raison qu'ils n'en ont pas d'autres à leur disposition.

Cependant, cette utilisation est en vérité une sorte de paradoxe, ces lampes ayant certaines qualités qui ne sont pas indispensables et ne possédant pas toujours celles qui sont souhaitables.

En effet, leurs caractéristiques sont souvent trop poussées pour un matériel dont les schémas ne font appel ni à des pentes élevées ni à des capacités inter-électrodes réduites.

Ces caractéristiques poussées se traduisent par une tendance à l'accrochage sur ondes parasites, fréquente dans les montages simples employés. Les lampes doivent pouvoir supporter des variations dans la tension de chauffage allant jusqu'à $\pm 10\%$, et des variations dans la dissipation anodique largement supérieures à celles admises communément en radiodiffusion.

Le poste est souvent amené à travailler à vide, d'où augmentation importante de tension grille et de courant grille. Le problème de la dissipation grille qui joue peu en radio ordinaire prend ici une importance considérable.

Enfin, le prix de revient horaire doit être encore plus bas que pour la radiodiffusion.

Il est certain qu'il serait extrêmement souhaitable sinon indispensable, pour développer l'emploi de la Haute Fréquence industrielle, que les constructeurs de lampes réalisent les lampes spéciales dont les caractéristiques soient moins poussées que celles des lampes modernes, mais qui répondent mieux aux desiderata qui viennent d'être exposés.

Enfin, en ce qui concerne les traitements par pertes diélectriques, donc en ondes courtes, des lampes de conception analogue à celle des resonateurs ou des magnétrons semblent devoir connaître un bel avenir dans le domaine des ondes métriques, et peut être même pour certaines applications, décimétriques.

Les machines d'utilisation

Un générateur Haute-Fréquence industrielle n'est qu'une source, ou plutôt qu'un transformateur d'énergie, tout comme un compresseur d'air, et n'est pas une fin en lui-même ; son emploi exige, dans la quasi-

totalité des cas, la présence d'une machine d'utilisation.

Il serait désirable, dans tous les cas, de proposer à l'utilisateur un ensemble complet comprenant générateur et machine, car il est évident que seuls les possibilités et le coût de l'ensemble sont pris en considération pour l'achat du matériel.

Ce problème est bien connu des constructeurs et représente un de leurs principaux soucis, car si dans certaines applications, tel le préchauffage des matières plastiques ou du caoutchouc ou le soudage des thermoplastiques, la machine est simple, dans d'autres cas, en particulier pour la trempe de pièces mécaniques au défilé, elle peut être extrêmement complexe.

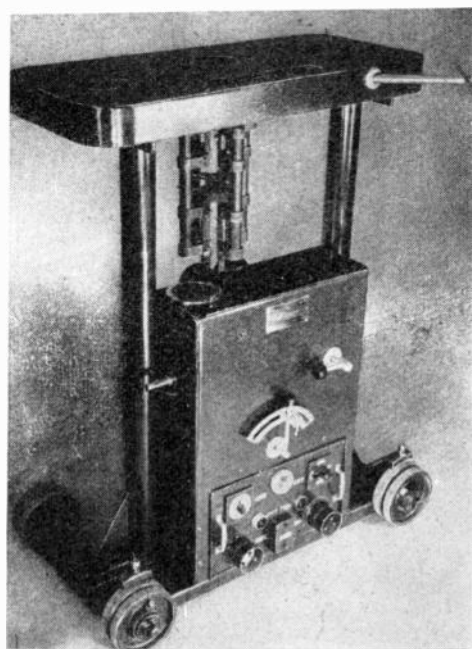


Fig. 2. — Machine type Bique à défilé vertical (Const. Partiot). Cette machine permet la trempe automatique avec défilement vertical de pièces telles que : arbres cannelés, axes cylindriques, tiges, règles, etc ..

Dans ces cas de machines simples, préchauffage ou soudage, les constructeurs fournissent toujours un ensemble complet.

Pour d'autres applications, qui leur paraissent susceptibles d'un assez grand développement, ils ont souvent étudié une machine particulièrement adaptée.

Dans beaucoup d'autres cas, le constructeur ne peut agir qu'à titre de conseil pour que la machine réalisée par l'utilisateur soit bien adaptée au générateur qui lui est accolé.

En effet, l'expérience des constructeurs radio dans la construction de machines mécaniques est évidemment relativement sommaire, et celle des utilisateurs, par exemple dans l'industrie mécanique ou automobile, est souvent beaucoup plus étendue.

Il existe dès maintenant en France, à la disposition des utilisateurs, toute une série de machines d'utilisation de postes de puissance élevée type 100 kW, destinées à la trempe superficielle de la plupart des pièces de l'industrie automobile et mécanique (fig. 2).

Ces machines simples et robustes, d'une très grande souplesse d'utilisation, sont utilisées depuis plusieurs années et sans cesse perfectionnées. Elles complètent très heureusement les générateurs et l'on peut ainsi affirmer que les constructeurs français réalisent des ensembles complets de traitements thermiques Haute-Fréquence qui n'ont rien à envier aux réalisations américaines. Elles présentent même des caractéristiques mieux adaptées aux besoins de l'industrie européenne.

Les recherches d'application

Les applications de la Haute-Fréquence sont multiples ; nous verrons plus loin que, au bout de cinq années seulement d'utilisation, elle a déjà trouvé une place importante dans de nombreuses industries, mais les réalisations actuelles sont loin de représenter toutes les possibilités de cette nouvelle technique. Il en est encore de nombreuses autres qui ont été très peu ou même pas du tout exploitées.

Le choix entre ces diverses applications représente un des problèmes les plus importants pour le constructeur qui ne peut pas se lancer à la fois dans toutes les directions, mais se trouve obligé de concentrer ses efforts dans quelques domaines particuliers.

Il est certain que le développement de la Haute-Fréquence dans certaines industries dépend essentiellement de l'aide que les constructeurs ont trouvée auprès des utilisateurs. Il est indispensable que les deux éléments collaborent très étroitement, autant pour bien poser le problème que pour le résoudre de façon satisfaisante.

Dans de nombreux cas, les constructeurs se heurtent à une inertie quasi-totale ; les utilisateurs ne veulent pas poser le problème dans tous ses détails par peur de révéler des secrets de fabrication ; dans d'autres cas, ils n'admettent absolument pas de modifier en quoi que ce soit les méthodes utilisées depuis de longues années, et ils veulent que l'introduction du moyen nouveau que représente la Haute-Fréquence s'intègre dans leurs fabrications sans modifier celles-ci en aucune façon.

L'expérience a montré que, dans ce cas, quels que soient les efforts du constructeur, il ne réussissait jamais à aboutir seul, et les machines proposées ne convenaient jamais aux utilisateurs qui n'avaient pas voulu apporter leur expérience et leurs conseils dans l'étude du problème à résoudre.

Au contraire, chaque fois qu'une collaboration a été très étroite, on est très rapidement arrivé à conclure, soit que l'emploi de la Haute-Fréquence dans tel ou tel domaine ne présentait aucun intérêt, soit à obtenir des réalisations qui procuraient des améliorations considérables dans l'industrie intéressée.

II. — LE DÉVELOPPEMENT DE LA HAUTE-FRÉQUENCE INDUSTRIELLE EN FRANCE

Nous allons examiner maintenant très rapidement les différentes applications du Chauffage Haute-Fréquence qui se sont particulièrement développées en France ces dernières années.

Il est bien évident que chacune d'elles pourrait faire l'objet d'une communication particulière, et

nous nous excusons, étant donné la nécessité de limiter notre exposé, de ne pouvoir insister suffisamment sur certains problèmes. Notre but sera simplement de faire le point des réalisations effectives, sans examiner en détail les raisons qui ont motivé tel ou tel développement plutôt que tel autre.

Nous examinerons tout d'abord le développement du chauffage par pertes diélectriques.

CHAUFFAGE PAR PERTES DIÉLECTRIQUES

Préchauffage des matières plastiques

C'est intentionnellement que nous citons cette application en premier lieu, car ce fut en effet la première à connaître réellement un développement industriel dès l'après-guerre.

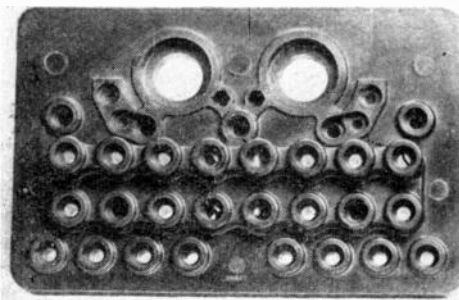


Fig. 3. — Pièce de distributeur. Poids 1,380 gr. Temps de cuisson sans H. F. 29'. Temps de cuisson avec H. F. 10'.

Les avantages du préchauffage avant moulage des matières plastiques thermodurcissables (phénoplastes ou aminoplastes) sont en effet fort nombreux.

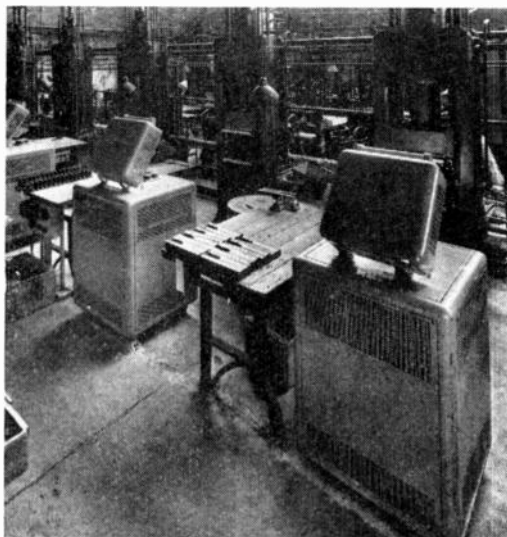


Fig. 4. — Une usine moderne (Ets Baldon à Bezons). Chaîne de 5 générateurs de préchauffage.

Rappelons brièvement, pour ce qui concerne les avantages techniques, que les pièces préchauffées acquièrent une amélioration considérable de leurs propriétés électriques (en fait, dans de nombreux cas, seul le préchauffage permet de répondre aux conditions des cahiers des charges pour les fournitures de pièces électriques ou radioélectriques), que la

résistance mécanique est en moyenne doublée et l'amélioration du poli extérieur très notable.

Pour ce qui concerne les *avantages économiques*, le préchauffage conduit à une économie de matériel et de main-d'œuvre importante, et, pour une même presse, à une augmentation de production d'environ 50 % (fig. 3).

Ces avantages ont fait que l'emploi de la Haute-Fréquence s'est généralisé (fig. 4). Les constructeurs offrent sur le marché une gamme de générateurs de puissances allant de 200 W à 7 kW; la puissance la plus couramment utilisée varie entre 1 et 2,5 kW.

Signalons que, grâce à des récipients spéciaux à base de résines organo-siliciques, le préchauffage peut aussi bien être effectué sous forme de poudre que sous forme de pastilles.

A l'origine, les premiers générateurs mis en service ont donné lieu à certaines difficultés d'exploitation; les constructeurs avaient peu d'expérience dans la construction des appareils et avaient sous-estimé les difficultés à résoudre, et les utilisateurs connaissaient mal l'emploi de ce matériel. Comme nous l'avons déjà indiqué, les conditions de fonctionnement des générateurs de préchauffage sont d'ailleurs particulièrement pénibles par suite de l'ambiance chaude et humide dans laquelle ils sont placés.

Les conditions d'isolement, de filtrage et de ventilation doivent être particulièrement étudiées, ainsi que la simplicité de fonctionnement puisque ces appareils sont destinés à être manipulés par des manœuvres, mais nous croyons maintenant que les constructeurs ont su profiter de l'expérience acquise sur les appareils en exploitation et que les générateurs modernes répondent bien aux conditions d'emploi.

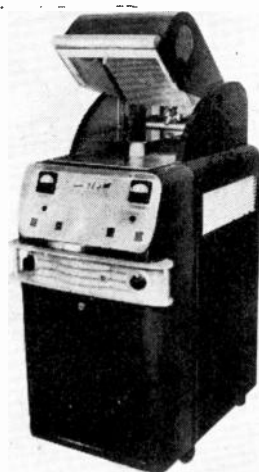


Fig. 5. — Un générateur de préchauffage moderne (Cliché Stel).

On peut donc espérer que le développement du préchauffage Haute-Fréquence qui avait subi un certain ralentissement, prendra un nouvel essor grâce au matériel moderne maintenant à la disposition des utilisateurs (fig. 5).

En outre, le procédé du moulage par transfert fait son apparition en France. Ce procédé rend pratiquement obligatoire l'utilisation d'un préchauffage Haute-Fréquence; il est destiné à supplanter le

procédé habituel de la compression dans de nombreux cas, et il y a là, sans nul doute, des possibilités d'avenir particulièrement intéressantes pour la Haute-Fréquence.

Soudage de thermoplastiques

Pour ne pas quitter le domaine des matières plastiques, nous examinerons maintenant le développement du soudage des matières thermoplastiques.

Celles-ci ont pris une place de plus en plus importante dans de nombreux domaines. Si leur emploi s'est notablement développé en France, les quelques chiffres suivants, montrant leur importance aux Etats-Unis, indiquent bien que ce développement est loin d'avoir atteint son plein essor.

LE MARCHÉ DU VINYL AUX U.S.A. (MODERN PLASTICS).

Quelques chiffres :

Production 1947 : 25.000 t ;

Production 1948 : 36.000 t. ;

Production 1949 : 45.000 t. ; (estimation).

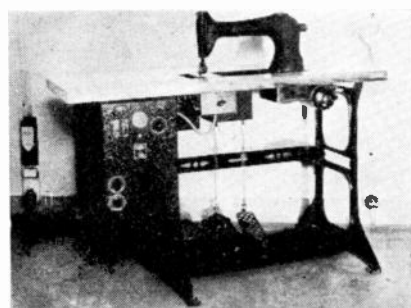


Fig. 6. — Machine à coudre électronique française (Cliché Sari).

On voit que la production a presque doublé entre 1947 et 1949. Ces chiffres sont la preuve d'un développement d'une rapidité véritablement extraordinaire

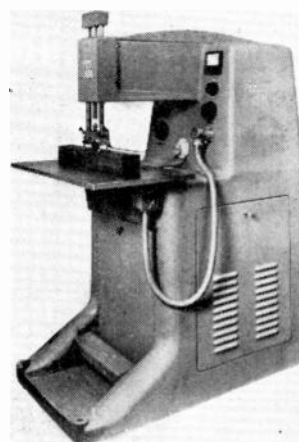


Fig. 7. — Générateur à empreinte 750 W (Cliché Stel).

qui, d'après les dernières informations, ne semble pas devoir se ralentir en 1950.

Les soudures Haute-Fréquence sont propres, aussi solides que la matière elle-même. Il n'existe pas de zone de moindre résistance comme dans un sim-

ple collage ou une couture à l'aiguille. Un objet soudé par Haute-Fréquence ne se déchire jamais à l'endroit de la soudure.

La formation de bulles est totalement éliminée. La transparence du joint reste aussi bonne qu'en pleine masse. Enfin il ne se dégage aucune odeur, ce qui est indispensable dans le cas d'emballages de produits alimentaires.

Le coût d'assemblage n'est pas supérieur à celui des autres moyens à la condition, toutefois, que le générateur soit correctement utilisé.

Si l'on continue encore à coller ou à coudre ces matières, c'est que l'emploi de machines à coller ou de machines à coudre est plus familier aux utilisateurs que celui des générateurs Haute-Fréquence. L'emploi de ceux-ci se développe toutefois très rapidement actuellement. Il existe déjà plusieurs entreprises possédant plus d'une dizaine de générateurs, et nous connaissons tout au moins une d'entre elles qui en possède 25.

En ce qui concerne les appareils eux-mêmes, ils sont généralement du type à empreinte. On ne peut toutefois passer sous silence la réalisation d'un constructeur français qui a mis au point une machine à coudre électronique, comparable aux réalisations étrangères du même type (fig. 6). Néanmoins, en ce qui nous concerne, nous estimons que ces machines à coudre électroniques exigent des réglages très précis et sont d'un emploi très délicat. Nous leur préférons des machines à empreinte, plus simples et plus robustes, dont la production est au moins équivalente (fig. 7).



Fig. 8. — Imperméable entièrement soudé par H. F. (Cliché Stel)

On peut effectuer avec celles-ci entre 500 et 1.000 soudures à l'heure, ce qui permet de réaliser par exemple un imperméable entre 10 et 15 minutes, une culotte pour bébé entre 4 et 6 minutes, et un ballon en 10 minutes.

La longueur de soudure possible dépend évidemment de la puissance utilisée et de l'épaisseur du tissu. Pour des tissus courants, elle atteint 30 à 40 cm pour un 200 W, 1 m à 1,20 m pour un 750 W, plus de 4 m en soudure fermée pour un générateur 2,5 kW, ces chiffres étant donnés pour des largeurs de soudures normales comprises entre 1 et 2 mm. A noter

que pour la fabrication de vêtements, la longueur maximum de soudure en ligne droite dépasse rarement 30 cm pour des raisons de rapidité de mise en place des tissus.

La puissance des générateurs de soudure mis actuellement à la disposition de la clientèle française varie entre 50 W et 2,5 kW. La pression peut être appliquée soit à l'aide de ressort taré, soit à l'aide d'un dispositif électromagnétique, soit à l'aide d'une presse pneumatique. Quel que soit le système, la pression est toujours réglable, car elle doit varier suivant la nature et l'épaisseur des tissus à souder.

Nous ne nous étendrons pas plus longtemps sur les appareils eux-mêmes et examinerons le développement des applications.

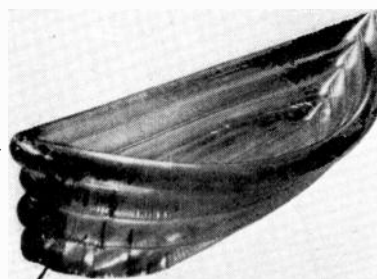


Fig. 9. — Réalisation française d'objets soudés par H. F. (Clichés Lachmann).

On peut les classer en trois catégories qui sont : les vêtements, les objets gonflés et les emballages.

1° *Les vêtements* : Tout le monde connaît maintenant les imperméables, bonnets de bain, articles de sport, ceintures, culottes pour bébés, tabliers, etc... (fig. 8) en chlorure de vinyle. Ces articles sont exécutés dans des coloris très divers et ont pris une grande extension. Bien que, dans la majorité des cas ils soient encore cousus, la soudure Haute-Fréquence s'impose rapidement pour les raisons que nous avons énumérées.

Ces articles sont le plus souvent exécutés dans différentes entreprises spécialisées, mais l'on commence à voir apparaître la couturière en chambre qui remplace sa machine à coudre par un générateur Haute-Fréquence. Cette dernière clientèle exige évidemment des appareils très simples et très robustes.

2° *Les objets gonflés* : ces objets tels que matelas de camping, bateaux pneumatiques, ballons et jouets divers, ont pris une très grande extension aux Etats-Unis ; ils présentent un intérêt particulier pour la Haute-Fréquence puisqu'aucun autre moyen d'assemblage ne permet de les réaliser, leur étanchéité devant être absolue (fig. 9).

Si la plupart de ceux que nous voyons en grande quantité sur nos plages proviennent des Etats-Unis, c'est que la fabrication en France de tissus parfaitement étanches n'a été réussie que depuis quelques mois seulement. Elle exige en effet des précautions tout à fait particulières. L'opération de calandrage doit être effectuée dans une salle de propreté chirurgicale, toute impureté ou défaut entraînant un point de fuite.

Ces tissus étant maintenant disponibles sur le marché, ainsi que les générateurs permettant de les souder, il est permis de penser que de très intéressantes réalisations, entièrement françaises, seront mises prochainement à la disposition de la clientèle.

3° *Les emballages* : ceux-ci sont extrêmement variés puisqu'on peut classer dans cette catégorie les blagues à tabac, les emballages industriels allant de la housse de machine à écrire à celle du moteur d'avion, les emballages alimentaires et les emballages pharmaceutiques.

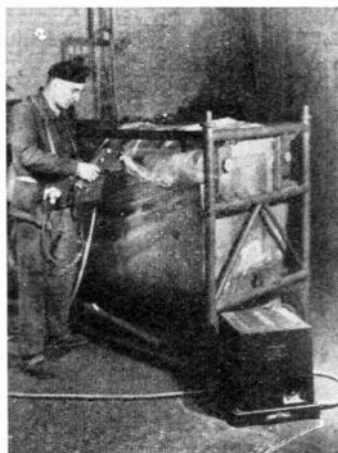


Fig. 10. — Soudage d'une housse de moteur d'avion (Cliché SNECMA). La housse est fermée sur place à l'aide d'un générateur portatif 50 W.

Si blagues à tabac, étuis de peignes, housses de machines à écrire, sont maintenant connus de tous, les autres applications sont plus récentes et méritent une attention particulière.

L'emballage de pièces industrielles de dimensions importantes pour stockage ou expédition outre-mer est maintenant possible grâce à l'existence de générateurs portatifs extrêmement robustes, conçus spécialement pour la soudure de housses sur de très grandes pièces. Cette méthode vient d'être adoptée par la SNECMA et le MINISTÈRE DE L'AIR pour l'emballage de moteurs d'avions (fig. 10), on envi-

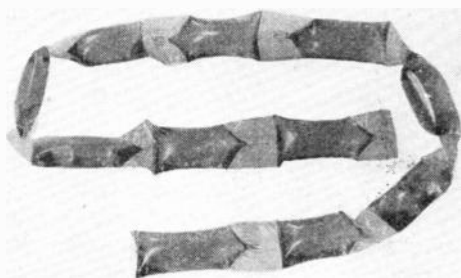


Fig. 11. — Emballage soudé par H. F. Le tube en PVC est soudé après remplissage.

sage de l'étendre à de nombreuses autres applications.

Cette application présente un intérêt particulier pour l'industrie radioélectrique dont les fabrications

déliçates et d'un prix élevé doivent être soigneusement protégées des risques d'oxydation. Elle est dès maintenant utilisée pour l'emballage de lampes dans une housse parfaitement étanche, et envisagée pour l'expédition d'appareils d'émission.

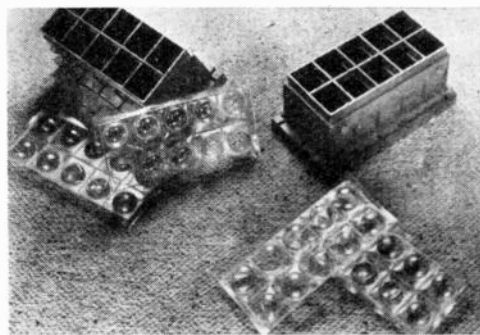


Fig. 12. — Emballage en acétate de cellulose soudés par H. F. avec les électrodes utilisées (Cliché Stel)

Les emballages étanches présentent également un très gros intérêt dans les industries alimentaires et pharmaceutiques. De nombreuses réalisations sont à l'étude en ce domaine (fig. 11).

Nous estimons le nombre de générateurs de soudure actuellement en service en France à cent cinquante environ. Le développement rapide de l'emploi des tissus en matières plastiques, la production de tissus parfaitement imperméables, l'existence d'une gamme complète de générateurs de soudure de 50 W à 2,5 kW, la mise au point de générateurs permettant de souder des matières à faibles pertes comme l'acétate de cellulose (fig. 12) doivent conduire à une augmentation considérable de ce chiffre dans un proche avenir.

L'industrie du bois

La Haute Fréquence apporte dans cette industrie des solutions nouvelles pour les problèmes de séchage et de collage.

Si le séchage ne paraît rentable que dans des cas particuliers, telle la dessiccation des bois précieux, par exemple les bois de lutherie, le collage s'est par contre révélé extrêmement intéressant pour de nombreuses applications.

Les avantages reconnus en utilisant le collage Haute-Fréquence sont les suivants :

a) Réduction considérable des temps d'immobilisation des presses, et par conséquent accroissement du rendement ;

b) Diminution des frais de main-d'œuvre et de la surface occupée dans les ateliers ;

c) Amélioration de la qualité des collages en utilisant seulement des colles à chaud.

Les opérations généralement effectuées sont les suivantes :

1° Collage en forme de pièces lamellées et cintrées telles que quilles et membrures de bateaux, membrures d'avions, charpentes en arc, etc...

2° Collage de panneaux moulés et parties de meubles tels que tonnelets d'emballage, garnitures de sièges, parties de panneaux, ébénisterie radio, etc...

3° Assemblage d'éléments de construction : portes planes, parois de maisons pré-fabriquées, etc...

4° Fabrication de panneaux contre-plaqués, assemblage des éléments de panneaux lattés, jointage des plaquages, collage de contreplaqué épais, etc...

La Haute-Fréquence est également utilisée avantageusement dans la fabrication des bois comprimés et des bois imprégnés.

L'emploi de la Haute-Fréquence dans l'industrie du bois s'est beaucoup répandu aux Etats-Unis, en Angleterre et en Suède. Malgré l'exemple de ces réalisations étrangères et malgré les avantages ci-dessus énumérés, son emploi en France est encore limité. On peut cependant espérer que grâce aux efforts du Centre Technique des Industries du Bois et en particulier de son très actif Directeur M. COLLARDET, qui a su montrer à ses adhérents, à l'aide de plusieurs conférences et expositions, l'intérêt qu'ils avaient à utiliser la Haute-Fréquence, les industriels français suivront rapidement l'exemple de leurs collègues étrangers.

L'industrie du caoutchouc

Les seules exploitations industrielles en France sont limitées au préchauffage avant moulage, suivant le même procédé que pour les matières plastiques thermodurcissables. D'excellents résultats ont été obtenus pour cette application.

A titre d'exemple, notons qu'à l'aide d'un générateur d'une puissance de 2,5 kW on préchauffe en 1,5 minute 2 semelles et 2 talons de bottes d'un poids

teur accouplé à une presse est équivalente à la production de quatre presses.

Le coût du préchauffage Haute-Fréquence pour une paire de bottes est de 10 Frs, alors que le prix de vente de la même paire de bottes est supérieur à 900 Frs.

Par ailleurs, des études sont actuellement en cours pour la vulcanisation du spongieux.

Aux Etats-Unis, la Haute-Fréquence connaît déjà dans ce domaine un très large développement. Nous avons eu l'occasion, il y a près de deux ans, de nous rendre à AKRON et de visiter les installations de sociétés telles que FIRESTONE, GOODYEAR et GOODRICH. On peut dire sans exagération que celles-ci ont été enthousiasmées pour les possibilités nouvelles offertes par la Haute-Fréquence. Elles disposent maintenant d'une puissance installée comprise entre 500 et 1.000 kW, soit en exploitation industrielle, soit en essais de caractère industriel.

Outre naturellement pour le préchauffage, elles utilisent couramment la Haute-Fréquence pour la vulcanisation en continu du caoutchouc spongieux et la production de matelas en spongieux.

L'utilisation de la Haute-Fréquence nécessitant de modifier la composition des mélanges et de mettre au point des moules spéciaux en matériaux diélectriques, ces Sociétés n'ont pas hésité à constituer de véritables laboratoires de recherches spécialisés comprenant plusieurs ingénieurs et agents techniques destinés uniquement à l'étude de ces problèmes.

Dans la plupart des cas, les constructeurs ont simplement fourni le matériel et donné leurs conseils au point de vue utilisation. On ne peut en effet concevoir que pour des problèmes aussi complexes, les constructeurs puissent parvenir eux-mêmes à mettre au point des réalisations industrielles.

En ce qui concerne la vulcanisation des pneus, on admet généralement que la solution ne pourra être trouvée que par l'utilisation d'ondes très courtes, les moules en métal étant alors utilisés comme cavités résonnantes. La solution du problème est pour le moment subordonnée à la production de ces ondes avec des puissances suffisantes.

Il reste à souhaiter que, en France, les caoutchoutiers aient suffisamment foi en l'utilisation de la Haute-Fréquence pour entreprendre des études comparables à celles effectuées aux Etats-Unis.

La réalisation de générateurs diélectriques de puissance élevée de l'ordre de 100 kW ne présente pas de difficultés particulières pour les constructeurs de matériel Haute-Fréquence français.

L'industrie du verre

L'application de la Haute-Fréquence à l'industrie du verre a fait en France l'objet de très importants travaux. Les applications pour lesquelles des solutions industrielles sont intervenues sont les suivantes :

1° Application à l'industrie des tubes électroniques pour la soudure étanche d'éléments de verre entre eux, dans le but de former les tubes dans lesquels des cathodes fragiles peuvent être détériorées par des résidus de combustion.

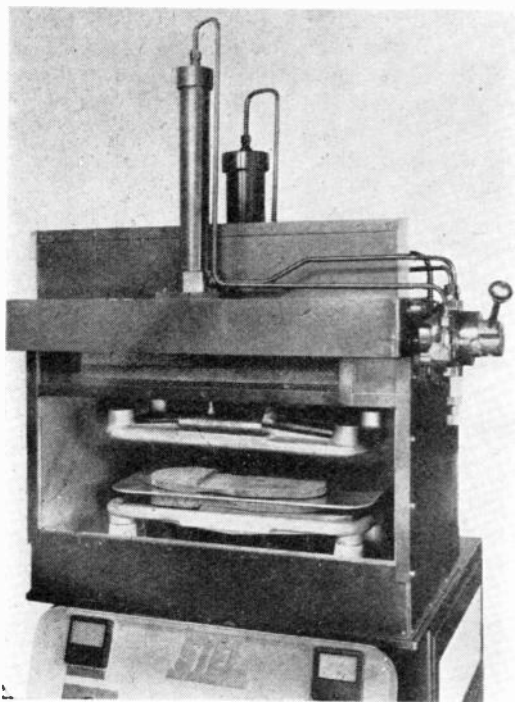


Fig. 13. — Générateur 2,5 kW avec presse automatique pour le préchauffage de semelles de bottes en caoutchouc.

total de 1.000 grammes, ce préchauffage permettant de doubler la production d'une batterie de deux presses (fig. 13), ainsi, la production d'un généra-

2^o Application à l'industrie de la gobeletterie et du verre creux en général : coupe à chaud des gobelets, soudage des jambes de verres à pied sur les

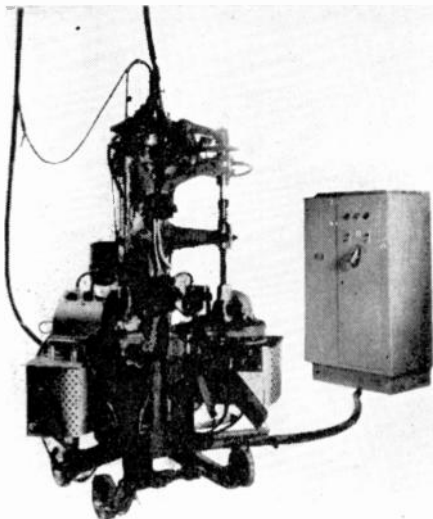


Fig. 14. — Machine à couper les gobelets par H. F. (Union Technique des Verreries). Cette machine permet de couper 8.500 gobelets en 24 h. La durée de coupe par gobelet est de 8 à 10 secondes.

coupes, découpage de tubes en bagues par chocs thermiques, rebrûlage des rebords de gobelets coupés à froid (fig. 11).



Fig. 15. — Générateur 200 W de fréquence 150 Mc/s.

Parmi les applications industrielles actuellement en cours d'études, nous pouvons signaler l'élaboration de verres spéciaux pour lesquels les considérations de qualité priment celles de prix de revient, des essais de soudure linéaire de 2 pièces de verre, des essais de ramollissement interne de disques de verre avant pressage.

Il serait souhaitable, pour ces applications, de disposer de générateurs de fréquence très élevées de l'ordre de 300 à 500 Mc/s. Les constructeurs se préoccupent actuellement de la réalisation de ceux-ci.

Signalons qu'il existe dès maintenant des générateurs d'une puissance de 200 W avec une fréquence de 150 Mc/s, qui conviennent pour une grande partie des applications précédentes (fig. 15).

Applications diverses

La rapide revue que nous venons de passer des applications du chauffage par pertes diélectriques laisse de côté un certain nombre de celles-ci, pour lesquelles les réalisations françaises tout au moins sont encore assez limitées.

Nous ne ferons que les énumérer :

Citons, pour l'industrie textile, la déshydratation de blocs de laine minérale, le séchage de bobines après teinture, l'encollage des fils et la fixation de torsion des fils de rayonne ; cette dernière application en particulier a pris une extension assez importante aux Etats-Unis.

Pour les industries alimentaires, notons des essais industriels dans les domaines suivants :

a) *Préchauffage de pains de chocolat* : des pains d'un poids de 30 kg ont été portés à la température de ramollissement au bout de quelques minutes.

b) *Cuisson des jambons* : des essais très complets ont été effectués ; nous ne pouvons en donner des résultats définitifs, indiquons simplement qu'un jambon est porté à une température de l'ordre de 70° en 3 minutes, à l'aide d'un générateur de 10 kW.

c) *Séchage de sucre au défilé*.

Parmi les autres applications en cours d'études, citons la désinsectisation des farines, la décongélation et la cuisson des aliments.

En résumé, l'on voit par ce bref exposé qu'en dehors du préchauffage des matières plastiques et du soudage des thermoplastiques, l'emploi en France de chauffage par pertes diélectriques dans l'industrie est encore limité.

Néanmoins, les industriels intéressés commencent à concevoir l'intérêt que présente pour eux ce moyen nouveau. Ceux d'entre eux déjà équipés ont acquis une avance certaine sur leurs concurrents. Les résultats obtenus les ont satisfaits, et, d'une façon générale, ils poursuivent activement les études entreprises.

Les années qui vont venir verront certainement cet intérêt croître rapidement. Les problèmes à résoudre sont d'ailleurs beaucoup plus des problèmes d'utilisation que de construction des générateurs. Les constructeurs français sont certainement à même de fournir les appareils qui conviennent, mais ils ne sauraient résoudre seuls les problèmes d'application dans des industries aussi diverses, aux techniques si complexes et si différentes.

(A suivre)

*Un outil indispensable
à tout laboratoire moderne.*

L'ALIMENTATION STABILISÉE TYPE 111 B

- fournit une tension continue réglée à réglage progressif entre 100 et 400 volts.
- débit maximum : 200 milliampères.
- chauffage des filaments entre 1 v. et 25 v.
- possibilité de brancher en série plusieurs boîtes.
- stabilité à 400 volts = 0,07 % pour une variation de 10 % du secteur.

ACTA

Notice technique et prix
sur simple demande.



RIBET & DESJARDINS
13, RUE PÉRIER, MONTROUGE (SEINE) ALE. 24-40



*Département Industriel S.I.F.
de la Compagnie Générale de T.S.F.
168, Boul. Gabriel-Péri, Malakoff (Seine)*

RÉCEPTEUR STABILIDYNE

GAMME: 2-30 Mc/s

Seul appareil
permettant
l'affichage de
la fréquence,
l'écoute en
veille calée
avec variation
continue de
la fréquence
stabilisée par
un seul quartz

Indicateur des harmoniques

Compteur des centaines kc/s

Compteur des unités kc/s

Indicateur d'accord

Réglage d'accord

Commutateur de sous-gammes



Ag. PUBLÉDITEC-DOMENACH

Régisseur exclusif de la Publicité de l'Onde Electrique : Agence-Publéditec-Domenach, 21, Rue des Jeuneurs, PARIS-2^e, Tél. CENTral 97-63



TUBES POUR APPLICATIONS SPÉCIALES

Ondes courtes - Amplificateurs de lignes
Préamplis - Mesures - Télécommande



S. A. LA RADIOTECHNIQUE
Fournisseur des Administrations et des Services Publics
LABORATOIRES ET USINES :
51, RUE CARNOT — SURESNES



TOUS LES TUBES DE RÉCEPTION

9, AVENUE MATIGNON, PARIS-8^e

ÉMETTEURS et RÉCEPTEURS
TELEVISION
A HAUTE DÉFINITION
819
LIGNES



LA RADIO-INDUSTRIE S.A.
55 à 59, R. DES ORTEAUX, PARIS XX^e
TÉLÉPHONE : ROquette 26-71 et 91-00

RADIO AIR
FOURNISSEUR DES DÉPARTEMENTS
MINISTÉRIELS

FICHES
BOUTONS
CONDENSATEURS
•
MATÉRIEL
PROFESSIONNEL

APPLICATIONS INDUSTRIELLES RADIOÉLECTRIQUES
S.A. CAPITAL 5.000.000 Frs
2, Avenue de la MARNE-ASNIÈRES (Seine) Tél: GRÉ. 12-06
Usines à NEUILLY-⁹-Seine et BRIONNE (Eure)

UBL. R. APY

VEDOVELLI

La grande marque française de renommée mondiale



TRANSFORMATEURS D'ALIMENTATION
SELS INDUCTANCE
TRANSFOS B. F.

Tous modèles pour
 RADIO - RÉCEPTEURS
 AMPLIFICATEURS
 TÉLÉVISION

Matériel pour applications professionnelles
 Transfos pour tubes fluorescents
 Transfos H. T. et B. T. pour toutes applications industrielles jusqu'à 200 KVA

Documentation sur demande

ETS VEDOVELLI, ROUSSEAU & C^{IE}
 5, Rue JEAN-MACÉ, Suresnes (SEINE) • LON.14-47,48 & 50

2 MICROPHONES de grande classe



DEPUIS 25 ANNÉES
la Radiodiffusion Française
 LES UTILISE

TYPES
 42-B A RUBAN
 75-A DYNAMIQUE

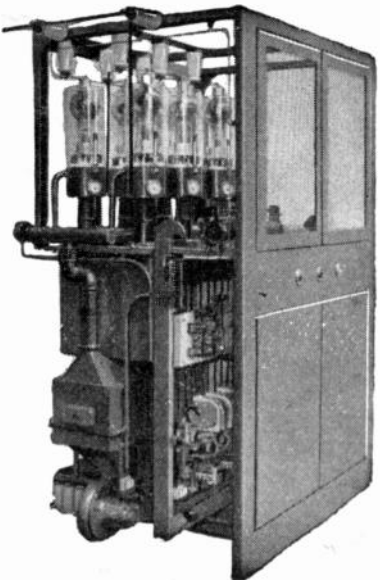
MELODIUM

296, RUE LECOURBE - PARIS-15^e - LEC. (50-80 3-1.)

S. F. M. E.

Société Française de Matériel Electrique

62. Rue Denis-Papin, PANTIN (Seine) - Téléphone : NORD 47-62



Redresseur — 15.000 volts — 5 ampères

- Redresseurs. Bobines de Self-Inductance pour filtrage de courants redressés.
- Transformateurs spéciaux.
- Réglage de la Tension.
- Tableaux et pupitres de commande.

Nombreuses Références dans les Stations d'Emission

PANTIN

TÉLÉVISION

ÉMISSION — RÉCEPTION

MESURES HF



VOLTMÈTRE ÉLECTRONIQUE
 VE 15
 Notice 7519

THERMOCOUPLES DANS LE VIDE
 Notice 7501

OSCILLOGRAPHE HF
 OCP 41
 Notice 7515

COMPTEURS MONTROUGE

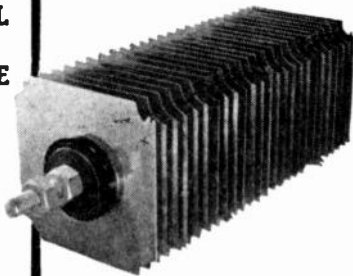
IL EXISTE *un* REDRESSEUR

*pour chaque
cas particulier*

Dans chaque cas
nous vous proposons
le meilleur redresseur
soit à l'Oxyde de Cuivre

OXYMETAL
soit au Sélénium
WESTALITE

Les milliers
de redresseurs
actuellement
en service
sont notre meilleure
référence.



DEMANDEZ NOTRE DOCUMENTATION
N° 124

COMPAGNIE DES FREINS ET SIGNAUX
WESTINGHOUSE

16, RUE DE LA VILLE-L'ÉVÊQUE - PARIS 8^e
TÉL. : ANJOU 17-51 & 38-91

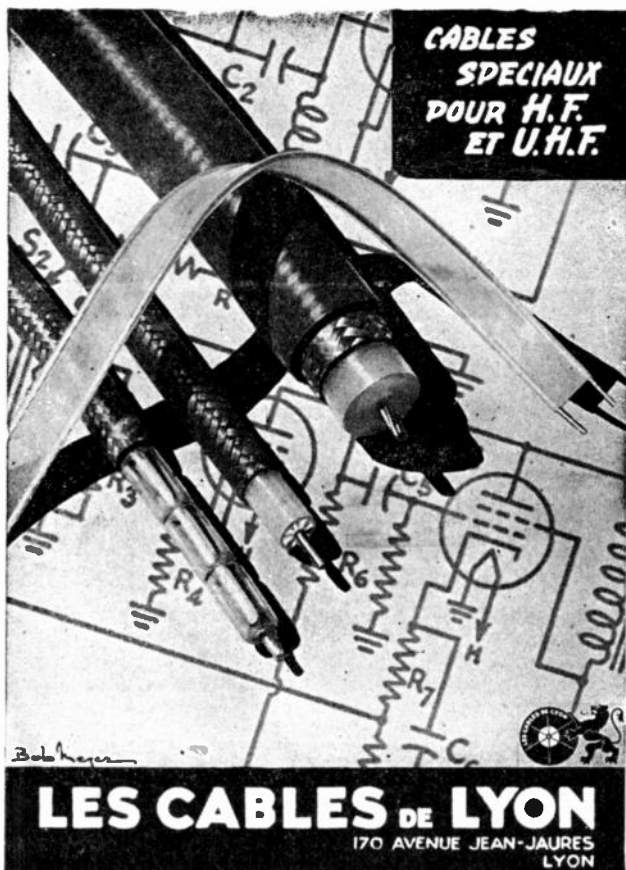
Transformateurs spéciaux JUSQU'À 30 KVA

F

S. A. F. A. R. E.
"FERRIX"
98, Av. Saint-Lambert
Téléphone : 849-29 NICE
Agence de Paris :
172, Rue Legendre - XVII^e
Téléphone : Mar. 99-21

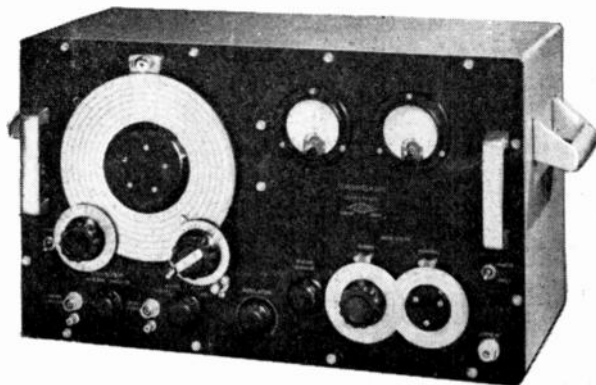
★

AUTRES FABRICATIONS:
Transfos de : sonneries,
sécurité, néon, mazout.
Survolteurs - dévolteurs,
Sonneries,
Autotransfos réversibles,
etc...



**CABLES
SPECIAUX
POUR H.F.
ET U.H.F.**

LES CABLES DE LYON
170 AVENUE JEAN-JAURES
LYON



★ GÉNÉRATEUR ONDES COURTES

de 5 à 410 mégacycles
Atténuateur à piston de 0,01 à 100.000
microvolts

Générateur intérieur pour modulation
d'amplitude 400 et 1000 C. S. à 30 %
Modulation d'impulsion par générateur extérieur

★ AUTRES FABRICATIONS

Mégohmmètre type R. M. 101 de 0,1 à 1.000.000
de mégohms

Générateur d'impulsion P. 101

GEFFROY & CIE CONSTRUCTEURS
9, Rue des CLOYS - PARIS - MON. 44.65. (3 LIGNES)

DU PLUS *petit* AU PLUS *grand...*

★ TROPICALISATION
★ STABILITÉ

de 0,5 pF
à 10.000 pF

© **RÉCEPTION** type "PRÉCISION" à haute surtension et coefficient de température précis. Type "SUBMINIATURE" pour le découplage professionnel de la télévision.
© **ÉMISSION** modèles "ASSIETTE" et "POT". Le plus faible encombrement au Kvar

CONDENSATEURS CÉRAMIQUE

LCC

LE CONDENSATEUR
CÉRAMIQUE

SERVICE COMMERCIAL : 79, BOULEVARD HAUSSMANN - PARIS-8^e - TÉL. ANJOU 84-60

CERAMIC CAPACITORS FOR RADIO RECEIVERS AND TRANSMITTERS



Installations de Studios
DE
RADIODIFFUSION
TÉLÉPHONIE
à longue distance
Répéteurs
Courants porteurs
**APPAREILS
DE MESURES**

SOCIÉTÉ ALSACIENNE DE CONSTRUCTIONS MÉCANIQUES

DÉPARTEMENT CABLES ÉLECTRIQUES ET TÉLÉCOMMUNICATIONS
69, RUE DE MONCEAU, PARIS-8^e - TÉL. : LABORDE 60-50

Giorgi

Éditeur exclusif de la Publicité de l'Onde Electrique : Agence-Publéditec-Domenach, 21, Rue des Jeuneurs, PARIS-2^e, Tél. CENTral 97-63

CONDENSATEURS H. F. AU POLYSTYROL

SOUS POLYÉTHYLÈNE
INJECTÉ

SOUS TUBE MÉTALLIQUE
ÉTANCHE



DIRECTION SERVICES COMMERCIAUX
89 RUE DE LA FAISANDERIE — PARIS (16^e)

SERVICES D'INSTALLATION LABORATOIRES
TÉLÉPHONE : TROCADÉRO 45-50 et 12-71

AG PUBLÉDITEC-DOMENACH

RADIOFOTOS

FABRICATION
GRAMMONT



TUBES
"MINIATURE"
Type International
LICENCE R.C.A.

SÉRIE COURANT ALTERNATIF	SÉRIE TOUS COURANTS	SÉRIE PROFESSIONNELLE	
6 BE 6	12 BE 6	0 A 2	6 AU 6
6 BA 6	12 BA 6	2 D 21	6 J 4
6 AT 6	12 AT 6	6 AG 5	6 J 6
6 AQ 5	50 B 5	6 AK 5	12 AU 6
6 X 4	35 W 4	6 AK 6	9001
		6 AL 5	9003

S^{TE} DES LAMPES FOTOS

11, Rue Raspail-MALAKOFF (Seine)
Tél: ALÉ. 50-00 • Usines à LYON

PUBL RAPHY

DÉTECTEUR DE DÉFAUTS ...

SUR LES LIGNES

CSF

APPLICATION DE LA TECHNIQUE DES RADARS AU CONTRÔLE DES LIGNES



★ **D.M.I.** Appareil de mesure des impédances caractéristiques des câbles coaxiaux.

Portée 500 mètres
Précision en distance ± 3 mètres
Précision de la mesure d'impédance. . $\pm 0,1 \%$

★ **D.V.B.** Détecteur de défauts pour câbles coaxiaux.

★ **D.L.A.** Détecteur de défauts pour lignes aériennes de transport d'énergie

★ **D.L.S.** Détecteur de défauts pour lignes souterraines de transport d'énergie

★ NOTICE SUR DEMANDE



Portée 500 mètres
Précision en distance ± 5 mètres
Minimum de défaut détectable $\pm 1 \%$ de variation d'impédance caractéristique

Portée 500 kilomètres
Précision en distance ± 100 mètres
 quelle que soit la distance.
Minimum de défaut détectable $\pm 10 \%$ de variation d'impédance caractéristique.

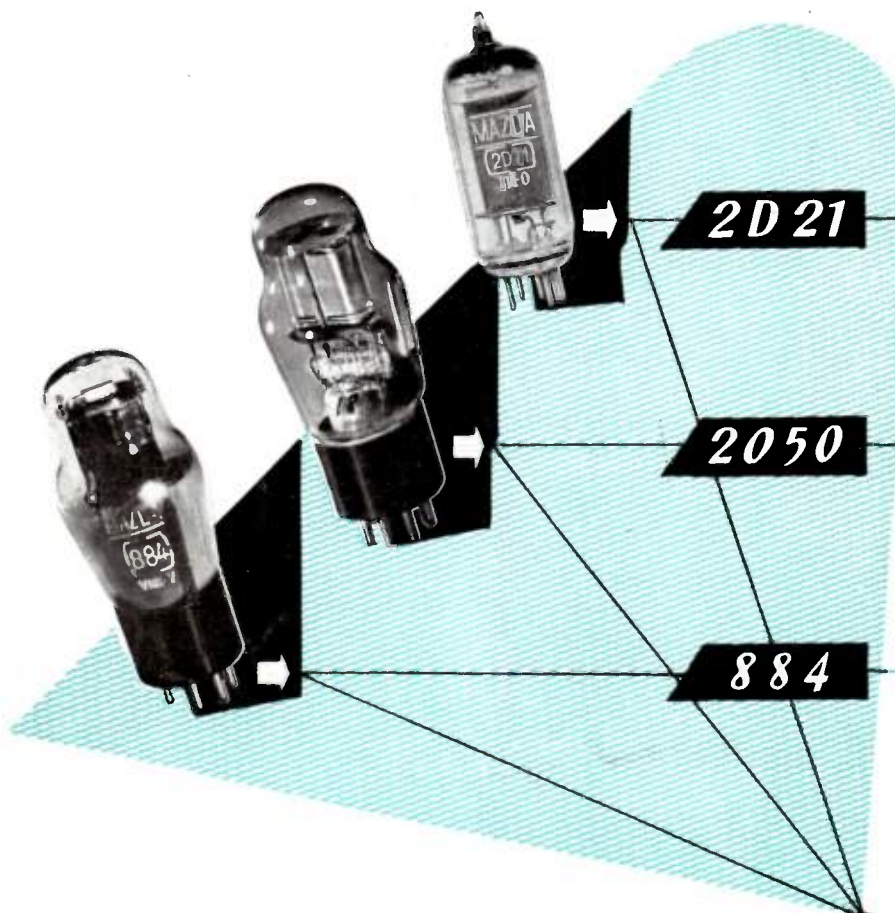
Portée 10 kilomètres
Précision en distance ± 10 mètres
 quelle que soit la distance.
Minimum de défaut détectable $\pm 10 \%$ de variation d'impédance caractéristique.

C^{IE} G^{LE} DE TELEGRAPHIE SANS FIL
CENTRE DE RECHERCHES TECHNIQUES

23, RUE DU MAROC - PARIS-19^e - TÉL. BOT. 17-06, 66-50, 66-51

AG. PUBLIDITEC DOMENACH

APPLICATIONS DE L'ELECTRONIQUE A L'INDUSTRIE



2D 21

Tubes Tétrodes à gaz rare à chauffage indirect :

- Relais Electroniques
- Redresseurs à tension progressive
- Tension stabilisée

2050

884

Tube Triode à gaz rare à chauffage indirect pour oscillateurs à relaxation :

- Base de temps pour oscillographes et télévision.

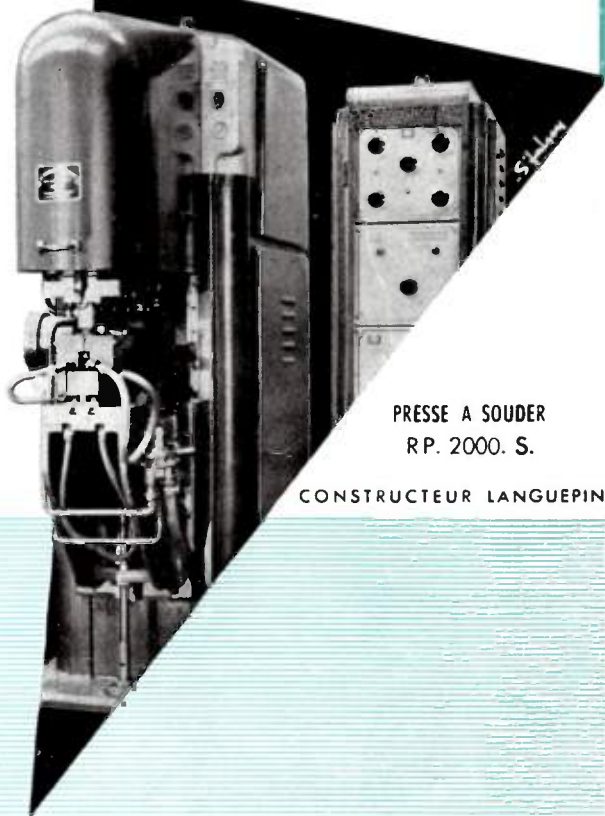
Les thyratrons **MAZDA**

COMPAGNIE DES LAMPES
29, RUE DE LISBONNE - PARIS-8°

Demander la documentation R 44

CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES

	2.050	2 D. 21	884
Tension filament	6 V, 3	6 V, 3	6 V, 3
Intensité filament	0 a, 6	0 a, 6	0 a, 6
Tension de pointe d'anode	650 V.	650 V	300 V.
Courant de pointe de cathode.	1 a.	0 a, 5	0 a, 3
Chute de tension interne	8 V.	8 V.	—
Culot	Octal	Miniot 7 broch.	Octal
Hauteur maximum	105 ¹¹ / ₃₂	54 ¹¹ / ₃₂	105 ¹¹ / ₃₂
Diamètre maximum	38 ¹¹ / ₃₂	19 ¹¹ / ₃₂	38 ¹¹ / ₃₂



PRESSE A SOUDER
RP. 2000. S.

CONSTRUCTEUR LANGUEPIN