

SPECTROMÈTRE

ultra-rapide

à réseaux tournants

L'observation par des méthodes spectroscopiques de phénomènes rapidement évolutifs était peu utilisée jusqu'à présent, faute de moyens instrumentaux adaptés. Il n'existait, en effet, lorsque fut entreprise l'étude du spectromètre décrit ci-dessous, aucun appareil de ce genre commercialisé sur le marché mondial; quelques prototypes avaient été réalisés dans divers laboratoires de recherche, mais tous avaient été prévus pour une application bien précise et ne pouvaient que difficilement être utilisés dans d'autres domaines. L'idée directrice, dans cette réalisation, fut donc l'obtention d'un ensemble maniable, capable de s'adapter à un grand nombre de problèmes scientifiques ou techniques, et fonctionnant aussi bien en émission qu'en absorption. Cet ensemble peut être utilisé en cinétique chimique pour la mise en évidence de composés éphémères, pour l'observation d'explosions ou de combustions de toutes sortes, etc.

par **A. DUCROS** et **M. OLIVIÉ**

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

et **R. ZAHARIA**

Ingénieur E.S.O., licencié ès sciences,
Sciété U M A S

FONCTIONS DE L'APPAREIL

Cet ensemble permet la visualisation sur oscilloscope et l'enregistrement photographique de *un à seize spectres différents* pouvant se succéder à grande vitesse dans le temps; les spectres observés sont décalés verticalement sur l'écran de l'oscilloscope. Les réseaux tournants du spectromètre, du type *Czerny Turner*, gravés sur les quatre faces d'un bloc parallélépipédique rectangle à base carrée, sont entraînés à 250 ou 125 tours par seconde par un moteur synchrone; on obtient un défilement de 100 ou 500 spectres par seconde. La durée d'un spectre de 2600 Å est de 100 ou 200 µs suivant la vitesse de rotation. (Pour simplifier les explications, nous ne parlerons que de la vitesse nominale de 250 Hz, soit 1000 spectres par seconde.)

Il est procédé à un échantillonnage régulier des spectres se présentant à la cadence de un par milliseconde; cet échantillonnage peut se faire tous les spectres, tous les 2 spectres, tous les 5, tous les 10, 20, 50 ou 100. Sur un groupe de 16 de ces spectres échantillonnés et se succédant régulièrement, on choisit entre 1 et 16 d'entre eux qui seront effectivement visualisés sur l'oscilloscope. Sur l'écran, l'écart entre le premier et le dernier spectre reste constant; quel qu'en soit le nombre choisi, les autres se placent régulièrement entre eux; cet écart est réglable continuellement entre zéro et la valeur maximale.

Le départ à l'observation d'une salve de N spectres ($N \leq 16$) peut être déclenché manuellement ou par l'intermédiaire d'une impulsion positive de 5 V d'amplitude, dont le front de montée correspond au départ du phénomène variable que l'on veut

observer. Si ce phénomène, bien que bref, fournit un spectre invariable, il est possible de superposer les 16 spectres identiques et d'augmenter ainsi la luminosité de la lecture; si, en plus, le phénomène est continu, on peut utiliser un fonctionnement récurrent où la fin de chaque salve commande le départ de la suivante, ce qui permet une observation permanente.

La plage de 2600 Å du spectre observé peut être déplacée par pas de 100 Å entre 1200 Å et 1 µm, quelle que soit la vitesse de rotation.

Pour éviter une usure inutile du moteur d'entraînement, dont la durée de vie est limitée, la plupart des réglages peuvent se faire à l'aide d'une simulation interne de rotation, le moteur n'étant mis en route que pour l'expérience elle-même. Un *fréquence-mètre* indique, suivant le cas, la fréquence de simulation ou la fréquence des spectres fournis par les réseaux; comme le moteur est du type synchrone, ces deux fréquences sont rigoureusement identiques; un *système de temporisation* limite la rotation à deux minutes et impose une période de repos de une minute, au moins, pour éviter toute échauffement dangereux du moteur.

Pour le fonctionnement en ultraviolet (U.V.), une pompe permet de faire un vide primaire à l'intérieur du spectromètre, une jauge mesurant cette pression en permanence; enfin, une lampe spectrale permet l'étalonnage en longueur d'onde, les spectres étant observés sur une voie (voie 1), et la lampe, sur une autre voie (voie 2).

PRINCIPE ET GÉNÉRALITÉS

Pour l'étude de ce chapitre, on se reportera au synoptique général de la figure 1.

Décalage

Le décalage des différents spectres s'effectue en superposant au signal obtenu sur le photomultiplicateur, placé à la sortie du spectromètre, un escalier de tension dont chaque marche correspond à un spectre complet. Un phototransistor fournit une impulsion de synchronisation au départ de chaque spectre (1 par milliseconde) (fig. 2).

À la réception d'un ordre de départ, la bascule B_1 ouvre la porte P_1 , les impulsions de phototransistor sont alors transmises à un diviseur par n ($n = 1, 2, 5, 10, 20, 50$ ou 100) qui constitue l'échantillonnage ; à la sortie, on a donc une impulsion tous les n spectres ; ces impulsions attaquent un diviseur par 16 qui fermera la porte P_1 après le 16^e spectre ; un système de

portes sur le décodage du diviseur permet de choisir entre une et seize de ces impulsions, lesquelles déclenchent chacune une marche dans un générateur d'escalier et le départ du balayage de l'oscilloscope. Le nombre de marches est donc égal au nombre de spectres observés, et le départ de chaque marche correspond au départ du spectre correspondant. Un système de résistances commutées fait que l'amplitude de l'escalier reste constante, quel que soit le nombre de marches.

En fonctionnement récurrent, la porte P_1 est réouverte 3 ms après sa fermeture par l'intermédiaire d'un monostable. La voie PM_2 qui observe la lampe spectrale n'est pas décalée verticalement.

Choix de la plage d'observation

À l'apparition de chaque impulsion de phototransistor correspondant à un spectre observé, on ouvre, par l'intermédiaire d'une bascule B_2 , une porte P_2 qui laisse alors passer les signaux d'une horloge 10 MHz ; après division par 40 ou 80 suivant

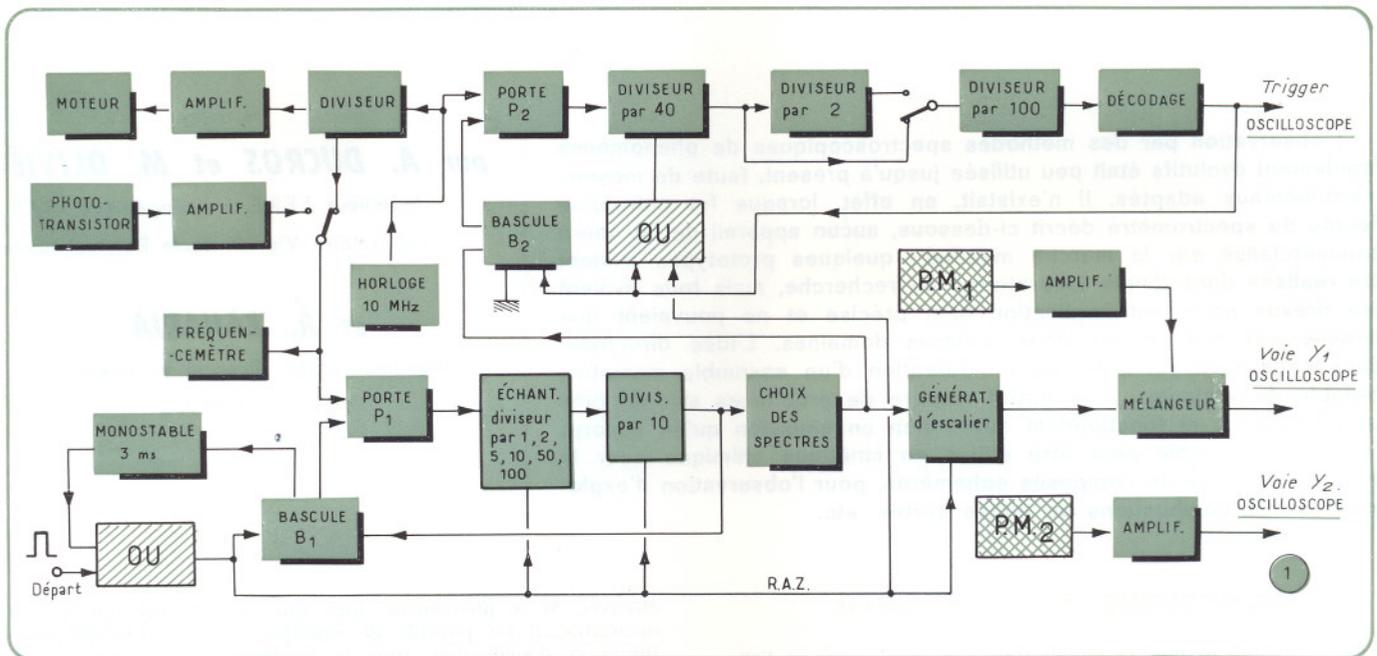
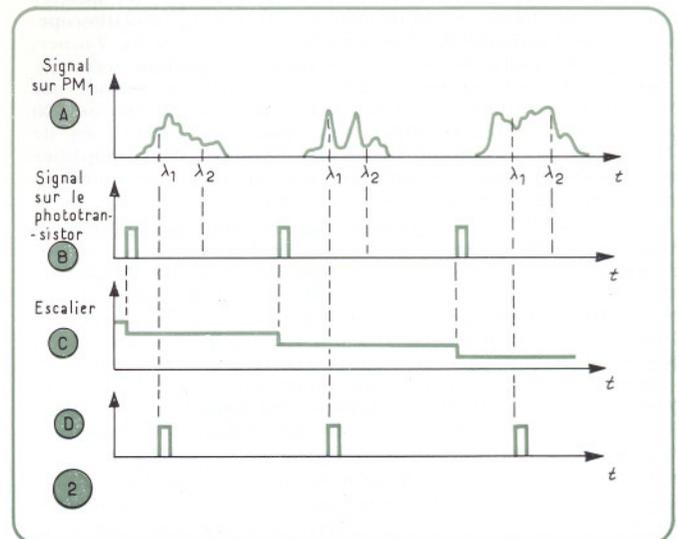


Fig. 1. — Synoptique général. Les impulsions fournies par un phototransistor apparaissent au début de chaque spectre ; après passage par la porte P_1 et par les circuits d'échantillonnage et de tri, elles déclenchent les marches d'un générateur d'escalier qui sera superposé au signal du P.M. ; les spectres sont ainsi décalés verticalement. Une horloge 10 MHz et un système de comptage à prédétermination provoquent le départ du balayage de l'oscilloscope un certain temps réglable après le début des spectres, permettant ainsi le choix de la plage spectrale d'observation.

Fig. 2. — Signaux de synchronisation. On a, en A, l'allure du signal fourni par le P.M. ; en B, les impulsions de phototransistor : elles apparaissent en même temps que les spectres sur le P.M. En C, on trouve l'escalier dont chaque marche, déclenchée par le phototransistor, correspond à la totalité d'un spectre. Enfin, en D, on a l'impulsion retardée servant à provoquer le balayage de l'oscilloscope. L'observation commence à la longueur d'onde λ_1 et s'achève à λ_2 ; λ_2 ne dépend que de la vitesse de balayage de l'oscilloscope.



la vitesse de rotation, ces impulsions sont comptées dans un compteur à prédétermination; l'apparition de l'impulsion correspondant au chiffre préaffiché ferme la porte P_2 et déclenche le balayage de l'oscilloscope. Le balayage démarre donc un certain temps après le début du spectre, donc pour une certaine longueur d'onde: un balayage à 10 ou 20 $\mu\text{s}/\text{cm}$ permet d'observer, sur un écran de 10 cm, une plage de 2600 Å à partir de la longueur d'onde de départ.

LE DÉCALAGE DES SPECTRES

Synoptique détaillé

Toute la partie électronique du spectromètre fonctionne en logique positive 0, +5 V, et est symbolisée dans le synoptique de la figure 3.

L'ordre de départ à l'observation des spectres peut être fourni, soit par une impulsion positive de 5 V, soit par pression sur le poussoir « départ »; quelle que soit la durée de l'impulsion ou de la pression sur le bouton, on obtient, après le monostable M_1 , une impulsion de 100 ns de largeur qui met tous les modules dans leur position de départ, en particulier les diviseurs par 16 du générateur d'escalier et du choix des spectres, dans l'état 1111, et le diviseur par n dans l'état 1001. Nous appellerons cette impulsion impulsion de RAZ.

Cent nanosecondes après cette RAZ, le monostable M_2 fait commuter la bascule B_1 , un niveau 1 apparaît en \bar{Q} et la porte P_1 s'ouvre. Les impulsions de phototransistor après division par n attaquent le diviseur par 16; à la 16^e impulsion, la bascule B_1 commute, \bar{Q} revient à zéro, la porte P_1 se ferme; le passage à zéro de \bar{Q} déclenche un monostable M_3 de pseudo-période 3 ms, le front descendant du créneau fourni par M_3 provoquant un nouveau départ sur T_1 . L'interrupteur I_1 permet de court-

Commande du moteur et simulation

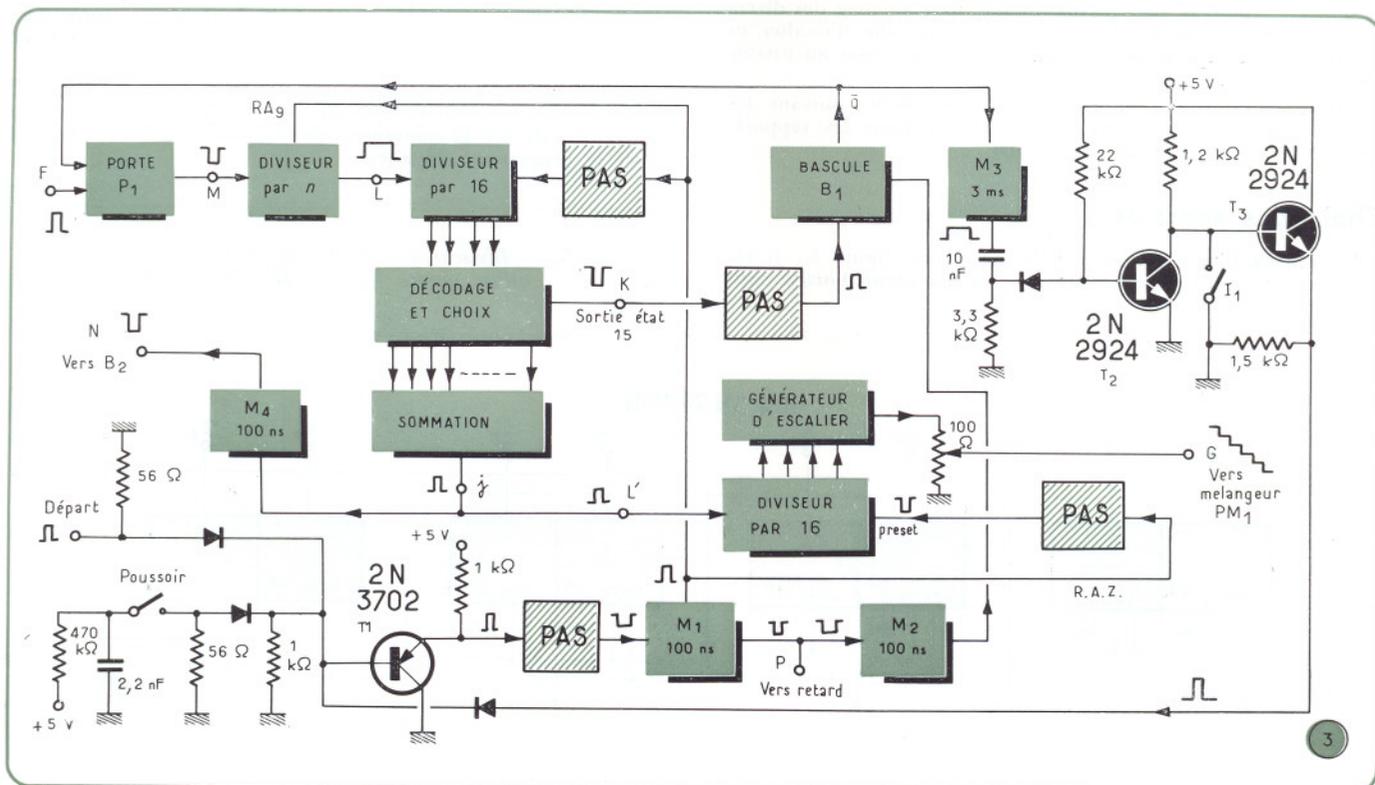
A partir de l'horloge 10 MHz, une chaîne de diviseurs fournit des créneaux à 250 et 125 Hz; après filtrage, on obtient des sinusoides de mêmes fréquences qui attaquent un amplificateur basse fréquence de commande du moteur. On prend, en outre, dans la chaîne de division, les fréquences 1000 et 500 Hz qui serviront de simulation en l'absence de rotation.

circuiter cette réaction, provoquant ainsi un fonctionnement par salvé.

Les états du diviseur par 16, correspondant à des spectres que l'on veut observer, sont décodés par une matrice à diodes puis différenciés, les impulsions positives obtenues sont sommées puis mises en forme par M_4 (100 ns, point N); ce sont elles qui provoqueront le départ des marches de l'escalier.

Les circuits PAS et les portes ET sont les SN 7400 N de chez Texas, les bascules sont des SN 7470 N et les monostables des SN 74 121 N; le créneau en sortie indique si l'on utilise une impulsion 0, +5 V ou +5 V, 0

Fig. 3. — Synoptique des circuits de décalage. Une impulsion en « départ » ouvre la porte P_1 ; les impulsions de phototransistor en F sont transmises à un diviseur par n ($n = 1, 2, 5, 10, 20, 50$ ou 100), puis à un diviseur par 16 décodé; on choisit entre une et seize des impulsions décodées pour fabriquer un escalier dont le nombre de marches sera donc compris entre un et seize. La porte P_1 se referme après la seizième impulsion, mais elle peut être réouverte automatiquement si on le désire 3 ms après fermeture à l'aide du monostable M_3 .



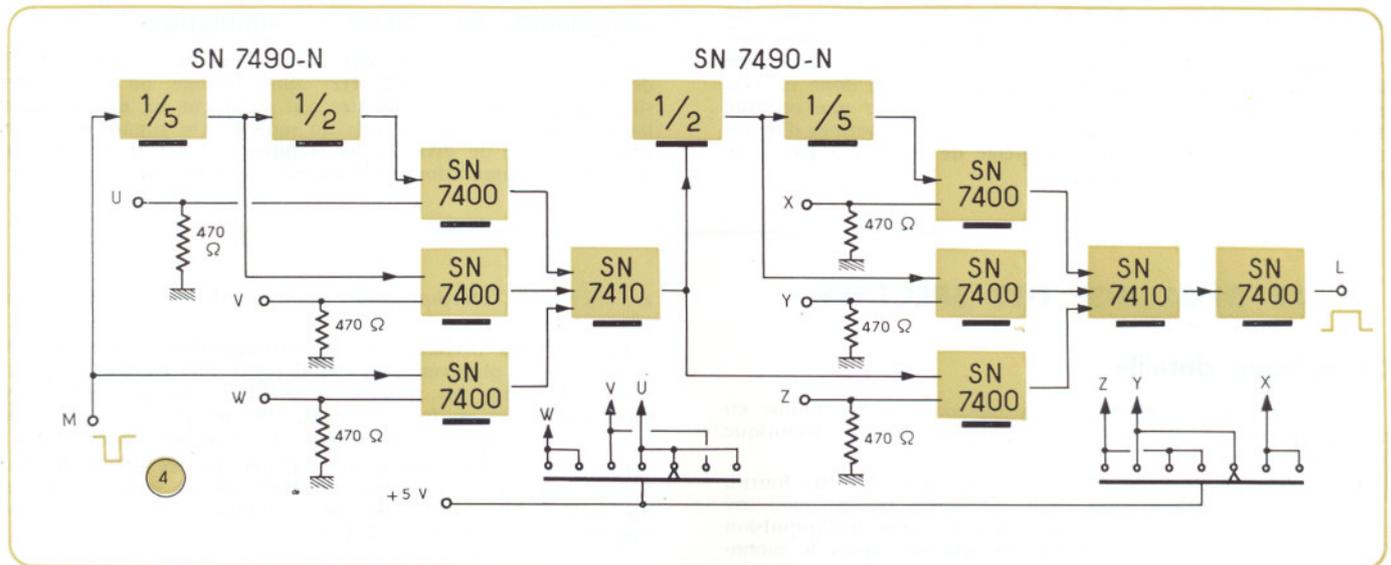


Fig. 4. — Diviseur par 1, 2, 5, 10, 20, 50 ou 100. Quel que soit le rapport de division, lorsque l'ensemble a été remis à sa position de départ, le premier front descendant appliqué à l'entrée fournit un front montant en sortie.

L'échantillonnage

L'intérêt de ce diviseur (fig. 4) réside dans le fait que, quel que soit le facteur de division, on obtient un front de montée en sortie pour le premier front descendant appliqué à l'entrée ; cela est important, car ce front correspond au départ du spectre et doit être conservé sans retard notable tout au long des divers étages pour commander la montée de la marche d'escalier et le départ du comptage pour le retard à l'observation au niveau de l'oscilloscope.

Les diviseurs par 5 et 2 sont des SN 7490 N ; suivant les niveaux appliqués en UVWXY et Z, on obtient les rapports de division 1, 2, 5, 10, 20, 50 ou 100.

Choix des spectres

Le schéma d'un diviseur par 16 est donné figure 5 ; il est classique et utilise des bascules JK en compteur binaire syn-

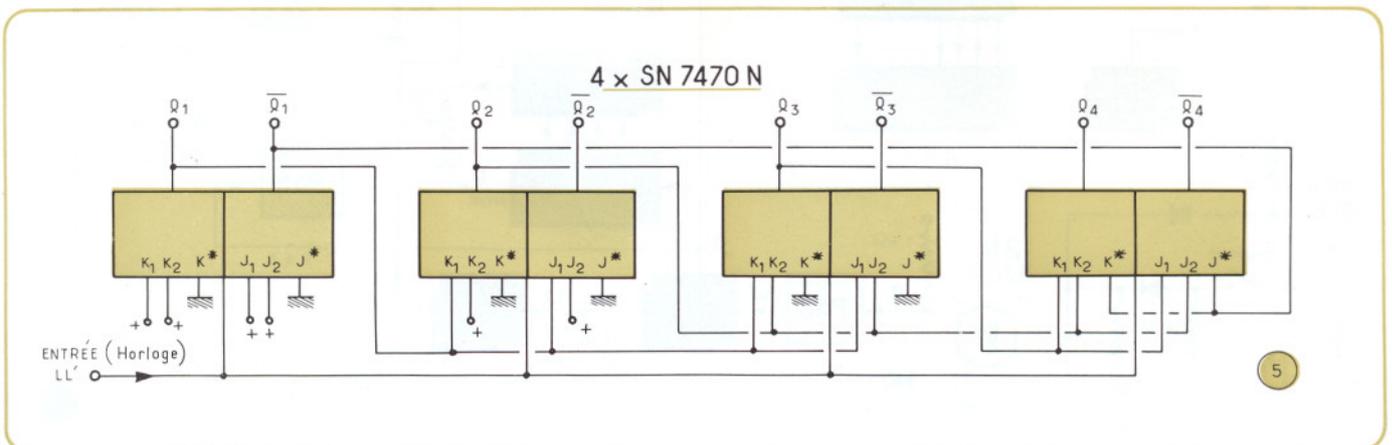
chrone 1248. La remise à l'état 1111 se fait en appliquant un état zéro sur les entrées *preset* des quatre bascules.

On a représenté, figure 6, le système de décodage à diodes ; l'état zéro est toujours décodé, il correspond au premier spectre se présentant après l'ordre de départ ; les autres états peuvent ne pas être décodés à volonté, il suffit de mettre le point commun des résistances d'alimentation des diodes à la masse à l'aide de l'inverseur correspondant. Le détail du décodage des états 4 à 15 n'a pas été représenté ; seul change par rapport aux états 1, 2 et 3 le branchement des diodes aux sorties Q et \bar{Q} des quatre bascules.

Un circuit RC (10 kΩ, 1000 pF) différencie les états décodés et un ensemble de diodes somme les impulsions positives obtenues qui vont se succéder sur la base de T₁ pour, après mise en forme, attaquer le générateur d'escalier et le circuit de retard.

On effectue en permanence un décodage séparé de l'état 15 pour fermer la porte P₁ à la fin de chaque save. Le rôle des résistances de 100 Ω commutées par les inverseurs sera explicité avec le générateur d'escalier.

Fig. 5. — Diviseur par 16. Ce diviseur binaire synchrone utilise quatre bascules JK SN 7470 N.



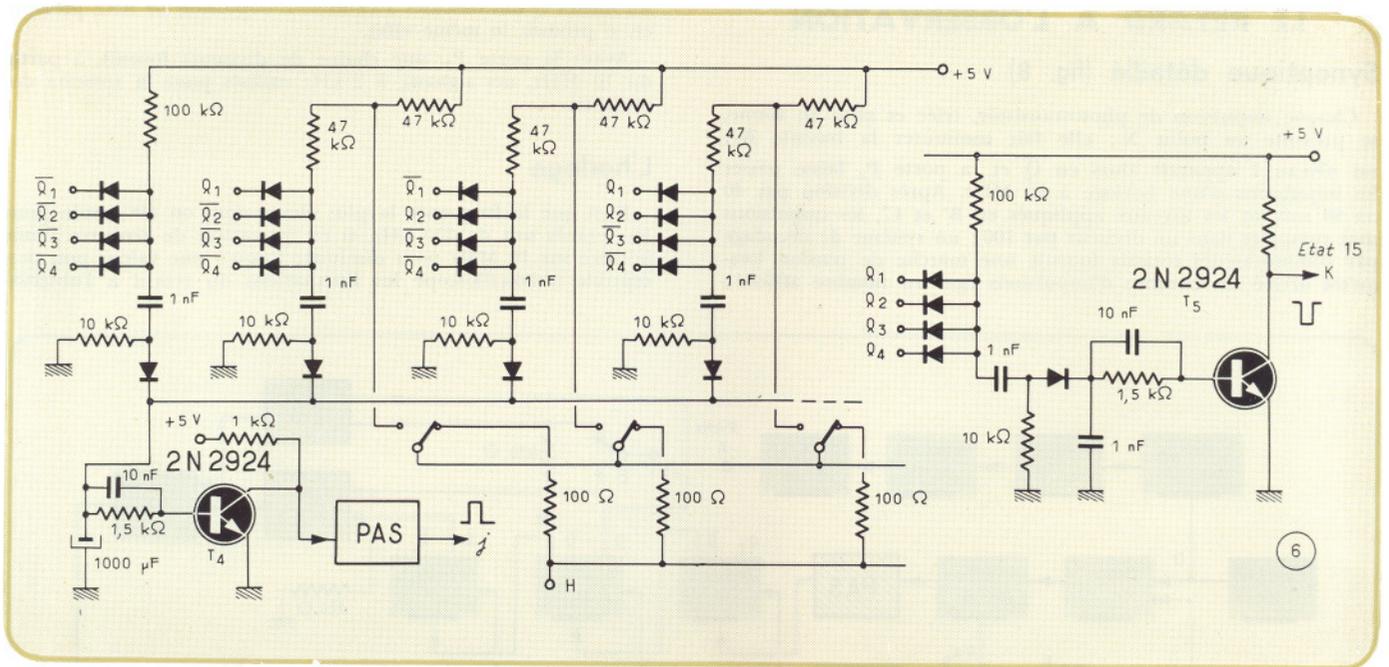
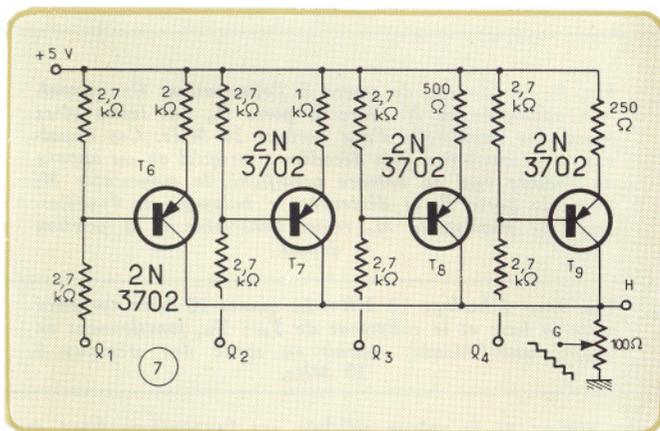


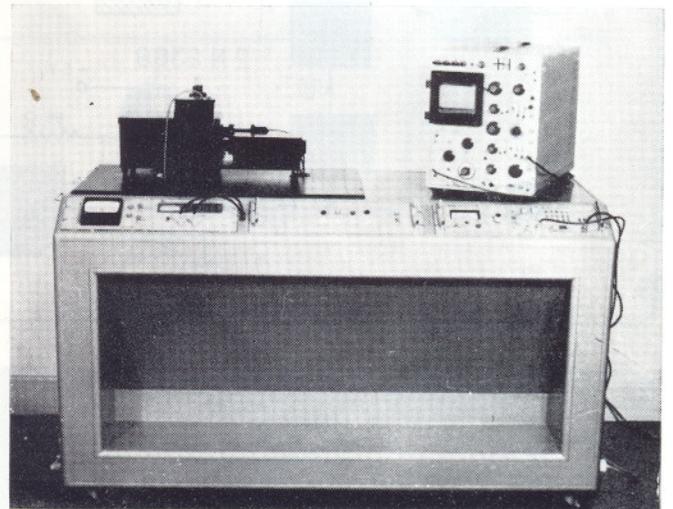
Fig. 6. — Décodage et choix des spectres. On utilise un décodeur classique ; la mise à la masse d'un des ponts d'alimentation des diodes supprime le décodage de l'état correspondant. Les diodes sont des 27 P1.

Fig. 7. — Le générateur d'escalier. Les transistors agissent en générateurs de courant ; les courants produits sont dans un rapport 1, 2, 4, 8. Le courant obtenu en H est proportionnel à la valeur décimale de l'état binaire appliqué en Q_1 , Q_2 , Q_3 et Q_4 ; il en est de même pour la tension obtenue en G.



Le générateur d'escalier

Les impulsions triées ci-dessus, une fois mises en forme par M_1 , attaquent un diviseur par 16 identique à celui de la figure 5 ; les sorties Q_1 , Q_2 , Q_3 , Q_4 des quatre bascules sont chargées par le circuit de la figure 7 ; il s'agit de générateurs de courant T_6 , T_7 , T_8 , T_9 ; lorsque les points Q sont à zéro, T_6 débite I_0 dans la charge placée en H, T_7 débite $2I_0$, T_8 $4I_0$ et T_9 $8I_0$. On voit que, si l'état binaire de Q_1 , Q_2 , Q_3 et Q_4 est N en décimal, le débit en H est NI_0 . On obtient donc sur la charge, en H, une tension proportionnelle à N ; comme les



Vue d'ensemble du spectromètre. A gauche, la partie optique ; à droite, l'oscilloscope à mémoire ; de gauche à droite et en dessous figurent ici les tiroirs de mesure du vide, de l'alimentation du P.M., de la commande du moteur et de l'ensemble « décalage, retard et observation ».

états se succédant en Q_1 , Q_2 , Q_3 , Q_4 sont ceux d'un compteur, on obtient en H un escalier de tension descendant de NV_0 à $0V$.

Nous avons vu, figure 5, que, pour chaque spectre décodé, on mettait une résistance de $100\ \Omega$ en H ; pour p spectres (p compris entre 1 et 16), la variation totale de courant est pI_0 , elle s'effectue dans une résistance égale à $100\ \Omega/p$ et lui correspond donc une variation totale de tension égale à $pI_0 \times \frac{100}{p} = 100 I_0$; l'escalier aura donc toujours la même amplitude, quel que soit le nombre p de marches.

Le potentiomètre de $100\ \Omega$, connecté en permanence, correspond au premier spectre toujours décodé ; il permet d'ajuster la hauteur de l'escalier entre sa valeur maximale et zéro.

