

Ensemble de SPECTROSCOPIE RAMAN

par EXCITATION LASER

(Suite et fin : voir "Électronique Industrielle" n° 119)

DEUXIÈME SOUS-ENSEMBLE

Le compteur photomultiplicateur

Les impulsions mises en forme ont une largeur de 100 ns, il leur correspond donc une fréquence de récurrence de 10 MHz ; en fait, on ne dépasse pas des taux de comptage de quelques centaines de kilohertz, d'où une capacité de compteurs de 10^6 ; par contre, comme les impulsions se succèdent d'une manière aléatoire, il est nécessaire que la première décade du compteur puisse fonctionner à 10 MHz.

Les six décades utilisées sont identiques, leur schéma est donné figure 10 ; elles fonctionnent en code 1-2-4-8 et ont été essayées jusqu'à 25 MHz. Les circuits intégrés utilisés sont des modèles SN 7470 N de Texas, à boîtier 2×7 broches en ligne.

L'ensemble du compteur est dessiné figure 11. La bascule de surcharge change d'état lors du passage de la dernière décade de l'état 9 à l'état 0 (passage de 0 à 1 de NON- Q_4), donc à l'impulsion 10^6 du photomultiplicateur. Il y a alors fermeture de la porte de comptage et

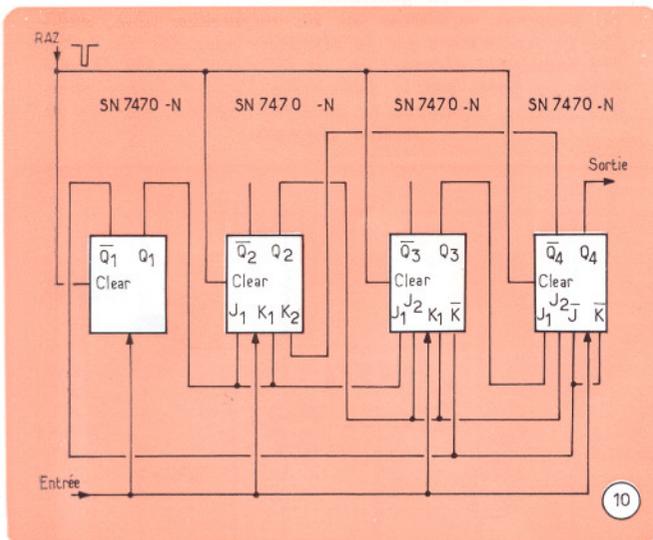


Fig. 10. — Schéma d'une décade synchrone à circuits intégrés fonctionnant en code 1-2-4-8 ; les bascules JK utilisées sont des SN 7470 N Texas, la fréquence de fonctionnement est de 25 MHz. Les entrées J et K non utilisées sont réunies respectivement aux niveaux 1 et 0. L'alimentation de l'ensemble se fait en 5 V régulés.

par A. DUCROS et M. OLIVIÉ
Ing. E. F. R. E. Ing. E. S. O.
École Polytechnique, Laboratoire du Professeur Vignal

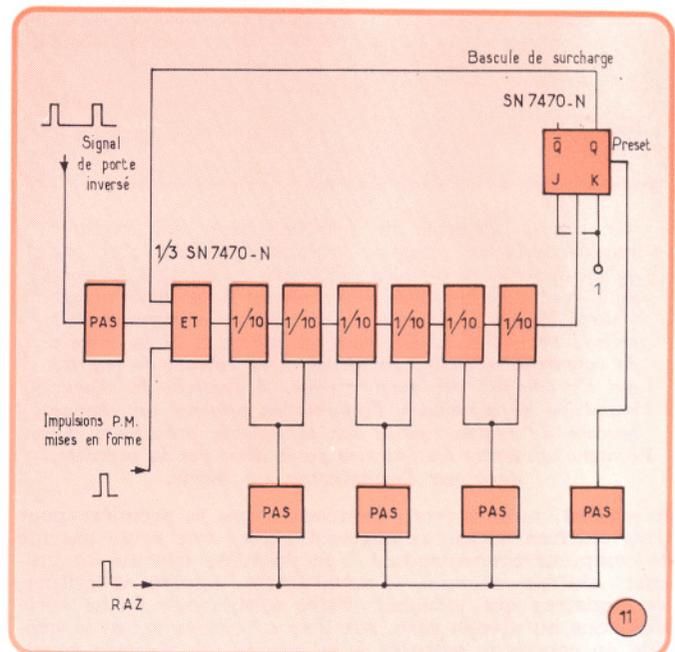


Fig. 11. — Schéma du compteur photomultiplicateur. Il utilise six décades du type précédent ; une bascule de surcharge note un éventuel dépassement de sa capacité (10^6). Les circuits PAS utilisés sont des SN 7400 N dont une entrée est réunie au niveau 1 (+5 V).

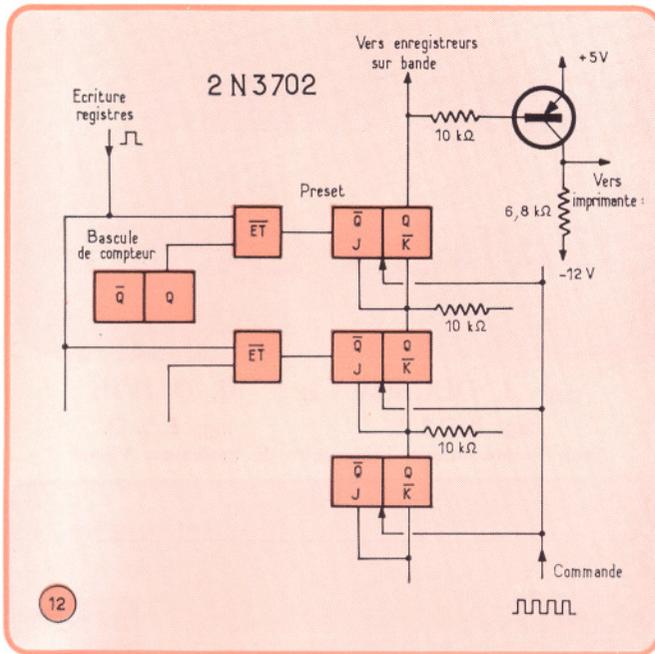
impression par l'imprimante d'un astérisque qui signale que la mesure est faussée par saturation.

L'impulsion de R.A.Z. qui, après inversion, remet toutes les décades à zéro par l'intermédiaire des entrées Clear, remet éventuellement la bascule de surcharge à l'état 1 par son entrée Preset.

Les registres

Leur rôle consiste à prendre en mémoire le contenu du compteur photomultiplicateur, puis à le présenter à l'imprimante et aux enregistreurs magnétiques pendant que le compteur effectue une nouvelle séquence de comptage ; c'est un registre parallèle-série : il prend l'information sur le compteur sous forme parallèle (6×4 fils) et la fournit sous forme parallèle à l'imprimante, puis sous forme série (4 fils) aux enregistreurs sur bande.

Un schéma de principe est donné figure 12. Il y a quatre bascules de registre par chiffre décimal ; pour clarifier



12

Fig. 12. — Principe de fonctionnement des registres parallèle-série du compteur photomultiplicateur : le fait qu'une bascule de compteur se trouve à l'état 1 à l'arrivée de l'ordre d'écriture fait qu'un niveau 0 est appliqué sur l'entrée Preset de la bascule de registre correspondante ; celle-ci se met alors elle aussi au niveau 1. Si la bascule de compteur se trouve au niveau 0, la bascule de registre qui s'y trouvait elle aussi y reste. A l'arrivée de chaque impulsion de commande, l'information présente sur chaque bascule de registre passe sur la bascule précédente. Le contenu de toutes les bascules passe ainsi par la première, donc par l'enregistreur sur bande.

le schéma, nous n'avons représenté que la première pour trois chiffres décimaux successifs avec une seule bascule de compteur correspondant à la première bascule du premier chiffre décimal. Lorsqu'arrive l'ordre d'écriture, les registres qui viennent d'être vidés sous forme série sont tous au niveau zéro, sur leur collecteur Q ; si la bascule de compteur associée à la bascule de registre considérée est au niveau 0 sur son collecteur Q, la porte NON-ET reste fermée et il n'y a pas d'action sur le registre

qui reste à zéro ; en revanche, si la bascule compteur est au niveau 1, à l'arrivée de l'ordre d'écriture, la porte NON-ET fournit un 0 en sortie qui, appliqué à l'entrée Preset du registre, porte le collecteur Q à l'état 1. Il y a donc, dans tous les cas, transfert dans la bascule registre de l'information contenue dans la bascule compteur qui peut alors être remise à zéro pour la séquence suivante.

La sortie Q du registre commande, par l'intermédiaire d'un transistor inverseur de polarité, l'entrée correspondante de l'imprimante.

Pour vider les registres sous forme série, les entrées J et NON-K de la première bascule du premier chiffre décimal sont réunies à la sortie Q de la première bascule du second chiffre décimal, et ainsi de suite jusqu'à la première bascule du sixième chiffre dont les entrées J et NON-K sont réunies à la masse.

A l'arrivée de chaque impulsion de commande appliquée à l'entrée horloge des bascules, chaque sortie de collecteur Q prend le niveau appliqué à l'entrée J. NON-Q, donc le niveau du collecteur précédent. A la sixième impulsion, tout le contenu des registres s'est présenté sous forme série sur les collecteurs des quatre bascules du premier chiffre, donc sur l'enregistreur sur bande qui leur est directement réuni.

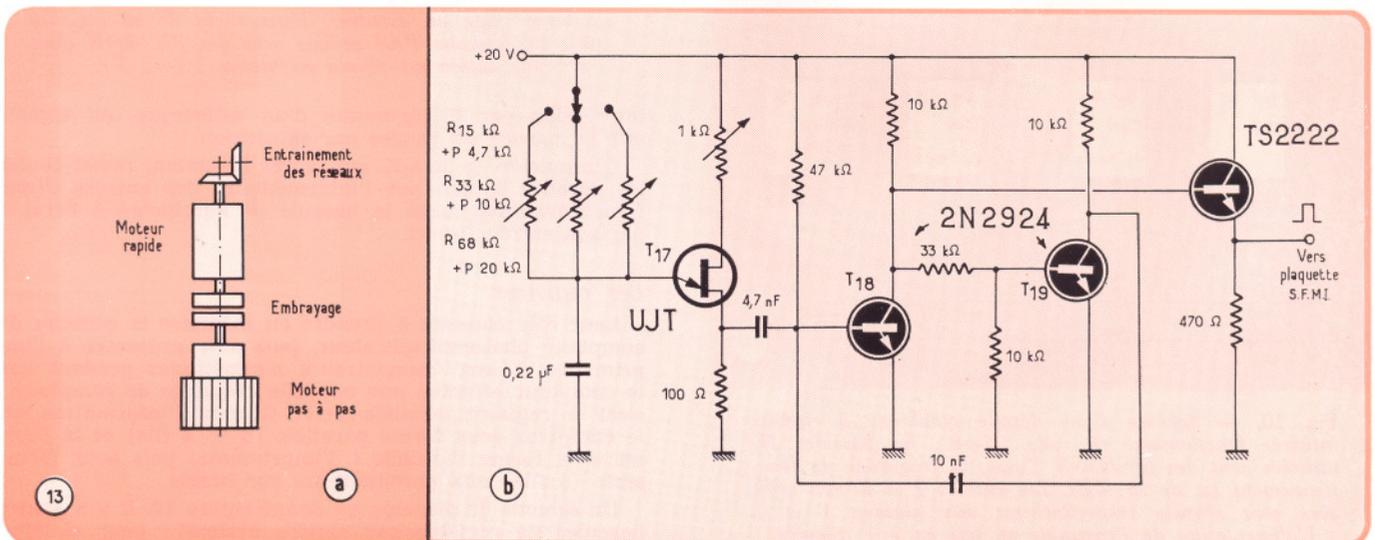
TROISIÈME SOUS-ENSEMBLE

Entraînement des réseaux

Comme il l'a été dit plus haut, l'entraînement des réseaux est assuré par deux moteurs montés sur le même axe, mais débrayables ; lorsque l'entraînement est assuré

Fig. 13. — Disposition des moteurs d'entraînement (a). En bas, le moteur pas-à-pas, en haut le moteur rapide, entre eux un embrayage électrique ; l'axe du moteur rapide entraîne la commande des réseaux. Lorsque le moteur pas-à-pas tourne, l'embrayage est « collé », le moteur rapide n'est pas alimenté ; lorsque le moteur rapide est alimenté, le moteur pas-à-pas ne l'est pas et l'embrayage est débrayé.

En b : schéma du générateur 288 Hz, 144 Hz, 72 Hz. Le transistor oscillateur est un unijonction (T_{17}), stabilisé en température par la résistance ajustable de 1 kΩ. Les impulsions obtenues sur la résistance de 100 Ω sont mises en forme par le monostable T_{18} - T_{19} ; l'étage émetteur suiveur commande la plaquette S.F.M.I. associée au moteur pas-à-pas.



13

par le moteur rapide (alternatif monophasé *S.F.M.I.* type « S 55 H 56 ») le moteur pas-à-pas (*S.F.M.I.* type « 20 G ») est désolidarisé de l'ensemble à l'aide d'un débrayage. Par contre, lorsque le moteur pas-à-pas fonctionne, l'embrayage est bloqué et il y a entraînement du rotor du moteur rapide et donc des réseaux à la vitesse lente (fig. 13 a).

Bien entendu, des sécurités sont adjointes aux différentes commandes pour qu'il ne puisse y avoir entraînement du moteur pas-à-pas à la vitesse du moteur rapide, ou fonctionnement simultané des deux moteurs et de l'embrayage.

Commande du moteur pas-à-pas

Les démultiplications mécaniques font que 1 cm^{-1} est balayé pour 288 pas du moteur pas-à-pas; pour obtenir un balayage de $1 \text{ cm}^{-1}/\text{s}$, il faut donc attaquer le moteur à une fréquence de 288 Hz; une plaquette de commande comportant un diviseur en anneau à thyristors est fournie par le constructeur; elle nécessite une tension d'alimentation de 28 V sous 3 A maximum, et des impulsions de commande ayant les caractéristiques suivantes: fréquence 288 Hz; polarité positive; largeur minimale $20 \mu\text{s}$; largeur maximale: signal carré; temps de montée maximal: $1 \mu\text{s}$; amplitude comprise entre 10 et 20 V.

Le montage adopté (fig. 13 b) utilise un transistor unijonction 2N 2646 monté en relaxateur; la fréquence est amenée à 288 Hz à l'aide de la résistance ajustable d'émetteur de $50 \text{ k}\Omega$. La résistance ajustable de base de $1 \text{ k}\Omega$ permet d'obtenir une stabilité en fréquence de 10^{-3} pour une plage en température de 40°C .

Les impulsions positives recueillies sur la base du transistor déclenchent un monostable T_{18} , T_{19} de pseudo-période $300 \mu\text{s}$. Le transistor T_{20} monté en émetteur suiveur commande la plaquette *S.F.M.I.* Le moteur rapide et l'embrayage sont alimentés en 110 V à travers

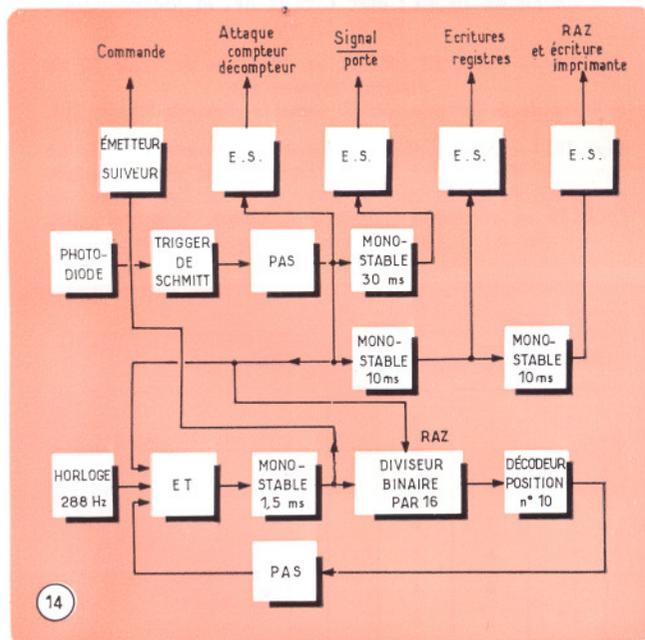
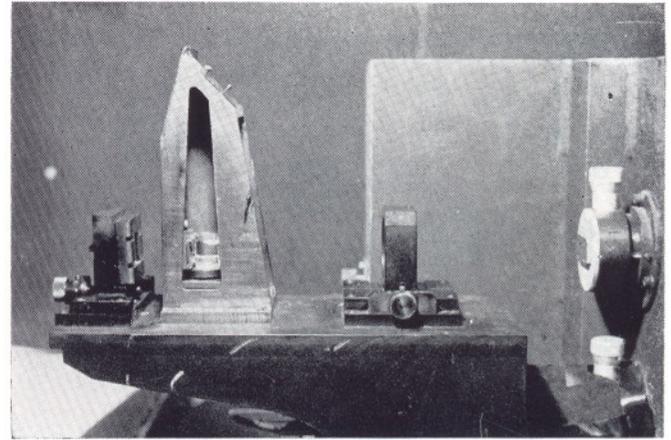


Fig. 14. — Synoptique du générateur de signaux de commande. A partir du signal de photodiode mis en forme, trois monostables, suivis d'émetteurs suiveurs, fournissent les signaux de porte, d'écriture registre, et de R.A.Z. Une porte que l'on bloque après qu'elle ait laissé passer dix impulsions d'horloge fournit les impulsions de commande des registres.



Détail de l'optique d'entrée de la cuve porte-objet.

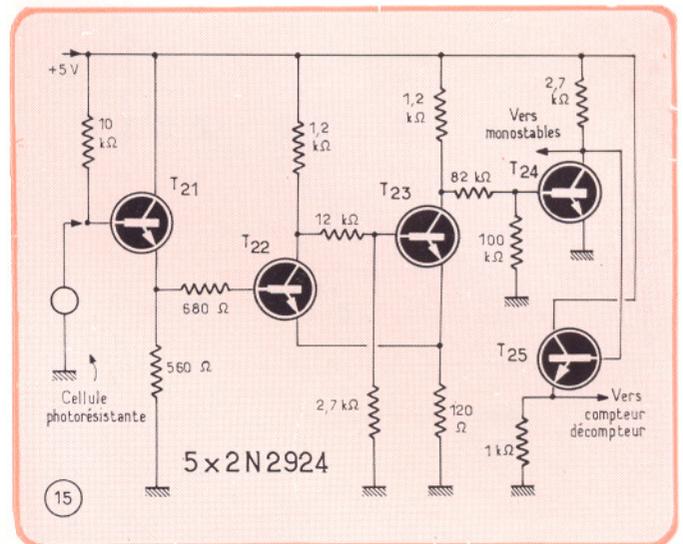


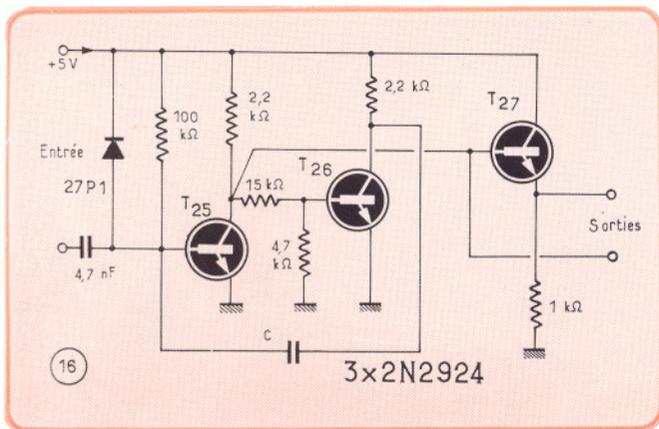
Fig. 15. — Circuit de mise en forme du signal fourni par la photodiode (trigger de Schmitt).

un transformateur d'isolement. Les moteurs peuvent fonctionner dans les deux sens de rotation.

Générateur de signaux de commande

A partir du disque découpeur placé sur le spectromètre et qui nous fournit, par l'intermédiaire d'une cellule photorésistive, un signal carré à la fréquence de défilement des cm^{-1} , il faut, pour la fréquence de balayage de $1 \text{ cm}^{-1}/\text{s}$, fournir les signaux de la figure 5: signal de porte (b), écriture de registres (c), R.A.Z. et écriture de l'imprimante (d), commande des registres (e).

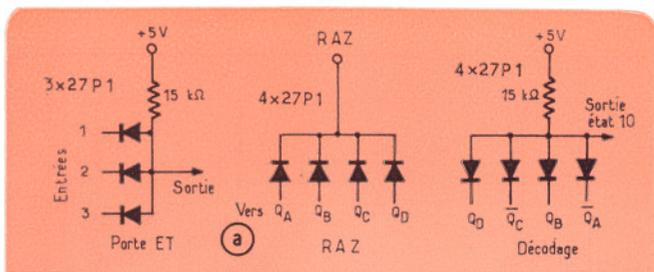
Le schéma synoptique du générateur est donné figure 14: le signal fourni par la cellule est mis en forme par un trigger de Schmitt puis inversé (fig. 15). On obtient en sortie le signal de la figure 5 a; le front négatif de ce signal commande le compteur décodeur par l'intermédiaire de T_{25} monté en émetteur suiveur. Ce même front négatif, pris sur le collecteur de T_{21} , déclenche deux monostables; l'un, de pseudo-période 30 ms, fournit le signal de porte inversé à travers un émetteur suiveur (cf. fig. 5 b); l'autre, de pseudo-période 10 ms, fournit l'impulsion d'écri-



ture des registres (fig. 5 c). toujours par l'intermédiaire d'un émetteur suiveur. Enfin, le front négatif de l'impulsion d'écriture déclenche un monostable de pseudo-période 10 ms qui, après un émetteur suiveur, fournit l'impulsion de R.A.Z. et l'écriture de l'imprimante (fig. 5 d). Le schéma d'un monostable est donné figure 16. Pour une pseudo-période de 30 ms, on a $C = 0,44 \mu\text{F}$; pour 10 ms, $C = 0,15 \mu\text{F}$ et pour 1,5 ms, $C = 22 \text{ nF}$.

La formation des dix impulsions de commande est plus délicate : les impulsions à 288 Hz sont appliquées sur l'une des entrées d'une porte ET à trois entrées ; la première entrée étant réunie au signal de cellule mis en forme, la porte ne peut être ouverte que lorsque ce signal est au niveau 1 (fig. 5 a) ; supposons alors la troisième entrée au niveau 1 ; les impulsions passent, sont calibrées par un monostable de période égale à 1,5 ms (fig. 16) et attaquent un diviseur par 16 dont on décode la dixième position. Donc, à l'arrivée de la dixième impulsion, le décodeur qui était au niveau zéro passe au niveau 1, et un étage inverseur ferme la porte en appliquant un niveau zéro sur l'entrée 3. Dix impulsions sont donc passées ; par l'intermédiaire d'un émetteur suiveur, elles vont commander les registres. Lorsque le signal de cellule revient au niveau zéro, le diviseur par 16 est remis à zéro, le décodeur passe alors au niveau zéro et l'entrée 3 au niveau 1, la porte reste cependant bloquée par son entrée 1 et le cycle va recommencer au prochain passage à 1 du signal de cellule.

Le schéma de la porte ET, de la R.A.Z. et du décodage sont donnés figure 17 a, celui d'une bascule du diviseur par 16 figure 17 b.



Compteur décompteur

Le schéma synoptique et la table de la figure 18 permettent d'expliquer le fonctionnement du compteur décompteur.

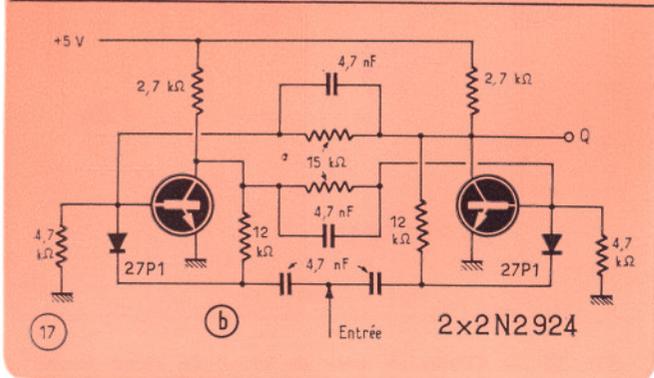
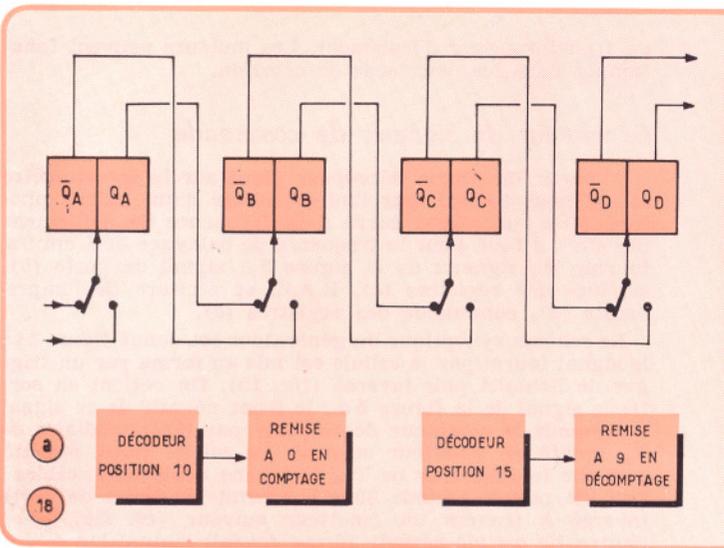


Fig. 16. — Circuit monostable : avec $C = 0,44 \mu\text{F}$, la pseudo-période est de 30 ms ; avec $C = 0,15 \mu\text{F}$, la pseudo-période est de 10 ms ; avec $C = 22 \text{ nF}$, la pseudo-période est de 1,5 ms.

Fig. 17. — Porte ET, R.A.Z. et décodage de l'état 10 du diviseur binaire (a). Schéma de la bascule utilisée dans le diviseur binaire (b).

Fig. 18. — Synoptique du compteur décompteur (a). Le compteur décompteur binaire est remis à zéro à l'apparition de l'état 10 en comptage, à 9 à l'apparition de l'état 15 en décomptage, comme le montre le tableau (b). En (c) : les positions binaires à décoder.

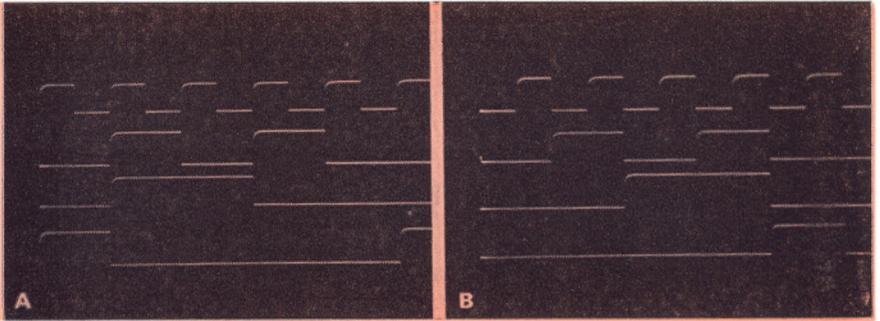


| IMPULSION | ÉTAT COMPTEUR | ÉTAT DÉCOMPTEUR |
|-----------------|---------------|-----------------|
| Initial | 0 | 9 |
| 1 ^o | 1 | 8 |
| 2 ^o | 2 | 7 |
| 3 ^o | 3 | 6 |
| 4 ^o | 4 | 5 |
| 5 ^o | 5 | 4 |
| 6 ^o | 6 | 3 |
| 7 ^o | 7 | 2 |
| 8 ^o | 8 | 1 |
| 9 ^o | 9 | 0 |
| 10 ^o | 10 → 0 | 15 → 9 |

| Q _D | Q _C | Q _B | Q _A | VALEUR DÉCIMALE |
|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|
| 1 | 0 | 1 | 0 | 10 |
| 1 | 0 | 1 | 1 | 11 |
| 1 | 1 | 0 | 0 | 12 |
| 1 | 1 | 0 | 1 | 13 |
| 1 | 1 | 1 | 0 | 14 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 15 |

A. — Signaux apparaissant sur les collecteurs de la première décade du compteur décompteur, en position décomptage (fréquence d'entrée : 500 Hz).

B. — Signaux apparaissant sur les collecteurs de la première décade du compteur décompteur en position comptage (fréquence d'entrée : 500 Hz).



teur : en position *comptage*, des portes, symbolisées ici par des inverseurs, réunissent l'entrée de chaque bascule au collecteur Q de celle qui la précède. On a ainsi un diviseur binaire par 16 ; un décodeur repère l'apparition de l'état 10 des quatre bascules qu'il ramène très rapidement à l'état zéro. Il n'y a que dix états stables possibles ; on a donc une décade classique en fonctionnement 1-2-4-8. En position *décomptage*, les entrées des bascules sont réunies aux entrées NON-Q de celles qui les précèdent. On sait que l'ensemble fonctionne alors en décompteur binaire : il suffit de décoder l'état 15 et de ramener, à son apparition, l'ensemble des quatre bascules à l'état 9 pour obtenir une décade décompteur fonctionnant elle aussi en code 1-2-4-8.

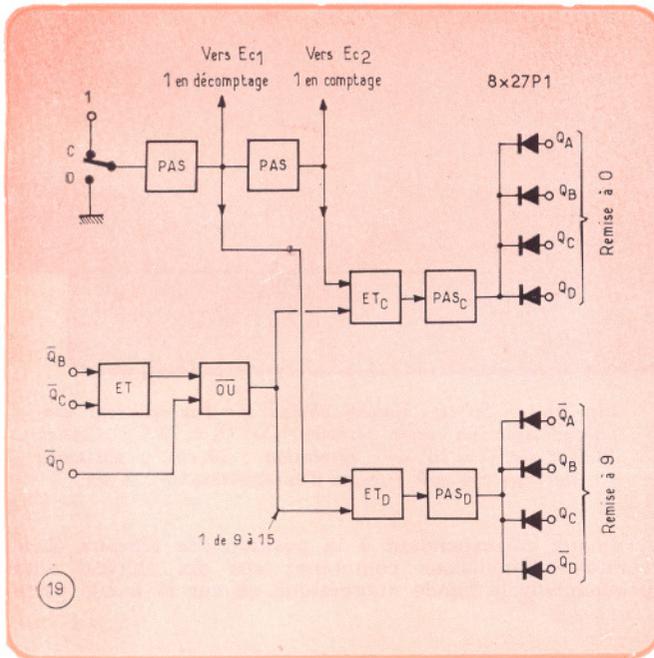


Fig. 19. — Circuits de décodage et de remise à 9 ou à 0.

En fait, pour simplifier les commutations, on décode simultanément tous les états de 10 à 15, et suivant que l'on compte ou décompte, on remet la décade à l'état 0 ou à l'état 9. Les positions binaires à décoder sont indiquées en figure 18 c. Elles sont caractérisées par le fait que l'on a pour elles seules : $Q_D (Q_B + Q_C) = 1$, soit :

$$\begin{aligned} \overline{Q_D} (Q_B + Q_C) &= 1, \\ \overline{Q_D} + (Q_B + Q_C) &= 1, \\ \overline{Q_D} + \overline{Q_B} \cdot \overline{Q_C} &= 1. \end{aligned}$$

Cette fonction est facile à réaliser (synoptique de la figure 19 et schéma de la figure 20). Le schéma des bas-

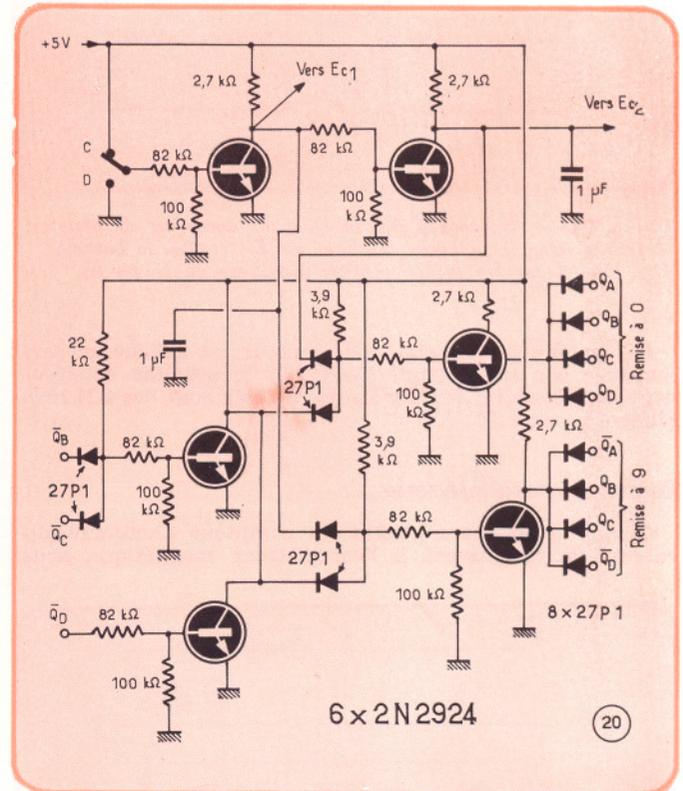


Fig. 20. — Schéma du décodage et de la remise à 9 ou à 0 correspondant au synoptique de la figure 19 ; la fonction NON-OU est obtenue sur les collecteurs réunis des deux transistors d'entrée.

cules utilisées est donné figure 21 : supposons l'entrée E_{C1} portée au niveau 1 et l'entrée E_{C2} au niveau 0 (logique positive) ; les diodes D_1 et D'_1 sont polarisées en inverse, le signal présent à l'entrée E_0 n'est pas transmis à la bascule ; par contre, les diodes D_2 et D'_2 transmettent les fronts négatifs des signaux appliqués en E_2 ; si E_2 est réunie au collecteur NON-Q de la bascule précédente, il y a fonctionnement en *décompteur* ; inversement, on fonctionne en *compteur* en portant E_{C1} au niveau 0 et E_{C2} au niveau 1. Les entrées E_{C1} et E_{C2} sont commandées par deux circuits inverseurs (cf. fig. 19 et fig. 20).

Le circuit décodeur fournit un signal 1 pour les états binaires indésirés (de 10 à 15). En position *comptage*, la porte ET_C fournit un signal 1 à l'apparition de l'état 10, le circuit PAS_C passe à zéro et il y a remise à zéro de la décade grâce aux quatre diodes reliées respectivement aux collecteurs Q_A , Q_B , Q_C et Q_D . Pendant ce temps, la porte ET_D est restée en position bloquée, de même que les diodes de remise à 9. En position *décomptage*, le cycle est identique à l'apparition de l'état 15.

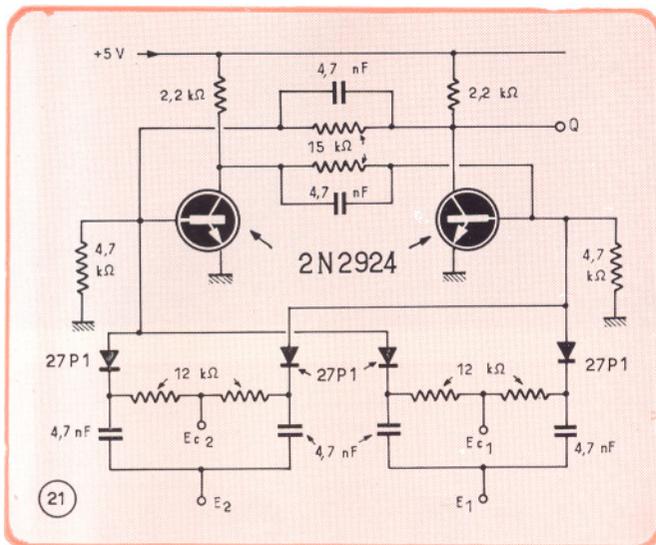


Fig. 21. — Schéma d'une bascule du compteur décompteur : selon le potentiel appliqué en E_{C1} et E_{C2} , la bascule répond sur les fronts négatifs appliqués en E_1 ou E_2 .

Le contenu du compteur décompteur est affiché en permanence sur tubes Nixie ZM 1020 ; le système de décodage est classique, les transistors utilisés sont des 2N 1990 alimentés sous 70 V.

Registres parallèle-série

Comme pour les registres du compteur photomultiplicateur, ils fournissent à l'enregistreur magnétique, sous

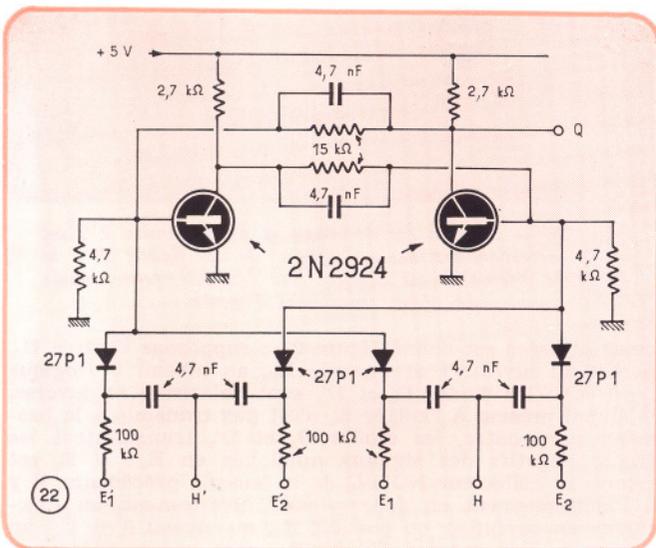


Fig. 22. — Schéma de la bascule de registre. Lorsqu'un front négatif est appliqué en H , les collecteurs Q et $NON-Q$ prennent l'information présente en E_2 et E_1 ; lorsque le front négatif est appliqué en H' , Q et $NON-Q$ prennent l'information présente en E'_2 et E'_1 .

forme série, le contenu sous forme parallèle du compteur décompteur. Le schéma d'une bascule de registre est donné figure 22. Les entrées E_1 et E_2 sont réunies aux

collecteurs Q et $NON-Q$ de la bascule de compteur décompteur correspondante, les entrées E'_1 et E'_2 sont réunies aux collecteurs Q et $NON-Q$ de la bascule de registre de même poids du chiffre précédent.

On applique en H l'ordre d'écriture des registres, quel que soit l'état de la bascule ; après application de l'impulsion, on retrouve en Q le niveau appliqué en E_1 et en $NON-Q$, le niveau appliqué en E_2 . On a mis en mémoire l'information présente sur la bascule de compteur décompteur. Les impulsions de commande sont appliquées en H' : à chaque impulsion, l'information contenue dans une bascule passe sur la suivante. Les registres du compteur photomultiplicateur étant réunis à ceux du compteur décompteur, on obtient sous forme binaire sur les quatre premières bascules registres une série de dix chiffres

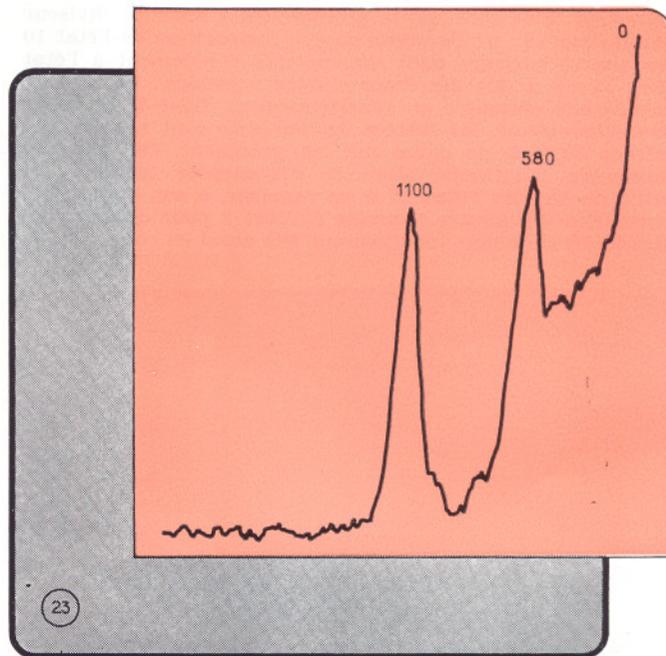


Fig. 23. — Spectre Raman obtenu sur l'enregistreur graphique avec un verre ternaire. (Si $O_2 = 72\%$; $CaO = 10\%$; $Na_2O = 18\%$) ; résolution : 20 cm^{-1} ; puissance du laser : 4 mW ; temps d'enregistrement : 2 mn .

décimaux correspondant à la position des réseaux et au nombre d'impulsions comptées ; ces dix chiffres s'impriment sur la bande magnétique ou sur la bande perforée.

RÉSULTATS

A titre d'exemple des résultats que l'on peut obtenir avec cet ensemble (*), nous donnons, figure 23, un spectre Raman de verre ternaire, réalisé par enregistrement graphique, avec une résolution de 20 cm^{-1} et un entraînement rapide des réseaux. Les raies 1100 et 580 sont spécifiques aux verres silicatés.

A. DUCROS,
Ingénieur E.F.R.E.

M. OLIVIE,
Ingénieur E.S.O.

(*) Le prototype décrit ici a reçu un certain nombre de modifications et est actuellement commercialisé par l'Union Métallurgique d'Asnières (733-32-23). L'étude de ce matériel a été financée par la division « Optique » de la Direction des Recherches et Moyens d'Essais.