

SPECTROMÉTRIE

ultra-rapide

à réseaux tournants

par **A. DUCROS, M. OLIVIÉ**

et **R. ZAHARIA**

Ingénieur E. F. R. E. Ingénieur E. S. O.
Laboratoire Vignal, École Polytechnique

Ingénieur E. S. O. licencié ès sciences,
Société UMAS

(Suite et fin : voir "Électronique Industrielle" no 134)

LA SYNCHRONISATION

Principe

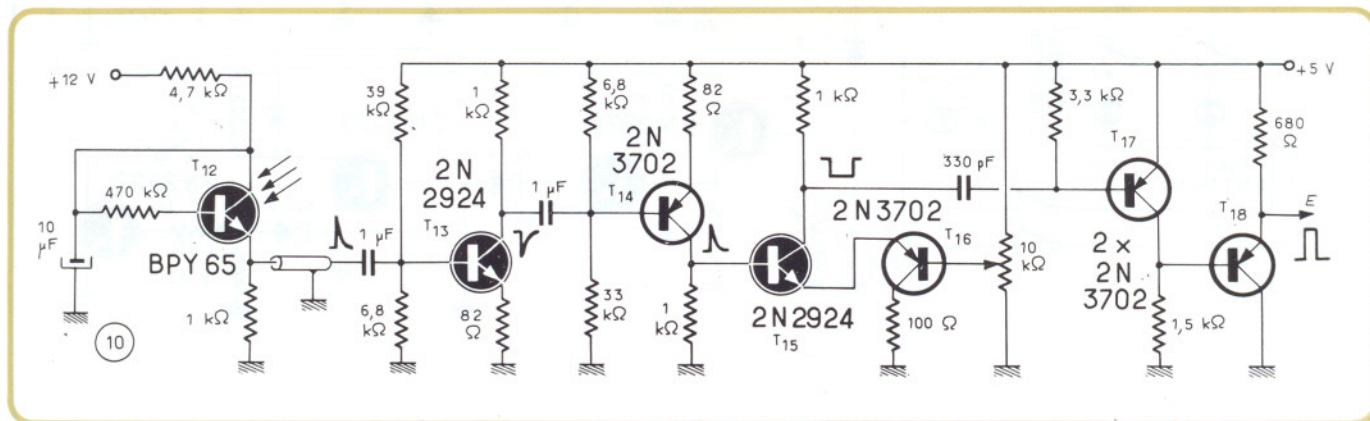
Comme nous l'avons vu, le spectromètre utilise quatre réseaux tournants pour obtenir le défilement des spectres; la partie supérieure des réseaux est argentée et sert à la synchronisation des divers étages. Une source envoie un pinceau lumineux sur

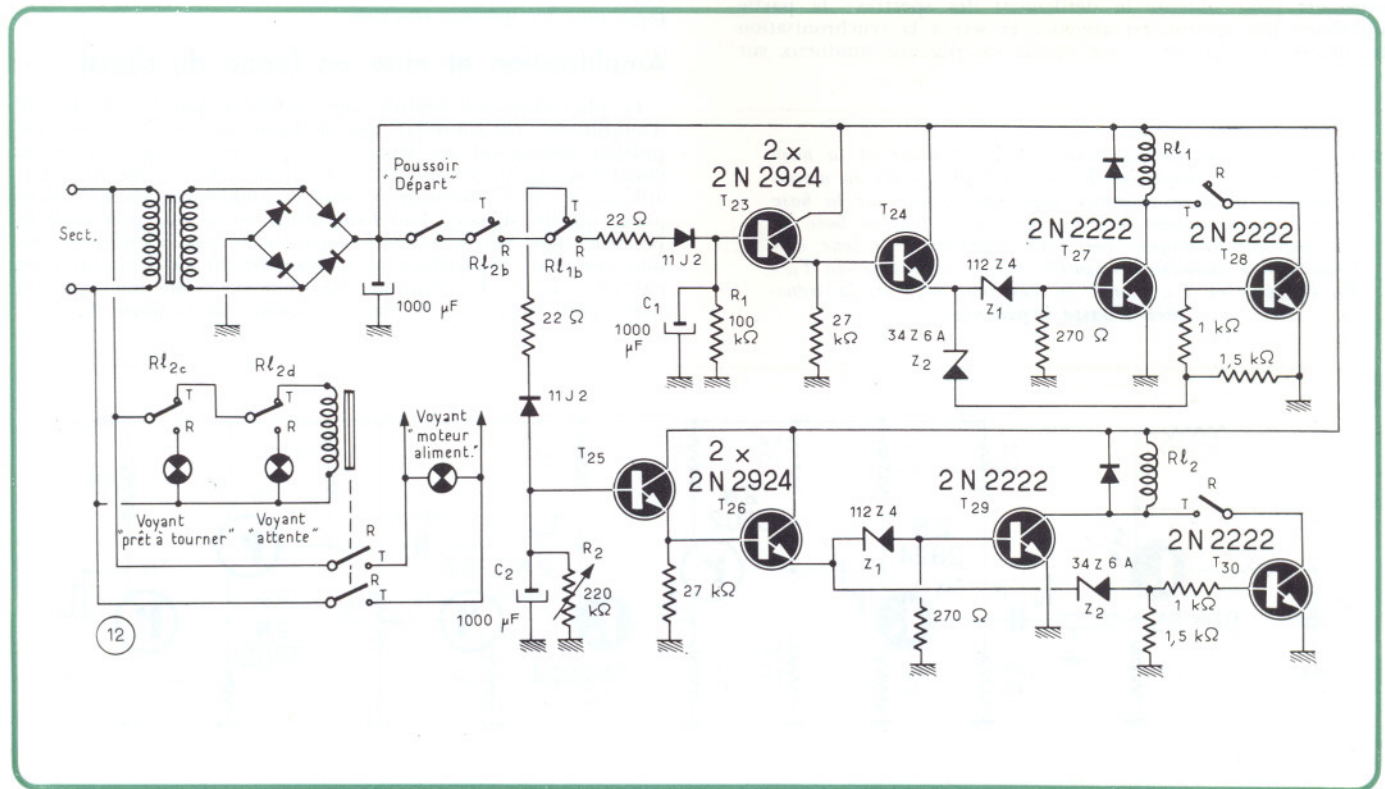
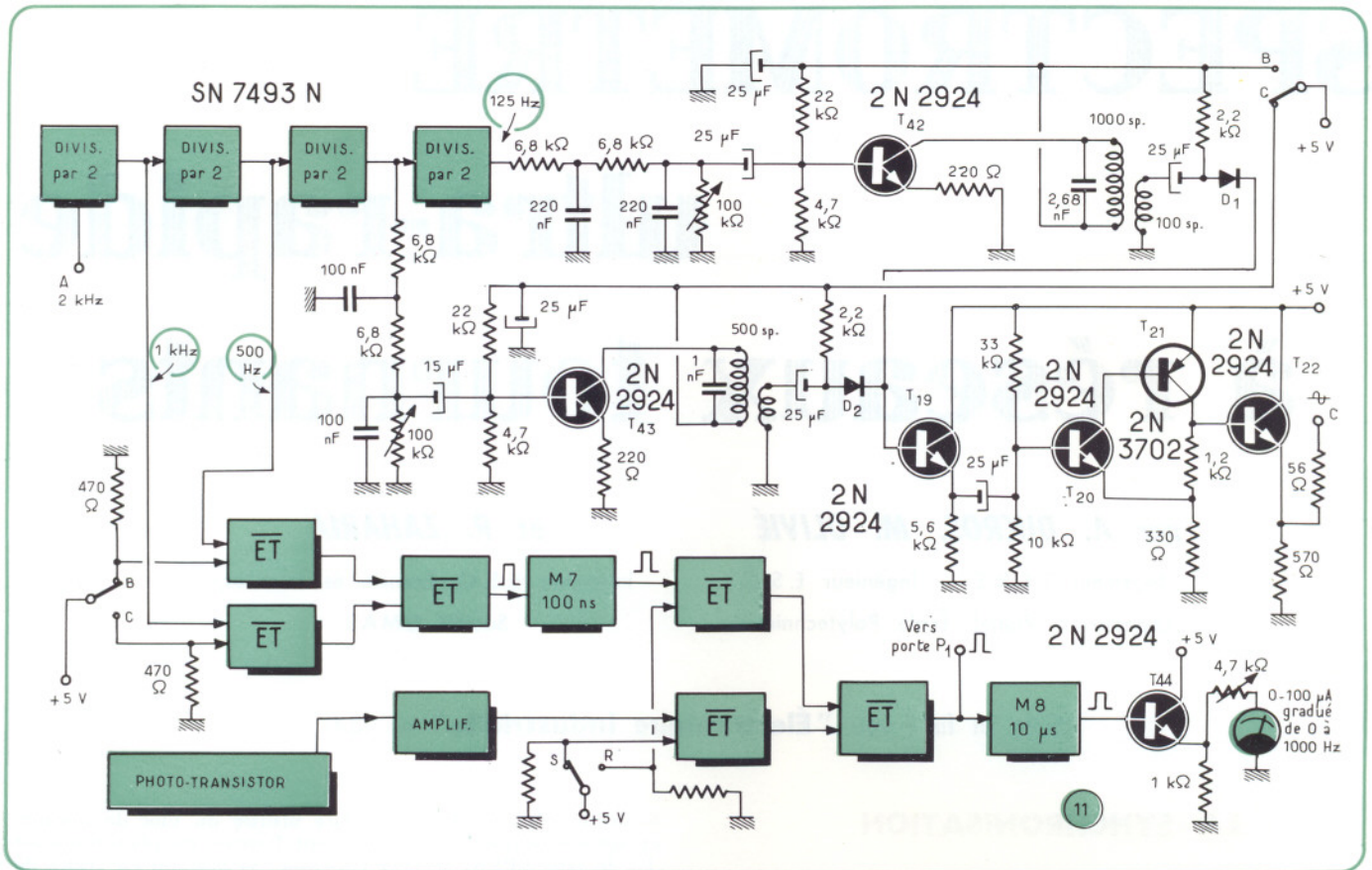
le miroir correspondant à la face utilisée du bloc de réseaux, et après réflexion, ce pinceau vient frapper un phototransistor T_{12} du type BPY 65 de chez Fairchild; sa position est réglée de telle manière qu'il fournit son signal à l'apparition du spectre sur le photomultiplicateur en sortie du spectromètre; c'est cette impulsion qui, après traitement, servira de référence de départ pour tous les spectres observés.

Amplification et mise en forme du signal

Le phototransistor fournit une impulsion positive de 40 mV d'amplitude; on considère que le front montant de cette impulsion correspond au départ des spectres; l'amplificateur est donc conçu pour conserver ce front (T_{13} et T_{14} , fig. 10). Par ailleurs, T_{15} et T_{16} forment un seuil en amplitude; ils ne laissent passer que les signaux dont l'amplitude est, à $2 V_{be}$ près, égale au potentiel fixé par le potentiomètre de 10 k Ω , éliminant ainsi tout risque de déclenchement intempestif dû au bruit ou à un parasite; T_{17} et T_{18} assurent une mise en forme sommaire du signal ainsi filtré, qui va pouvoir commander la porte P_1 .

Fig. 10. — Le phototransistor, l'amplification et la mise en forme. Les transistors T_{13} et T_{14} sont montés en amplificateurs; seuls les signaux dont l'amplitude sur la base de T_{15} est supérieure à $2 V_{be}$ près à la tension base de T_{16} , peuvent débloquer ces deux transistors. Il leur correspond une impulsion négative sur le collecteur de T_{15} ; T_{17} l'inverse et T_{18} , monté en émetteur suiveur, la transmet à basse impédance.



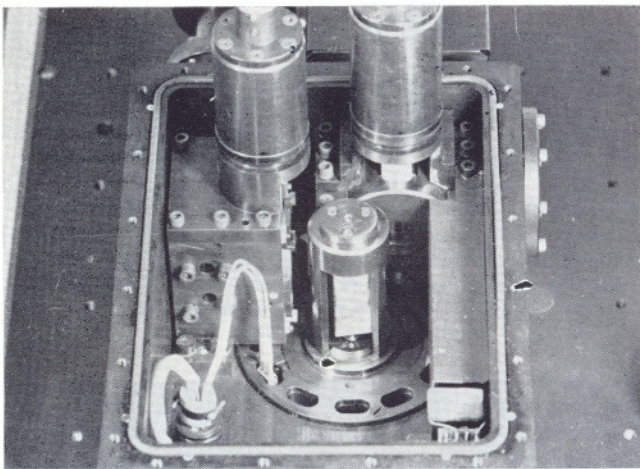


COMMANDE DU MOTEUR ET SIMULATION DE LA ROTATION

Fig. 11. — Commande du moteur et simulation de rotation. Les signaux rectangulaires à 125 et 250 Hz fournis par le diviseur SN 7493-N sont filtrés sommairement par deux circuits RC avant de passer par un amplificateur accordé (T_{42}). On obtient, en sortie, des sinusoïdes pures à 125 et 250 Hz ; suivant les potentiels appliqués en B et C, les diodes D_1 et D_2 laissent passer l'une ou l'autre des sinusoïdes. Après amplification, elles commandent en C l'amplificateur B.F. de puissance du moteur. Toujours suivant les potentiels appliqués en B et C, un système de portes permet de sélectionner un signal à 500 ou 1 000 Hz ; ce signal est mis en forme par M_7 ; suivant le potentiel appliqué en R et S, on obtient en F soit le signal de phototransistor, soit le signal de M_7 .

Fig. 12. — La temporisation moteur. Lorsque la tension aux bornes de C_1 atteint la tension de Zener de Z_1 , le relais R_1 « colle » ; il ne « décolle » que lorsque la tension aux bornes de C_1 devient inférieure à la tension de Zener de Z_2 . Le temps de décharge de C_1 est réglé à l'aide de R_1 sur 2 mn ; de même pour C_2 , sur 3 mn. Il faut que R_1 et R_2 soient collés pour que le moteur tourne, d'où le fonctionnement : une pression sur le bouton « départ » fait coller R_1 et R_2 , le moteur tourne donc 2 mn ; il n'est pas possible de le faire redémarrer qu'une minute après arrêt, lorsque R_2 aura décollé à son tour.

Vue du spectromètre ouvert ; au centre se trouve le bloc de quatre réseaux.



Le moteur (globe 800 Hz) entraînant les réseaux demande, pour tourner, une attaque en tension alternative ; le signal alternatif est obtenu par filtrage de signaux rectangulaires à 125 et 250 Hz pris sur la chaîne de division de la fréquence d'horloge. Suivant les potentiels appliqués en B et C, les diodes D_1 et D_2 laissent passer le signal choisi qui, après préamplification par T_{10} , T_{20} , T_{21} et T_{22} , est dirigé sur un amplificateur basse tension du commerce fournissant les 80 W nécessaires au moteur (fig. 11).

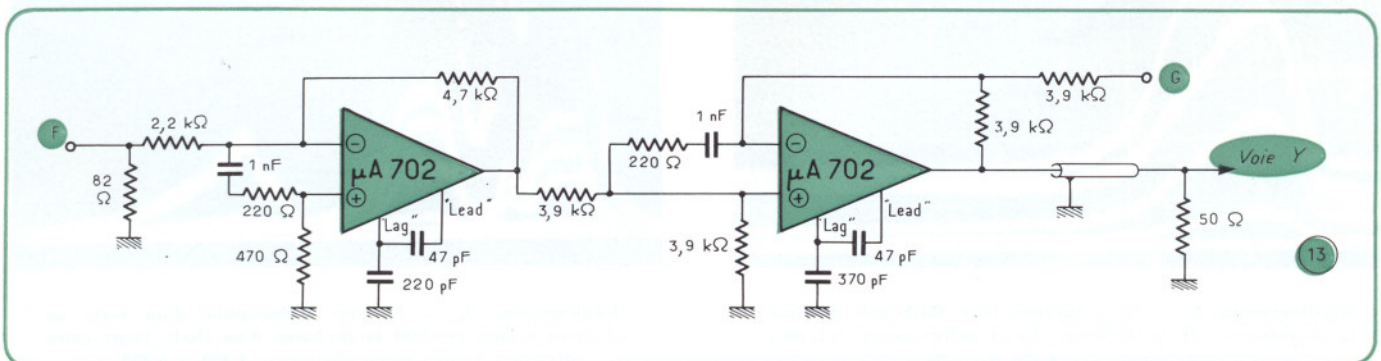
Parallèlement, en l'absence de rotation, il faut obtenir pour les réglages en simulation des signaux identiques à ceux fournis par le phototransistor ; ces fréquences sont quatre fois plus élevées que les fréquences de rotation, donc égales à 1 kHz et 500 Hz ; elles sont prises, elles aussi, sur la chaîne de division de la fréquence d'horloge. Suivant le potentiel appliqué en R et S, on obtient en F, donc sur la porte P_1 du décodage des spectres, soit le signal de phototransistor, soit le signal de simulation. Un fréquence-mètre placé en ce point (monostable M_6 , plus intégrateur) permet de contrôler la rotation du moteur en la comparant à la fréquence de simulation.

La figure 12 donne le circuit de temporisation du moteur. Au départ, les relais R_1 et R_2 sont au repos ; la pression sur le bouton poussoir « départ » provoque la charge du condensateur C_1 ; quand la tension à ses bornes atteint 12 V (tension Zener de Z_1), R_1 « colle » et C_2 se charge jusqu'à ce que R_2 « colle » à son tour. Le moteur est alors alimenté et commence à tourner ; C_1 et C_2 se déchargent alors dans les résistances ajustables R_1 et R_2 . Lorsque la tension aux bornes de C_1 atteint la tension de Zener Z_2 (au bout de deux minutes) R_1 « décolle » et le moteur s'arrête ; mais comme R_2 est toujours en position travail, il est impossible de le faire repartir. Enfin, une minute après l'arrêt du moteur, R_2 « décolle » à son tour, et l'ensemble est prêt pour un nouveau cycle.

LES AMPLIFICATEURS DU P. M.

La bande passante des amplificateurs du photomultiplicateur, noté P.M. (fig. 13), est limitée à 3 MHz afin de réduire au maximum l'influence du bruit sur les spectres observés. L'amplificateur et le mélangeur utilisent des circuits intégrés, type $\mu A 702$, l'amplificateur a un gain de 2 et le mélangeur un gain de 1 sur les deux entrées. Pour la voie PM_2 , l'entrée G est reliée à la masse ; pour la voie PM_1 , elle est reliée au générateur d'escalier. Le signal obtenu en Y_1 et Y_2 sur 50 Ω est acheminé par coaxial 50 Ω aux entrées correspondantes de l'oscilloscope à mémoire, type 549 de chez Tektronix.

Fig. 13. — L'amplificateur et le mélangeur du P.M. Le premier étage $\mu A 702$ amplifie et inverse le signal issu du P.M. ; son gain est de 2, sa bande passante de 3 MHz. Le deuxième étage superpose les signaux du P.M., amplifiés à l'escalier de tension appliqué en G.



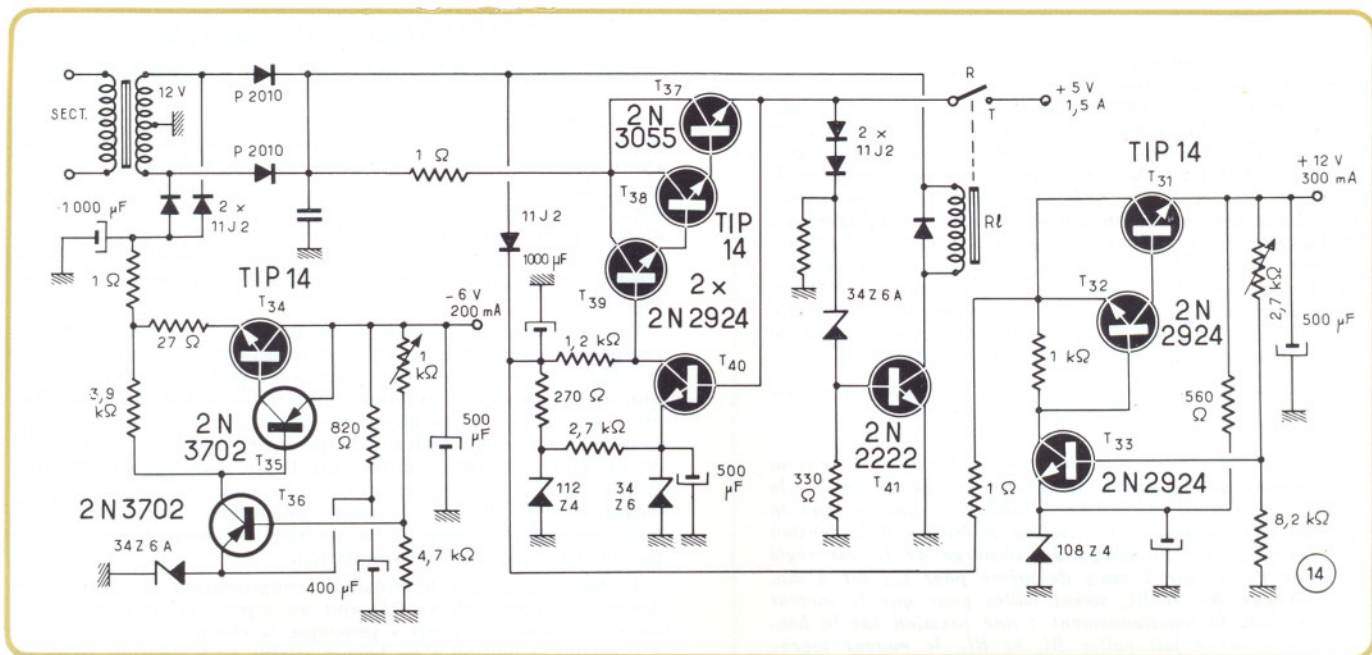
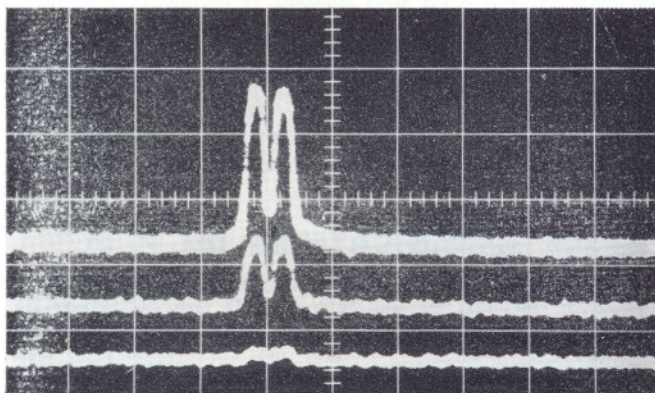
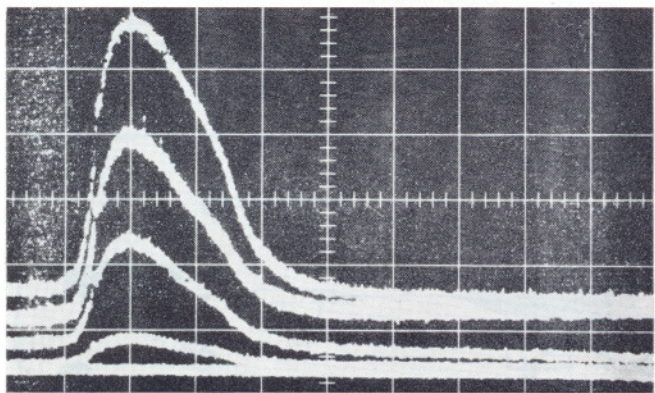


Fig. 14. — Schéma général des alimentations.



Oscillogramme 1. — Doublet jaune du mercure. Les trois spectres sont espacés de 2 ms; chacun a duré 20 μ s. Plage observée : 5 570 à 6 080 \AA .



Oscillogramme 2. — Cinq spectres d'un flash pris pendant la décroissance de la décharge. Ecart entre spectre : 1 ms; plage observée : 4 400 à 8 000 \AA .

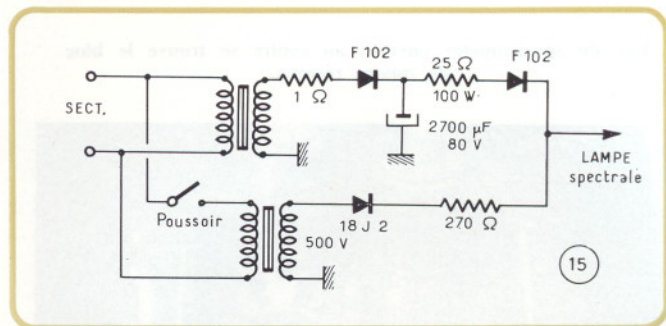
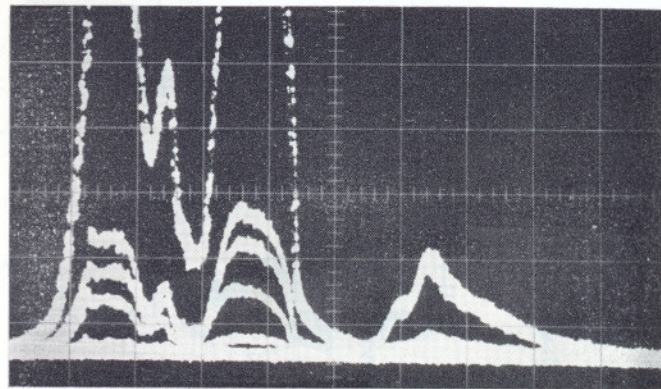


Fig. 15. — Alimentation de la lampe spectrale. Elle fournit une tension continue de 20 V sous 1 A. Le transformateur de 500 V permet d'amorcer la lampe; il n'est utilisé qu'à l'allumage.



Oscillogramme 3. — Spectres d'absorption d'un verre au néodyme éclairé pendant la décharge d'un flash. Ecart entre spectres : 1 ms; plage observée : 4 400 à 6 900 \AA .

LES ALIMENTATIONS

L'ensemble nécessite une alimentation 5 V et 1,5 A pour la partie numérique, une alimentation 12 V et 300 mA, —6 V et 200 mA pour les amplificateurs P.M., et une alimentation 20 V et 1 A pour la lampe spectrale. Les trois alimentations 5 V, 12 V et —6 V sont classiques; une sécurité coupe le 5 V si la tension dépasse 6 V (fig. 14).

La lampe spectrale ne pouvait pas être alimentée directement par le transformateur prévu à cet effet, car, alimentée en alternatif, elle émet une lumière qui varie entre un maximum et zéro deux fois dans une période de secteur; la durée d'enregistrement des spectres étant très inférieure à cette période, deux spectres successifs auraient obligatoirement des amplitudes différentes; c'est ce que nous voyons sur l'oscillogramme n° 1 où trois spectres ont été pris à des intervalles de temps de 2 ms; il s'agit du doublet jaune du mercure à 6 770 et 6 790 Å.

Pour être alimentée en continu, la lampe demande une tension de 20 V sous 1 A, mais pour être amorcée, elle nécessite l'application pendant un court instant d'une tension de 700 V environ. Un transformateur de 34 V eff, une diode et un condensateur de 2 700 µF fournissent, à travers une résistance de 25 Ω et 100 W, la tension désirée, et un transformateur de 500 V eff

fournit la tension de déclenchement. Une diode F 102 évite un retour de haute tension sur l'alimentation basse tension (fig. 15).

RÉSULTATS

L'oscillogramme n° 1 nous permet de voir la résolution du spectromètre; les deux raies sont distantes de 20 Å, le balayage horizontal est effectué à 2 µs/cm, la vitesse est de 1 000 spectres par seconde, l'échantillonnage est de 1. On a pris les spectres n°s 1, 3 et 5. La plage observée s'étend de 5 570 à 6 080 Å.

Sur l'oscillogramme n° 2, on voit quatre spectres enregistrés pendant la décroissance d'un flash; l'écart entre spectres est de 1 ms, la plage spectrale s'étend de 4 400 à 8 000 Å.

Enfin, sur l'oscillogramme n° 3, on a un spectre d'absorption d'un verre au néodyme obtenu en utilisant le flash précédent comme source excitatrice. La plage spectrale s'étend de 4 400 à 6 900 Å.

A. DUCROS, M. OLIVIÉ et R. ZAMARIA.

Cette étude du Laboratoire Vignal de l'Ecole Polytechnique a été menée sous contrat de la division « Optique » de la D.R.M.E.

A propos de...

LA FUSION THERMONUCLÉAIRE CONTROLÉE, SOURCE D'ÉNERGIE POSSIBLE POUR L'AVENIR

par M. TROCHERIS (E.D.F.)

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DES ÉLECTRICIENS
REUNION DU 16 AVRIL 1970

La « fusion » de deux atomes de deutérium donne un atome d'hélium avec une libération d'énergie de 3 MeV; celle d'un atome de deutérium avec un atome de tritium, libère environ 18 MeV. La plus grande partie de cette énergie est emportée par les neutrons sous forme cinétique. C'est elle qui est si heureusement (?) utilisée dans la « bombe H » thermonucléaire, après « amorçage » de la réaction par une « allumette » à l'uranium ou au plutonium. Il s'agit de la « domestiquer » sous forme électrique, évidemment. L'opération s'avère extrêmement difficile.

Il faut d'abord provoquer la réaction, par une élévation de température de l'ordre de 40 à 300 millions de degrés C. A cette température, il n'y a plus de solides, de liquides ou de gaz: il n'y a plus que du « plasma » d'ions positifs et de neutrons, qu'on ne peut naturellement « enfermer » nulle part, mais seulement « confiner » dans d'étroites régions d'un tube, par l'action d'un champ magnétique, pendant un temps très court; le calcul montre que le produit $n \cdot \tau$ du nombre de particules n par centimètre cube, et du temps de confinement τ en secondes doit atteindre 10^{14} à 10^{16} . En principe, il doit être possible d'y arriver, par action simultanée de champs électriques et magnétiques très puissants, et de nombreuses équipes d'expérimentateurs dans de nombreux pays (France, Angleterre, Allemagne, U.S.A., U.R.S.S.) ont réalisé des dispositifs très variés de solénoïdes, tores, anneaux, miroirs (magnétiques), « puits », multipôles, cuvettes, dont le conférencier décrit plusieurs modèles.

La difficulté est que le plasma ainsi traité ne reste pas « tranquille » et manifeste toutes

sortes d'instabilités et d'anisotropies (« tire-bouchons », « chapelets de saucisses », etc.), voire de « micro-instabilités », d'oscillations aléatoires, de fluctuations parasites, etc.

On est arrivé actuellement à des valeurs du produit $n \cdot \tau$ de l'ordre de 10^{12} . La théorie est bien éclaircie, et il ne semble pas impossible de gagner une puissance de 10 en augmentant les dimensions et la puissance des appareils, d'ici une dizaine d'années. Mais les problèmes de réalisation industrielle de récupération de l'énergie ne pourront être résolus qu'avec des moyens technologiques et financiers considérables; on considère en U.R.S.S. que cela serait possible vers l'an 2000, si les besoins en énergie et les « retombées » le justifient.

LES ACCÉLÉRATEURS LINÉAIRES D'IONS

S.F.E.R.
DEMI-JOURNÉE D'ÉTUDE
(29 AVRIL 1970)

Quelles différences y a-t-il entre un accélérateur à électrons et un accélérateur à ions ?

M. Lapostolle (C.E.R.N.) commence par l'expliquer: les électrons, en raison de leur très faible masse, arrivent facilement à des vitesses voisines de celles de la lumière; on peut donc les « tirer » avec un champ accélérateur à cette vitesse, en appliquant la mécanique relativiste.

Au contraire, les protons, et les ions très lourds comme ceux de l'argon ou du krypton, n'atteignent jamais qu'une faible fraction (quelques pour cent, au maximum 40 %) de cette vitesse; ils demeurent donc dans le domaine de la mécanique « classique », et on ne peut les accélérer que par paliers, dans des « tubes de glissement » successifs; plus ils sont lourds, plus la longueur nécessaire augmente; et si l'on veut changer cette vitesse, ou le type d'ions, il faut changer la géométrie de l'appareil. De plus, naturellement, au cours de leur trajet, les ions tendent à diverger, de sorte qu'il faut ajouter une focalisation par champ magnétique.

Le problème a suscité une « étonnante floraison » (comme dit le président, M. Lévy-Mandel, C.E.N.) de solutions ingénieuses et variées, que les conférenciers successifs passent en revue.

M. Leboutet (Thomson-C.S.F.) décrit les dispositions possibles de tubes de glissement, plus ou moins inspirées des « tubes à ondes progressives »: bifilaires, coaxiaux, hélices; il discute leurs possibilités et matérialise par un graphique leurs avantages et inconvénients.

M. Tran Duc Tien (Thomson-C.S.F.) décrit ensuite les générateurs à grande puissance indispensables pour animer l'accélérateur: vers 550 kHz, on atteint le mégawatt; les tubes d'émission de télévision, plus ou moins adaptés, permettent d'obtenir quelques centaines de kilowatts jusque vers 100 MHz. Avec les tubes à cavités incorporées, on peut aller encore plus loin (800 MHz ?).

Au C.E.N. de Saclay, le problème a été d'injecter des protons de 20 MeV dans l'accélérateur *Saturne*; on y arrive au moyen d'une suite de tubes de glissement, alignés au télescope à 0,1 millimètre près, enfermés dans un grand cylindre de diamètre 1 m et de longueur 10 m, à double paroi (cuivre de 5 mm à l'intérieur, acier de 20 mm à l'extérieur), fabriqué en quatre tronçons de 2,50 m assemblés avec grande précision pour tenir un vide de 10^{-7} torr. M. Lefèvre expose les difficultés rencontrées lors de la montée en puissance d'un tel ensemble.

Des dispositifs différents, pour un but analogue, sont en cours de réalisation à Orsay pour le cyclotron « Alice », et à Lyon pour l'Institut de Physique Nucléaire. Le premier, décrit par M. Cabrespine, injectera des ions d'argon à 290 MeV et de krypton à 400 MeV (cycle réduit à 30 %); la source d'ions aura trois « lentilles électrostatiques », un dispositif regroupeur, et deux « déviateurs de rattrapage éventuel »; divers focalisateurs ont été étudiés sur maquette à échelle 1/4. Pour le second, M. Chabert discute les diverses solutions envisagées pour aboutir à une « structure interdigitale type H en deux étages ».

F.P.D.