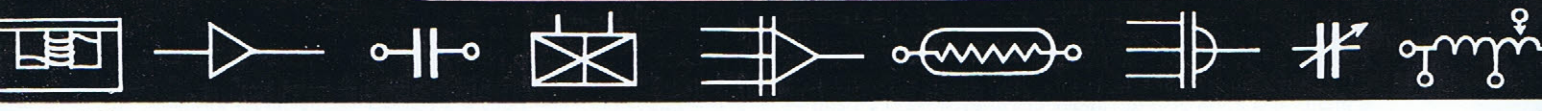


Jean Coquet

ÉDITÉ PAR LA
COMPAGNIE
DES PRODUITS
ÉLÉMENTAIRES
POUR INDUSTRIES
MODERNES

BULLETIN

Transco



CALCUL ET PROGRAMME ÉLECTRONIQUES

INTRODUCTION A L'UTILISATION DES BLOCS-CIRCUITS FONCTIONNELS

(DEUXIÈME PARTIE)

V. — QUELQUES UNITÉS AUXILIAIRES

Dans ce chapitre, nous donnons la description de certaines combinaisons de flip-flops, de compteurs et de portes employées comme unités auxiliaires dans le groupe calculateur. On retrouvera tous ces montages dans les chapitres suivants.

UNITÉ DE TRANSPORT D'INFORMATION

On a souvent besoin de transférer le contenu d'information d'un premier compteur dans un autre, sans perdre l'information emmagasinée dans le premier. On obtient ce résultat à l'aide d'une unité de transport d'information (fig. 45). Il y a une seule unité de ce genre dans la machine à calculer. T_1 représente le compteur dont le contenu doit être transféré à T_2 . Le flip-flop FF1 détermine la position de la porte « ET » A_1 . Ce flip-flop peut être déclenché séparément sur chaque entrée.

Le fonctionnement du montage peut être expliqué en considérant la figure 46. Les oscillogrammes de a à l représentent les impulsions en divers points du montage et indiquent les

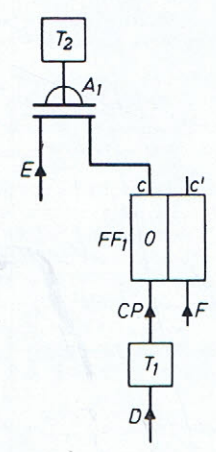


Fig. 45. — Schéma par blocs de l'unité de transport d'information pour les nombres positifs.

états de ses éléments en fonctions du temps. Supposons que T_1 contienne le chiffre 3 (ou, pour plus de généralité, le chiffre p) et que T_2 soit mis à 0. Le fonctionnement commence à la réception d'une impulsion C (voir fig. 46 a). A_1 est fermé, initialement, car le niveau en c de FF1 est élevé, d'où les impulsions E appliquées à FF_1 ne peuvent passer. Dix impulsions D (fig. 46 b) sont appliquées à T_1 qui avance le compteur d'une position chaque fois (fig. 46 c). Après 7 (10-p) impulsions D, T_1 passe de 9 à 0 et cela fait délivrer une impulsion de retenue CP (fig. 46 d). Elle fait basculer FF_1 , et ouvre donc A_1 (fig. 46 f et g).

A_1 étant alors ouverte, les impulsions E qui lui sont appliquées peuvent la traverser; une impulsion F fait revenir FF_1 à son état initial, ce qui ferme A_1 . Trois impulsions (ou, en général, $10 - (10 - p) = p$) impulsions ont été transmises à travers A_1 et ont déplacé le compteur T_2 à la position 3 (fig. 46 k). Le cycle des opérations est arrêté par une impulsion G (fig. 46 l).

Dix impulsions D, au total, ont été appliquées à T_1 et ce compteur est revenu à son état initial, à la fin du cycle. Le contenu de T_1 a ainsi été préservé, tandis que T_2 a été mis en mesure de prendre la même position que T_1 . Au lieu d'impulsions E, on peut appliquer des impulsions D à l'entrée de la porte A_1 , car la première impulsion D ne peut, en aucune façon, franchir la porte, même dans le cas extrême où T_1 contient un « 9 », la porte A_1 étant ouverte seulement après la première impulsion D.

Formation du complément à 9

Le complément à 9 d'un chiffre p est défini par $(9 - p)$; pour un nombre q ayant n chiffres significatifs, ce complément est $999 \dots 99$ (n chiffres) $- q$ ou $(10^n - 1 - q)$. On emploie le complément à 9 pour soustraire un nombre d'un autre nombre.

Dans le fonctionnement indiqué ci-dessus, il n'y avait pas de différence si l'on employait des impulsions D ou E appliquées à l'entrée de A_1 . Au contraire, dans le cas présent, on **doit** utiliser des impulsions E si l'on désire former le complément à 9 du nombre inscrit dans T_1 et l'emmagasiner dans un autre compteur (T_3).

Afin d'obtenir le complément à 9 d'un nombre, on modifie le montage de la figure 45 par l'adjonction d'une autre porte A_2 (fig. 47) commandée par c' de FF_1 . Lorsque A_1 est ouverte, A_2 est fermée, et inversement. On le voit sur la figure 46 m.

Le nombre des impulsions E passant à travers A_2 est de 6 (ou, en général, $9-p$) c'est-à-dire une unité de moins que le nombre des impulsions D exigées pour porter T_1 à la position 0. Ces six impulsions sont appliquées au compteur T_3 (fig. 46 r et s). Des impulsions d'entrées de A_1 et de A_2 peuvent être interconnectées car les impulsions E sont appliquées à ces deux portes.

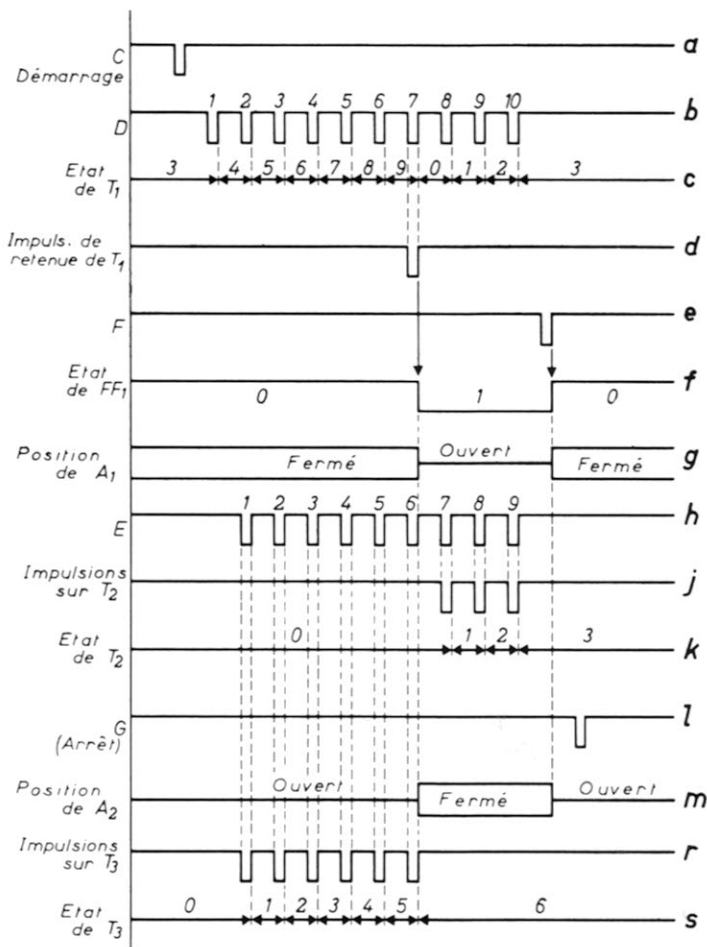


Fig. 46. — Situations des unités de la fig. 45 et impulsions aux différentes phases du transport d'un chiffre de T_1 à T_2 .

Utilisation générale de l'unité de transport d'information

Le montage de la figure 47 transfère le contenu de T_1 dans T_2 et son complément à 9 dans T_3 . Dans le groupe calculeur, l'unité de transfert d'information est utilisée chaque fois que le contenu d'un compteur quelconque, ou son complément à 9, doit être transféré à un autre compteur quelconque. Il est donc nécessaire d'étendre la disposition du montage, comme le montre la figure 48.

Les organes $FF1$, A_1 et A_2 jouent le même rôle ici et dans la figure 47. Les portes A_1 et A_2 ont maintenant, chacune, un second niveau d'entrée, relié à c et c' , respectivement de $FF2$. Dans la situation représentée sur la figure, c de $FF2$ a un bas niveau et c' un fort, d'où seule la porte A_1 peut transmettre des impulsions. Donc, dans le premier cas, le nombre même est transporté et, dans le second cas, son complément à 9. On peut déclencher $FF2$ à l'aide d'une impulsion négative appliquée, séparément, sur chaque base. Lorsque l'on injecte une impulsion négative à la connexion a , le flip-flop prend la position 1, quel que soit son état préalable; une impulsion appliquée à b lui fait prendre l'état 0. Les sorties de A_1 et de A_2 sont reliées, à travers la porte « OU » (O_2) et l'étage à émetteur chargé EF_2 à une simple connexion de sortie I .

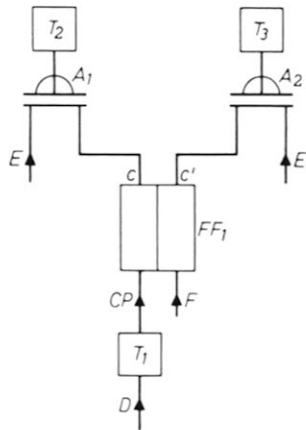


Fig. 47. — Modification du montage de la fig. 45 destinée à obtenir le complément à 9 d'un chiffre.

Le compteur qui fournit l'information à transporter n'est pas représenté sur la figure 48. A sa place, on trouve un certain nombre de portes « ET » ($A_3 \dots A_n$) auxquelles on peut relier plusieurs compteurs. Ces portes sont liées à l'entrée de $FF1$ à travers la porte « OU » (O_1) et l'étage à émetteur chargé ($EF1$). Les niveaux des portes « ET » permettent de sélectionner l'un des compteurs.

A l'aide d'un système analogue, la connexion de sortie I peut être reliée à un compteur quelconque. Ainsi l'unité de transport d'information peut rendre des services dans tout le groupe calculeur.

Le flip-flop $FF2$ qui détermine si le nombre même ou son complément à 9 sera transporté est un organe de l'unité de commande, décrite dans le chapitre.

Le principe de l'addition

Après avoir expliqué le fonctionnement du montage de la figure 48, nous pouvons montrer de quelle manière se fait l'addition des nombres. Les compteurs T_p et T_q qui contiennent les chiffres à additionner sont reliés successivement à l'entrée de $FF1$ par un choix approprié des niveaux des portes ($A_3 \dots A_n$); I est relié au troisième compteur (T_3) qui reçoit ainsi un nombre d'impulsions égal à la somme des contenus de T_p et de T_q .

De même le contenu d'un compteur peut être « additionné » au complément à 9 du contenu de l'autre compteur.

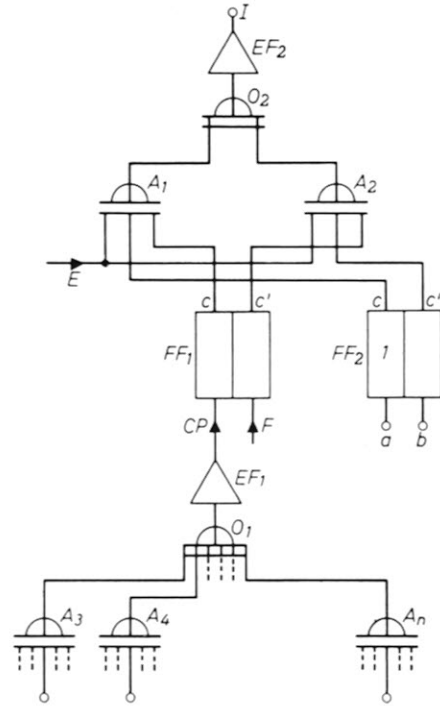


Fig. 48. — Dispositions générales de l'unité de transport d'information.

LA MÉMOIRE ACCUMULATRICE

Toutes les opérations arithmétiques impliquent l'emploi d'une mémoire accumulative. Elle comprend une cascade de onze compteurs décimaux. Les chiffres peuvent être écrits et lus séparément sur chaque compteur; le montage fondamental de la mémoire accumulative est celui de la figure 49. Les impulsions peuvent être appliquées par la connexion commune P aux compteurs ($T_0 \dots T_{10}$) à travers les portes « ET » ($A_0 \dots A_{10}$) et les portes « OU » ($O_0 \dots O_{10}$). Ces portes « OU » sont incorporées dans le montage afin que les impulsions de retenue puissent passer d'un compteur au suivant. Les indices de T_0 à T_{10} représentent la puissance de 10 par laquelle le chiffre présent dans le compteur doit être multiplié, c'est-à-dire que T_0 contient les unités, T_1 les dizaines, etc... Les impulsions de retenue sont ainsi transmises de T_n à T_{n+1} .

Afin d'écrire un chiffre donné p dans le compteur T_n , la porte A_n est ouverte et p impulsions, d'un train de dix impulsions D , sont appliquées à la connexion P .

L'impulsion de retenue engendrée à la sortie de T_{10} lorsque la capacité de ce compteur est dépassée, est appliquée au flip-flop $FF5$. Ce flip-flop bascule de 0 à 1 et le saut de tension positif en c avance, indirectement, le compteur T_0 d'un pas à travers la porte « OU » (O_0). Le nombre enregistré dans la mémoire accumulative est donc automatiquement réduit de 10^{11} fois et augmenté de 1. Ce procédé, qui entre en jeu à la soustraction des nombres, est le mécanisme de « retenue finale cyclique ».

Le sélecteur de mémoire accumulative

Les niveaux des portes ($A_0 \dots A_{10}$) sont déterminés par le sélecteur de mémoire accumulative (en abrégé : SÉLAC) qui comprend une cascade de quatre flip-flops reliés pour

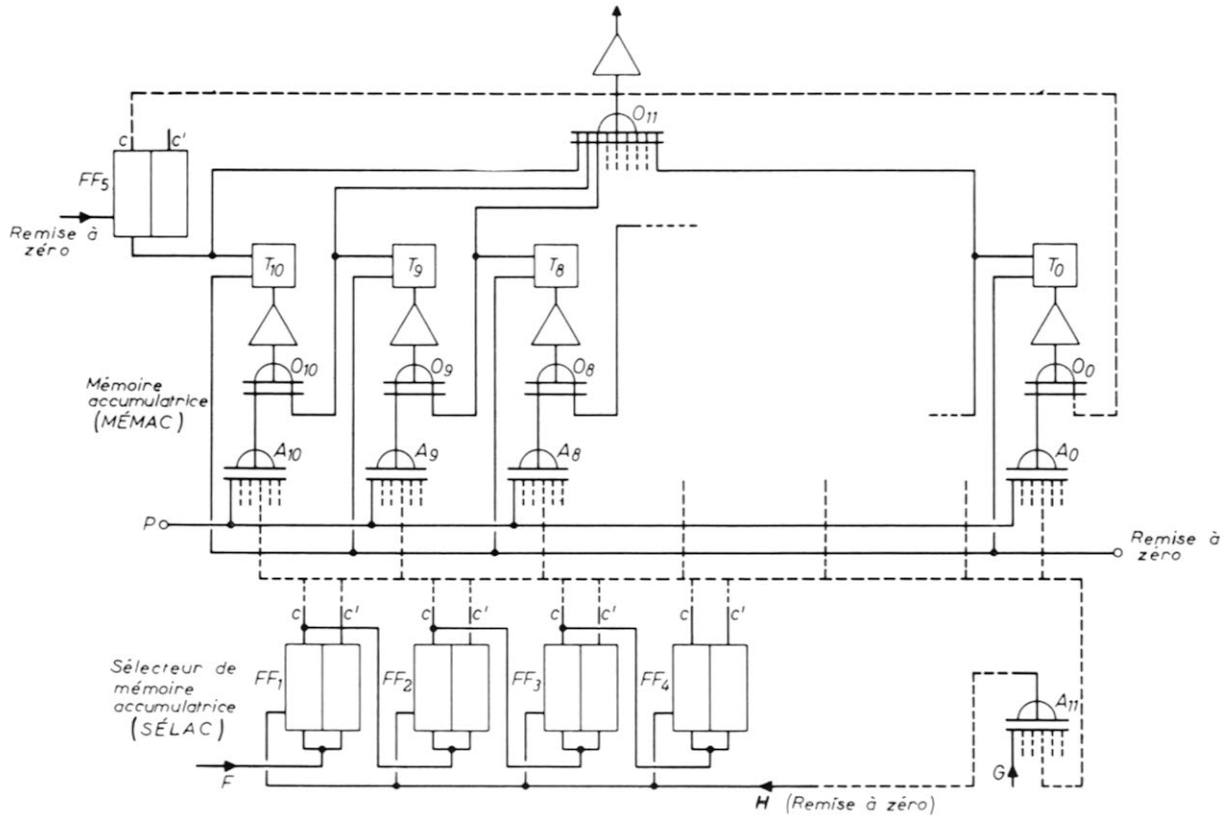


Fig. 49. — Schéma par blocs de la mémoire accumulative. (Photographie de la page 10) Vue du groupe calculateur où l'on distingue le panneau indicateur, en haut, et au-dessous l'ensemble du câblage.

former un compteur binaire. Les connexions entre les portes et le SÉLAC sont disposées de telle manière que le compteur binaire étant sur la position 0, la porte A_{10} est ouverte; dans la position 1, A_9 est ouverte, etc. A_0, \dots, A_{10} ont donc, en général, quatre entrées de commande, comme l'indique le tableau ci-dessous, lequel montre les états des divers flip-flops et les connexions aux portes « ET ».

Position du SÉLAC	Etat binaire du SÉLAC	Connexions venant de				Pour ouvrir la porte
		FF1	FF2	FF3	FF4	
0	0000	c'	c'	c'	c'	A_{10}
1	1000	c	c'	c'	c'	A_9
2	0100	c'	c	c'	c'	A_8
3	1100	c	c	c'	c'	A_7
4	0010	c'	c'	c	c'	A_6
5	1010	c	c'	c	c'	A_5
6	0110	c'	c	c	c'	A_4
7	1110	c	c	c	c'	A_3
8	0001	c'	c'	c'	c	A_2
9	1001	c	c'	c'	c	A_1
10	0101	c'	c	c'	c	A_0
11	1101	c	c	c'	c	A_{11}

La porte A_{11} est aussi comprise dans ce tableau. Cette porte est ouverte lorsque le SÉLAC est dans la position 11 et délivre une impulsion qui remet à 0 le SÉLAC. Le SÉLAC n'est donc jamais dans les positions 12 à 15. Par conséquent, le nombre des entrées de commande pour les portes A_0 à A_{10} peut être réduit. Les connexions que l'on peut négliger sont indiquées en plus petits caractères dans le tableau. On a tenu compte du fait que la position 11 peut aussi être négligée, point sur lequel nous reviendrons.

Enregistrement (« écriture ») d'un nombre dans le SÉLAC

Afin d'écrire un nombre dans le SÉLAC, les séries d'impulsions venant de la sortie I (fig. 48) sont appliquées à l'entrée P. La première série des impulsions appliquées à P vient du compteur dont le contenu doit être écrit dans T_{10} . Le nombre d'impulsions de cette série est égal au contenu du compteur. Au début de l'« écriture », le SÉLAC est dans la position 0, donc la porte A_{10} est ouverte. Les impulsions appliquées à P sont donc injectées dans T_{10} .

Lorsque cette série est terminée, une impulsion F avance le SÉLAC à la position 1, ce qui ouvre la porte A_9 . Pendant la série suivante d'impulsions D, par conséquent, le second jeu d'impulsions I est appliqué à T_9 . Ces impulsions viennent d'un second compteur qui a été sélectionné par l'une des portes ($A_3 \dots A_n$) (fig. 48). Cette sélection est aussi actionnée par une impulsion F (ou G, ou H). Ce processus est répété jusqu'au moment où tous les chiffres, repris sur les compteurs sélectionnés (T_{10} à T_0), sont enregistrés.

Lorsque le nombre approprié est « écrit » dans T_0 , le SÉLAC est sur la position 10. L'impulsion F suivante ouvre la porte A_{11} qui va autoriser le passage de l'impulsion G suivante et va remettre le SÉLAC à zéro (indirectement).

Addition de nombres

Si un nombre venant d'une autre série de compteurs doit être ajouté au nombre écrit dans la mémoire accumulative, la démarche décrite ci-dessus se répète, mais avec cette différence qu'un nouveau jeu de compteurs est sélectionné par les portes ($A_3 \dots A_n$). L'unité de transport d'information (fig. 48) délivre les impulsions I venant de ces compteurs aux compteurs appropriés T_{10}, T_9 , etc. de telle sorte que les impulsions I qui correspondent au coefficient de 10^n sont transportées dans le compteur T_n .

Lorsque le contenu du compteur T_n dépasse 9, une impulsion de retenue est fournie à T_{n+1} . Cette impulsion ne peut coïncider avec une impulsion en provenance de l'une des portes « ET », puisque la porte A_{n+1} est fermée lorsque l'impulsion de retenue est engendrée dans T_n . La méthode d'écriture des nombres dans la mémoire accumulatrice, de gauche à droite, comme elle est décrite ici, présente donc l'avantage sur la méthode inverse qu'il n'est pas nécessaire d'avoir un dispositif d'enregistrement d'impulsion de retenue.

Lecture des nombres dans la mémoire accumulatrice

Afin de lire les nombres dans la mémoire accumulatrice (en abrégé : MÉMAC), les impulsions D, au lieu des impulsions I, sont appliquées à P. Le SÉLAC ouvre les portes appropriées dans l'ordre et de telle sorte que ces impulsions sont injectées dans les compteurs T_{10} , T_9 , etc. Les impulsions de retenue venant de ces compteurs sont injectées dans le montage de la figure 48 qui transporte le contenu des compteurs ($T_{10} \dots T_0$) dans les compteurs appropriés, lorsque le nombre doit être emmagasiné.

L'impulsion de retenue produite par le compteur T_n pendant la lecture de ce compteur, est appliquée non seulement à la porte O_{11} mais encore au compteur suivant T_{n+1} . Le chiffre écrit dans T_{n+1} est donc augmenté de 1. Pour cette raison, il est nécessaire de commencer avec T_{10} pour finir avec T_0 lorsque l'on fait la « lecture » dans la mémoire accumulatrice. Si l'on ne suivait pas cette méthode, le contenu des compteurs serait modifié avant d'être lu.

Compteur des exposants

En dehors de la mémoire accumulatrice décrite ci-dessus à 11 compteurs, on emploie une autre mémoire accumulatrice dont la capacité est de deux chiffres, seulement. Elle est utilisée pour manipuler les exposants des nombres (voir le chapitre suivant) et elle est appelée « compteur des exposants ». Sa construction et son fonctionnement sont semblables à ceux de la mémoire accumulatrice des mantisses des nombres, décrite ci-dessus.

VI. — LA REPRÉSENTATION DES NOMBRES

Nombres positifs

Les nombres positifs sont représentés dans le groupe de calcul, comme on les écrit. Le nombre positif 3724 sera donc écrit ainsi dans la mémoire accumulatrice.

Compteur: $T_{10} T_9 T_8 T_7 T_6 T_5 T_4 T_3 T_2 T_1 T_0$

0	0	0	0	0	0	0	0	3	7	2	4
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Tous les compteurs de T_{10} à T_4 contiennent le chiffre 0; la présence d'un nombre positif dans la mémoire accumulatrice est donc indiquée par un 0 dans T_{10} . Seuls les compteurs de T_0 à T_3 sont alors disponibles pour l'indication de la valeur absolue du nombre en question. Il faut donc observer que le nombre enregistré dans la mémoire accumulatrice ne dépasse jamais $10^{10} - 1$.

Tant que cette condition est observée, T_{10} va toujours contenir le chiffre 0 lorsque deux nombres positifs p et q sont additionnés dans la mémoire accumulatrice, en accord avec le fait que la somme de deux nombres positifs est toujours positive.

En résumé : l'addition de p et de q produit un contenu de mémoire accumulatrice $p + q$; T_{10} indique 0 (positif).

Nombres négatifs

La soustraction de deux nombres

Pour expliquer la représentation des nombres négatifs dans le groupe calculateur, on va examiner la marche d'une soustraction effectuée par la méthode du complément à 9. Cette méthode est utilisée dans la machine car il est seulement possible de compter dans le sens direct et non dans le sens inverse, avec les compteurs décimaux employés dans le cas présent.

Le complément à 9 d'un nombre est obtenu en soustrayant de 9 chaque chiffre du nombre. Le mot « chiffre » comprend ici tous les zéros qui précèdent le nombre proprement dit et, qui, pour l'arithmétique, ne jouent aucun rôle (on les appelle, d'ailleurs, les zéros non-significatifs) y compris le 0 du compteur T_{10} . Le complément à 9 de 1 723 906 va donc apparaître dans la mémoire accumulatrice, sous la forme :

Compteur: $T_{10} T_9 T_8 T_7 T_6 T_5 T_4 T_3 T_2 T_1 T_0$

9	9	9	9	8	2	7	6	0	9	3
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

où les zéros des compteurs ($T_7 \dots T_{10}$) ont tous été remplacés par leurs compléments à 9 (c'est-à-dire 9). En d'autres termes, le complément à 9 d'un nombre p , noté p' , est égal à $p' = 10^{11} - 1 - p$, dans cette mémoire accumulatrice à 11 compteurs.

Le chiffre 9 qui apparaît dans le compteur T_{10} indique donc que le complément à 9 d'un nombre est écrit dans la mémoire accumulatrice. Comme seuls les compteurs T_0 à T_9 sont utilisés pour indiquer la valeur absolue d'un nombre, le 9 dans T_{10} est sans ambiguïté de sens.

Méthode de soustraction

Lorsque le nombre q écrit dans un compteur est à soustraire d'un nombre p , écrit dans un autre compteur, on doit transférer d'abord le nombre p , puis le complément à 9 de q , dans la mémoire accumulatrice, à travers l'unité de transport d'information (fig. 42). La mémoire accumulatrice contient donc le nombre $p + q' = p + 10^{11} - 1 - q$. On va d'abord examiner les limites générales de ce nombre. On sait que :

$$0 < p < 10^{10} - 1 \text{ et } 0 < q < 10^{10} - 1 \\ - 10^{10} + 1 < -q < 0$$

D'où :

$$10^{11} - 1 - 10^{10} + 1 < 10^{11} - 1 - q < 10^{11} - 1 \\ 10^{11} - 10^{10} < q' < 10^{11} - 1$$

De plus :

$$0 < p < 10^{10} - 1$$

D'où :

$$10^{11} - 10^{10} < p + q' < 10^{11} + 10^{10} - 2 \\ \text{ou } 9 \cdot 10^{10} < p + q' < 10^{11} + 9 \cdot 10^9 + \dots + 9 \cdot 10^1 + 8$$

$p + q'$ doit donc nécessairement se trouver entre les limites suivantes :

Compteur: $T_{10} T_9 T_8 T_7 T_6 T_5 T_4 T_3 T_2 T_1 T_0$

$$p + q' \geq \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|c|c|c|c|c|} \hline 9 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \hline \end{array} \quad (a)$$

Retenue 1

$$p + q' < \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|c|c|c|c|c|} \hline 0 & 9 & 9 & 9 & 9 & 9 & 9 & 9 & 9 & 9 & 8 \\ \hline \end{array} \quad (b)$$

Le compteur T_{10} doit donc contenir soit un 0, soit un 9. Mais, si T_{10} contient un zéro, une impulsion de retenue doit être engendrée à la sortie de T_{10} .

Il faut distinguer deux cas :

$$p > q \text{ (} p - q \text{ est positif)} \\ \text{et } p \leq q \text{ (} p - q \text{ est nul ou négatif)}$$

Dans le premier cas, ($p > q$), la condition spécifique suivante est valide :

$$q' = 10^{11} - 1 - q \\ p > q$$

$$\text{ou } \begin{array}{l} p + q' > 10^{11} - 1 \\ p + q' > 10^{11} \end{array} \quad (c)$$

En combinant les inéquations (b) et (c), il résulte que si $p > q$, la somme $p + q'$ doit rester entre les limites :

Compteur : $T_{10} T_9 T_8 T_7 T_6 T_5 T_4 T_3 T_2 T_1 T_0$

Retenue

$p + q' \geq 1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$p + q' < 1$	0	9	9	9	9	9	9	9	9	9	8

Comme résultat du mécanisme de retenue finale cyclique, 10^{11} est soustrait du contenu de la mémoire accumulatrice et 1 est ajouté au contenu de la mémoire accumulatrice.

Dans la mémoire accumulatrice, le nombre $p + q' - 10^{11} + 1$ est alors enregistré et, comme cette addition est égale à $p + (10^{11} - q - 1) - 10^{11} + 1 = p - q$, cela correspond bien à la différence désirée. Cela explique le rôle joué par le mécanisme de retenue finale cyclique. Les limites du nombre dans la mémoire accumulatrice deviennent alors :

Compteur : $T_{10} T_9 T_8 T_7 T_6 T_5 T_4 T_3 T_2 T_1 T_0$

$p + q' - 10^{11} + 1 = (p - q) >$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
$p + q' - 10^{11} + 1 = (p - q) <$	0	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9

Le compteur T_{10} contient donc toujours un 0, dans ce cas. Une impulsion de retenue est produite par ce compteur. Dans le second cas ($p < q$)

$$\frac{q' = 10^{11} - 1 - q}{p + q' < 10^{11} - 1} +$$

Si nous combinons l'inéquation particulière (d) avec l'inéquation générale (a), nous voyons que, dans ce cas, la somme $p + q'$ doit se tenir entre les limites suivantes :

Compteur : $T_{10} T_9 T_8 T_7 T_6 T_5 T_4 T_3 T_2 T_1 T_0$

$p + q' \geq$	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$p + q' <$	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9

Donc, dans ce cas, T_{10} contient toujours un 9 et il n'y a pas d'impulsion de retenue produite.

En résumé : soustraction de p et q ($p - q$) :

$p > q$: [contenu de la mémoire accumulatrice $p + q' - 10^{11} + 1$, T_{10} indique 0 et délivre une impulsion de retenue.

$p < q$: contenu de la mémoire accumulatrice : $p + q'$, T_{10} indique un 9 et ne délivre pas d'impulsion de retenue.

L'addition des nombres négatifs

Tout comme la différence de deux nombres peut être formée par la méthode du complément à 9, décrite ci-dessus, deux nombres négatifs peuvent aussi être additionnés par l'addition de leurs compléments à 9.

Les valeurs absolues des deux nombres p et q et leur somme doivent se trouver entre les limites suivantes :

$$\begin{aligned} 0 < p < 10^{10} - 1 & \quad (e) \\ 0 < q < 10^{10} - 1 & \quad (f) \\ 0 < p + q < 10^{10} - 1 & \quad (g) \end{aligned}$$

Il résulte de (e) et de (f) que :

$$\begin{aligned} 9 \cdot 10^{10} < p' < 10^{11} - 1 \\ \text{et } 9 \cdot 10^{10} < q' < 10^{11} - 1 \\ 18 \cdot 10^{10} < p' + q' < 2 \cdot 10^{11} - 2 \end{aligned} \quad (h)$$

De plus :

$$\begin{aligned} p' &= 10^{11} - 1 - p \\ q' &= 10^{11} - 1 - q \end{aligned}$$

D'où $\frac{p' + q' = 2 \cdot 10^{11} - 2 - (p + q)}{p' + q' = 2 \cdot 10^{11} - 2 - (p + q)} +$ (j)

En combinant (j) et (g), nous obtenons :

$$p + q = 2 \cdot 10^{11} - 2 - (p' + q') < 10^{10} - 1$$

d'où : $p' + q' \geq 2 \cdot 10^{11} - 10^{10} - 1$ (k)

Prenant la limite supérieure de (h) et la limite inférieure de (k), nous voyons que $(p' + q')$ doit se trouver entre les limites :

Compteur : $T_{10} T_9 T_8 T_7 T_6 T_5 T_4 T_3 T_2 T_1 T_0$

Retenue

$p' + q' < 1$	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	8
$p' + q' > 1$	8	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9

Ainsi, le compteur T_{10} fournit une impulsion de retenue pour chaque valeur possible de $p' + q'$. Le nombre dans la mémoire accumulatrice sera ainsi modifié par le mécanisme de retenue cyclique, ce qui donne :

Compteur : $T_{10} T_9 T_8 T_7 T_6 T_5 T_4 T_3 T_2 T_1 T_0$

$p' + q' - 10^{11} + 1 <$	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
$p' + q' - 10^{11} + 1 \geq$	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Le compteur T_{10} contient donc toujours le chiffre 9 et une impulsion de retenue est toujours produite.

L'expression $p' + q' - 10^{11} + 1$, représentant le nombre écrit dans la mémoire accumulatrice, peut être disposée autrement :

$$(10^{11} - 1 - p) + (10^{11} - 1 - q) - 10^{11} + 1 = 10^{11} - 1 - (p + q),$$

en d'autres termes, c'est le complément à 9 du nombre négatif $p + q$. En accord avec ce résultat, le chiffre 9 dans T_{10} indique la présence du complément à 9 dans la mémoire accumulatrice.

En résumé : L'addition de $-p$ et $-q$ donne, dans le contenu de la mémoire accumulatrice, le complément à 9 de $(p + q)$, $(p + q)'$. T_{10} indique 9 et fournit une impulsion de retenue.

Représentation des nombres négatifs

Le tableau ci-dessous résume les résultats de ce que nous avons déjà étudié sur le mécanisme de l'addition et de la soustraction, lorsque p et q sont deux nombres positifs. Une méthode générale pour la représentation des nombres négatifs peut être déduite de l'examen de ce tableau (1) :

Ce tableau montre qu'un « 0 » dans T_{10} coïncide avec un résultat positif, en agrément avec la présence d'un nombre positif dans la mémoire accumulatrice. De même, un « 9 » dans T_{10} accompagne un nombre négatif comme le résultat dans la mémoire accumulatrice. Le nombre négatif est représenté comme le complément à 9 de la valeur absolue du nombre en question.

(1) Tableau en haut de la page 8. ↗

Fonctionnement désiré	Fonctionnement actuel dans le compteur	Contenu de la mémoire accumulatrice avant la retenue finale cyclique	Impulsion de retenue de T_{10}	Contenu de la mémoire accumulatrice après la retenue finale cyclique	Contenu de T_{10}	Résultat
$p + q$	$p + q$	$p + q$	non	$p + q$	0	+
$p - q$ ($p > q$)	$p + q'$	$p + (10^{11}-1-q)$	oui	$p - q$	0	+
$p - q$ ($p \leq q$)	$p + q'$	$p + (10^{11}-1-q)$	non	$(q - p)'$	9	-
$-p - q$	$p' + q'$	$2 \cdot 10^{11} - 2 - p - q$	oui	$(p + q)'$	9	-

Lorsqu'un nombre doit être soustrait d'un autre, ce qui équivaut à additionner un nombre positif et un nombre négatif, le nombre à soustraire est injecté dans la mémoire accumulatrice sous la forme de son complément à 9, avec, également, un « 9 » dans T_{10} . Il apparaît donc bien que les nombres négatifs peuvent, en général, être représentés par le complément à 9 du nombre, tandis que le « 9 » dans T_{10} indique la présence d'un nombre négatif de même qu'un « 0 » dans T_{10} indique la présence d'un nombre positif.

Comme 9 est le complément à 9 de 0, on peut réunir en une seule les deux règles de représentation d'un nombre négatif et dire : le signe et la valeur absolue d'un nombre négatif peuvent être représentés comme le complément à 9 du signe et de la valeur absolue du nombre positif correspondant.

Exemples :

1) $p + q$ $T_{10} T_9 T_8 T_7 T_6 T_5 T_4 T_3 T_2 T_1 T_0$

$p = 3460827$
 $p =$

0	0	0	0	3	4	6	0	8	2	7
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

$q = 416297635$
 $q =$

0	0	4	1	6	2	9	7	6	3	5
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

+

0	0	4	1	9	7	5	8	4	6	2
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

2) $p + q = + 419758462$
 $p - q$ ($p > q$) $p - q = p + (-q) \rightarrow p + q'$

$T_{10} T_9 T_8 T_7 T_6 T_5 T_4 T_3 T_2 T_1 T_0$

$p = 416297635$
 $p =$

0	0	4	1	6	2	9	7	6	3	5
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

$q = 3460827$
 q'

9	9	9	9	6	5	3	9	1	7	2
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

+

1

0	0	4	1	2	8	3	6	8	0	7
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

retenue finale cyclique +
1

0	0	4	1	2	8	3	6	8	0	8
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

$p - q = + 412836808$

3) $p - q$ ($p < q$) $p - q = p + (-q) \rightarrow p + q'$

$T_{10} T_9 T_8 T_7 T_6 T_5 T_4 T_3 T_2 T_1 T_0$

$p = 3460827$
 $p =$

0	0	0	0	3	4	6	0	8	2	7
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

$q = 416297635$
 $q' =$

9	9	5	8	3	7	0	2	3	6	4
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

+

9	9	9	8	7	1	6	3	1	9	1
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

4) $p - q = - 412836808$
 $p - q$ ($p < q$) $p - q = p + (-q) \rightarrow p + q'$

$T_{10} T_9 T_8 T_7 T_6 T_5 T_4 T_3 T_2 T_1 T_0$

$p = 416297635$
 $p =$

0	0	4	1	6	2	9	7	6	3	5
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

$q = 416297635$
 $q' =$

9	9	5	8	3	7	0	2	3	6	4
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

+

9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

5) $p - q = - 0$
 $-p - q = + (-p) + (-q) \rightarrow p' + q'$

$T_{10} T_9 T_8 T_7 T_6 T_5 T_4 T_3 T_2 T_1 T_0$

$p = 3460827$
 $p' =$

9	9	9	9	6	5	3	9	1	7	2
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

$q = 416297635$
 $q' =$

9	9	5	8	3	7	0	2	3	6	4
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

+

1

9	9	5	8	0	2	4	1	5	3	6
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

retenue finale cyclique 1

9	9	5	8	0	2	4	1	5	3	7
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

$-p - q = - 419758462$

La virgule flottante

On a décrit ci-dessus le mode de représentation des entiers positifs et négatifs. Mais l'on traite et l'on obtient aussi des fractions, en dehors des nombres entiers, avec le groupe calculateur. On pourrait les représenter selon deux procédés :

La virgule décimale en position fixe, ou la virgule décimale flottante. C'est la virgule flottante que l'on emploie dans notre groupe calculateur. Bien que ce procédé présente quelques inconvénients, il offre le grand avantage d'une utilisation plus efficace de la capacité de mémoire numérique de l'appareil.

La mémoire accumulatrice peut contenir, dans ce cas, plus d'information qu'à l'utilisation de la virgule fixe et l'espace de conservation exigé pour un élément d'information donné peut être réduit.

Dans le procédé à virgule flottante, un nombre est représenté par deux paramètres : la mantisse et l'exposant.

On obtient la mantisse en multipliant le nombre par la puissance de dix appropriée, positive ou négative, afin d'obtenir un nombre inférieur à 1 et plus grand que, ou égal à 0,1. Ainsi, la mantisse de 23879,783 2 est

0, 238 797 832

L'exposant est alors la puissance de dix par laquelle la mantisse peut être multipliée pour donner le nombre même. Dans l'exemple ci-dessus, l'exposant est 5. En général :

$$\text{nombre} = \text{mantisse} \times 10^{\text{exposant}}$$

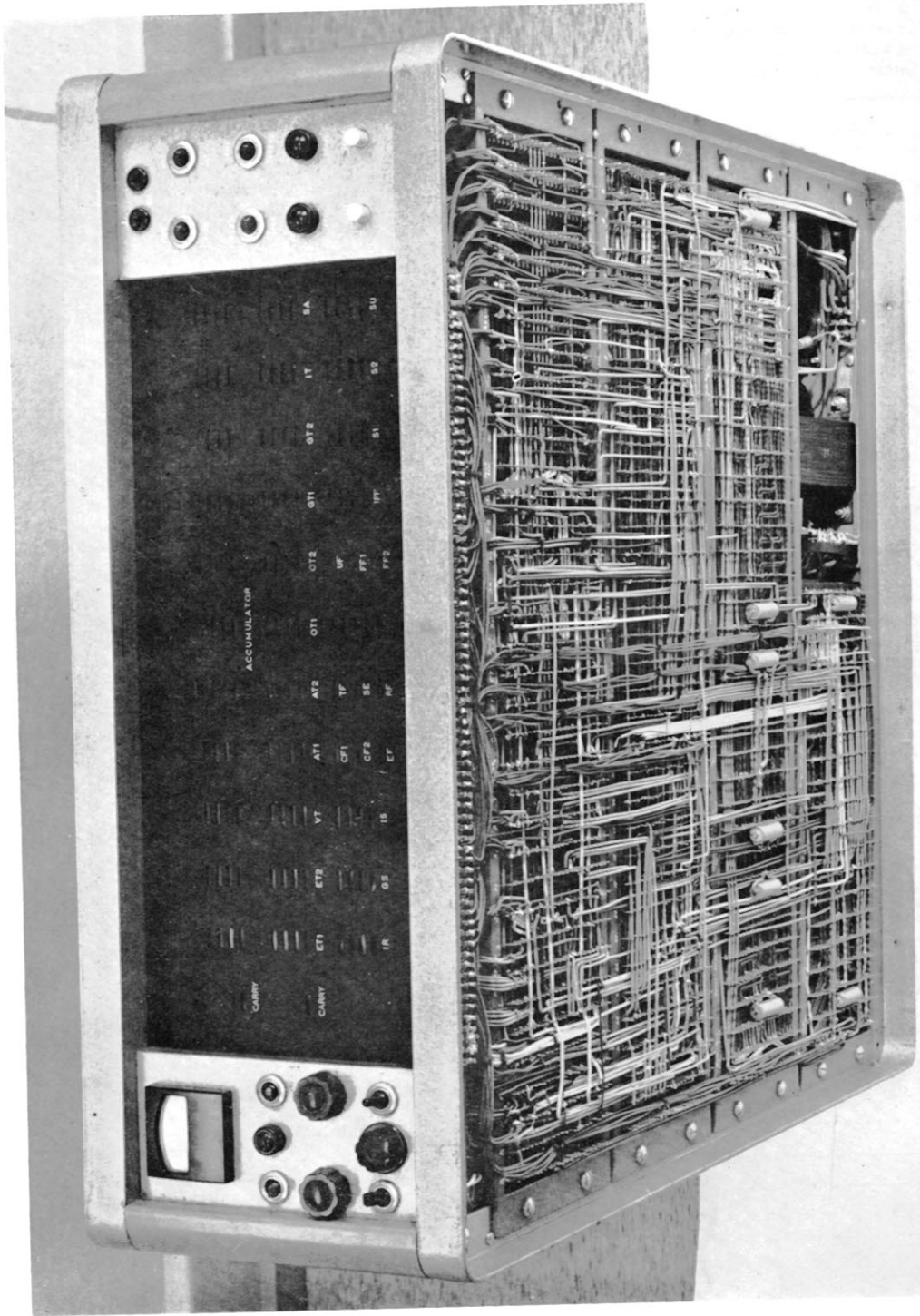
Une mantisse négative est représentée par son complément à 9. Le chiffre précédant la virgule décimale indique le signe (c'est-à-dire 0 pour positif et 9 pour négatif). Afin de distinguer les exposants positifs et les négatifs, l'exposant se compose de deux chiffres. Le premier représente le signe de l'exposant et le second la valeur absolue de son complément à 9 si l'exposant est négatif.

EXEMPLES :

+ 2378,94	=	+ ,237894 ↓ 0,237894 mantisse	×	10 ⁺⁴ ↓ 04 exposant
- 2378,94	=	-,237894 ↓ complément à 9 : 9,762105 mantisse	×	10 ⁺⁴ ↓ 04 exposant
+ 0,00237894	=	+ ,237894 ↓ 0,237894 mantisse	×	10 ⁻² ↓ complément à 9 97 exposant
- 0,00237894	=	-,237894 ↓ complément à 9 9,762105 mantisse	×	10 ⁻² ↓ complément à 9 97 exposant

Il va sans dire que lorsque deux nombres doivent être additionnés ou soustraits, les mantisses des deux nombres ne peuvent, en général, être additionnées ou soustraites. Cela est seulement possible lorsque les deux nombres ont le même exposant. Cette difficulté ne se présente pas lorsque les deux nombres sont à multiplier ou à diviser.

Afin de manipuler les exposants, une mémoire accumulatrice d'exposants, appelée compteur des exposants, est incorporée dans le groupe calculateur (voir la page 5). Cette mémoire tout comme celle des mantisses possède son sélecteur propre. Comme la description ci-dessus l'indiquait déjà, le compteur des exposants comprend seulement deux compteurs décimaux.



Vue du groupe calculateur où l'on distingue le panneau indicateur (en haut) et, au-dessus, l'ensemble du câblage

VII. — MISE EN MÉMOIRE DE NOMBRES

Le groupe calculateur est muni d'une unité d'emmagasinement (mémoire) dans laquelle l'information (nombres et instruction de service) doivent être logées, **temporairement**. On peut utiliser comme éléments de mémoire des flip-flops mais leur utilisation est peu économique si l'on doit enregistrer de nombreux signes binaires (bins). Une méthode qui ne présente pas cet inconvénient consiste à utiliser des noyaux magnétiques (tores miniatures de ferrocube) à boucle d'hystérésis rectangulaire, disposés dans une « matrice de coïncidence ».

La mémoire composée de tels noyaux est décrite ci-après.

Le noyau magnétique

Les noyaux magnétiques qui forment, par leur groupement, une mémoire ont une boucle d'hystérésis sensiblement rectangulaire (fig. 50).

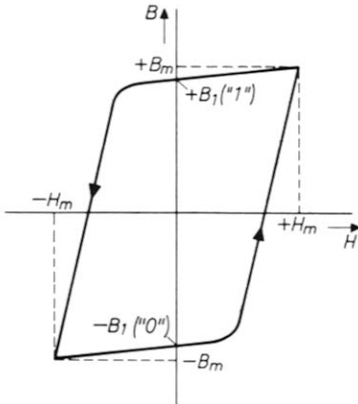


Fig. 50. — Boucle d'hystérésis du noyau magnétique.

Si un champ magnétique $+H_m$ est appliqué au noyau une densité de flux (induction) $+B_m$ se produit dans ce noyau. La valeur de B_m dépend des propriétés magnétiques de la matière employée. Lorsque le champ est réduit à 0, le noyau possède encore une induction rémanente ou rémanence $+B_1$. Un champ magnétique de signe opposé ($-H_m$) provoque aussi une inversion de signe du flux, d'où l'induction (densité de flux) varie de $+B_1$ à $-B_m$, comme le montre la figure 50. Si le champ est à nouveau supprimé, la densité de flux varie alors de $-B_m$ à $-B_1$. Ainsi, en l'absence d'un champ magnétique, la valeur de la densité du flux dans le noyau sera toujours soit $+B_1$, soit $-B_1$, à condition de circuler toujours sur la même boucle d'hystérésis.

Le noyau magnétique présente donc deux états stables en ce qui touche à la densité de flux et peut donc être utilisé pour enregistrer un signe binaire (bin). La valeur « 1 » est assignée à l'état $+B_1$ et la valeur « 0 » à l'état $-B_1$.

Comme organe binaire, le noyau présente l'avantage, par rapport au flip-flop, d'une consommation de puissance nulle dans ses deux états stables. Il présente toutefois l'inconvénient d'être un élément passif, incapable par lui-même de délivrer une impulsion de sortie.

Afin de faire passer (basculer) le noyau de l'état $+B_1$ à l'état $-B_1$, on fait circuler un courant I_m (en pratique, une impulsion de courant d'amplitude I_m), dans un fil traversant le noyau (voir la fig. 51). On choisit l'amplitude et le signe de I_m pour qu'ils donnent lieu à un champ magnétique $+H_m$. Une impulsion de courant de la même amplitude, mais dans la direction opposée, fait revenir le noyau à son état initial.

Une tension électromotrice est produite dans le fil. Elle est la conséquence de l'effet de bascule d'un état à l'autre du noyau. La grandeur de cette tension est déterminée par le taux de variation du flux $-d\phi/dt$. On tire avantage de cette propriété pour déterminer l'état du noyau à un instant donné (« lecture » ou « mise dans le sens » du noyau). Un fil séparé, appelé fil de lecture, décrit plus loin, est utilisé à cet usage, au lieu du fil d'écriture qui est parcouru par un courant.

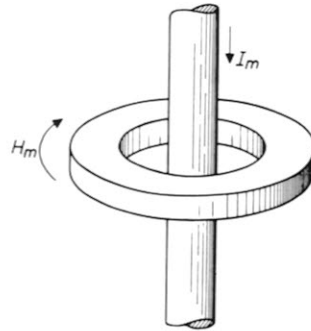


Fig. 51. — Dessin agrandi d'un noyau magnétique avec un fil pour le transport du courant d'aimantation I_m , traversant le noyau.

COINCIDENCE

Dans une matrice à tores de ferrite, les champs magnétiques, exigés pour la variation de l'état d'un noyau donné, sont produits par deux courants circulant dans deux fils séparés, les deux fils traversant le noyau (voir la fig. 52). Le courant dans chaque fil a une valeur $\frac{1}{2} I_m$, d'où l'effet combiné des deux courants est suffisant pour modifier l'état du noyau, mais un courant seul n'a pas d'effet sur la densité de flux en raison de la forme rectangulaire de la boucle d'hystérésis. On peut voir ce résultat en examinant la figure 53.

Lorsque le noyau est dans l'état de rémanence négative $-B_1$ (état 0), une impulsion positive de grandeur $\frac{1}{2} I_m$ lui fait tracer la boucle d'hystérésis de $-B_1$ à a et de nouveau à $-B_1$. Une impulsion d'amplitude deux fois plus grande ($+I_m$), par ailleurs, change l'état, d'une manière irréversible, de $-B_1$ à $+B_1$ (état 1) en passant par a et b . Un effet similaire est produit par des impulsions de courant négatives lorsque le noyau est dans l'état 1 ($+B_1$).

Lorsque le noyau est dans l'état 0, une impulsion de courant négative ($-\frac{1}{2} I_m$ ou $-I_m$) est pratiquement sans effet sur la

densité de flux, et, de façon similaire, une impulsion positive ($+\frac{1}{2} I_m$ ou $+ I_m$) laisse sans modification l'état d'un noyau s'il est, initialement, dans l'état 1.

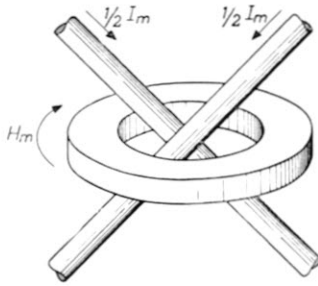


Fig. 52. — Coïncidence de deux courants $1/2 I_m$. Chacun de ces courants circule dans un fil séparé passant à travers le noyau.

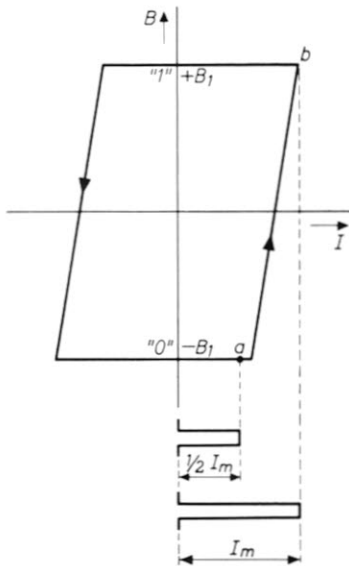


Fig. 54. — Effet d'une impulsion de courant complète (I_m) et de l'impulsion à demi-courant ($1/2 I_m$) sur la densité de flux dans le noyau magnétique.

Les données ci-dessus peuvent être résumées dans le tableau suivant :

Etat initial du noyau	Impulsion de courant	Etat résultant du noyau	Changement d'état
0	$+ I_m$	1	oui
0	$+ 1/2 I_m$	0	non
0	$- 1/2 I_m$	0	non
0	$- I_m$	0	non
1	$+ I_m$	1	non
1	$+ 1/2 I_m$	1	non
1	$- 1/2 I_m$	1	non
1	$- I_m$	0	oui

Ecarts avec le résultat idéal

Bien qu'une impulsion de courant $+ 1/2 I_m$ ou $- 1/2 I_m$ ne fasse pas varier l'état du noyau, elle provoque, en pratique, une petite modification permanente de la valeur de la densité de flux car la boucle d'hystérésis n'est pas parfaitement rectangulaire. On peut le voir à la figure 55, où les conséquences de l'application d'une telle impulsion de courant au noyau, dans l'état 0, peuvent être examinées. Lorsque le courant tombe à partir de sa valeur maximale, la densité de flux (induction) suit une boucle d'hystérésis plus petite, et retourne à une valeur $- B_1'$ qui est inférieure à $- B_1$. Cet état est appelé « état 0 troublé ».

Lorsqu'une impulsion $+ I_m$ est appliquée à ce noyau, afin de le modifier de $- B_1'$ à $+ B_1$, la variation de densité de flux sera plus faible que dans le cas de la densité de flux initiale, car elle était de $- B_1$. Ainsi une impulsion « à demi-courant » suscite une faible impulsion dans le fil de lecture tandis qu'un changement d'état dans un noyau troublé donne naissance à une tension électro-motrice dans le fil de lecture, plus petite que la valeur idéale. Afin que les impulsions de lecture « troublées » puissent se distinguer des impulsions de lecture exigées dans les cas défavorables, il faut que des exigences spéciales soient posées sur la « qualité » du rectangle approché de la boucle d'hystérésis.

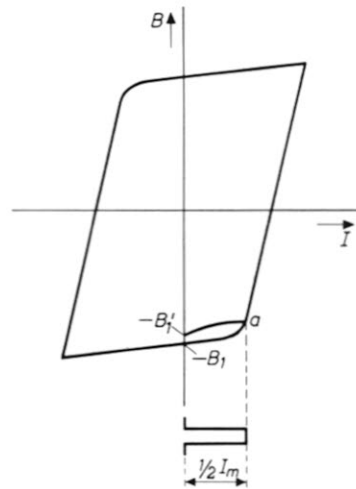


Fig. 55. — Ecart de la densité de flux rémanent qui résulte de l'application d'une impulsion à demi-courant à un noyau ne présentant pas une boucle d'hystérésis idéale.

Principe de la matrice de coïncidence

Comme on l'a déjà vu, un nombre binaire (bin) peut être mis en mémoire dans un noyau magnétique. Comme avec les flip-flops, par conséquent, il faut un nombre minimal de quatre noyaux pour enregistrer un chiffre décimal; $4 n$ noyaux sont nécessaires pour un nombre de n chiffres et $4 mn$ noyaux sont nécessaires pour emmagasiner m nombres de n chiffres. Les mémoires pour nombres de ce groupe calculateur peuvent contenir 12 nombres de 13 chiffres (y compris le signe et l'exposant). Une telle mémoire doit donc contenir $4 \times 12 \times 13 = 624$ noyaux. Ces noyaux sont répartis en quatre matrices identiques, chacune comprenant 12×13 noyaux.

Ainsi chaque groupe de quatre noyaux correspondants représente un chiffre décimal et chaque jeu de quatre colonnes correspondantes représente un nombre décimal (voir la fig. 56).

Une matrice de groupe est formée d'un réseau de fils isolés : 12 fils horizontaux et 13 verticaux, avec un noyau de ferrite à chaque intersection de deux fils (fig. 57). On ne voit sur cette figure que trois fils horizontaux (Y_1, Y_2 et Y_3) et trois verticaux (X_1, X_2 et X_3).

Lorsqu'une impulsion de courant $+\frac{1}{2}I_m$ est émise simultanément à travers les fils X_1 et Y_1 , un courant total I_m circule à travers le noyau N° 1 — (à l'intersection de X_1 et de Y_1). Des courants de $+\frac{1}{2}I_m$ seulement circulent à travers les autres noyaux à travers lesquels ces fils passent (c'est-à-dire les N°s 2, 3, 4 et 7) et aucun courant ne circule à travers les noyaux restants.

Si tous les noyaux sont, initialement, dans l'état 0, la coïncidence des courants dans X_1 et Y_1 va provoquer le changement d'état à 1 du seul noyau N° 1. Un même raisonnement peut s'appliquer à tous les autres noyaux.

Afin de changer l'état d'un noyau quelconque de 0 à 1, des courants de $+\frac{1}{2}I_m$ doivent être appliqués aux fils horizontal et vertical qui passent à travers le noyau en question.

Un troisième fil, le fil de lecture, est tendu diagonalement à travers la matrice. Il est marqué **R** dans la figure 57. Les impulsions de tension induites dans le fil de lecture sont employées à l'indication du changement d'état d'un noyau. Puisque le fil de lecture est tramé comme on le voit sur la

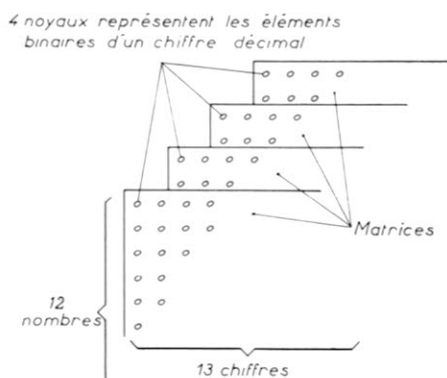


Fig. 56. — Disposition des noyaux magnétiques sur quatre panneaux de matrices de mémoire.

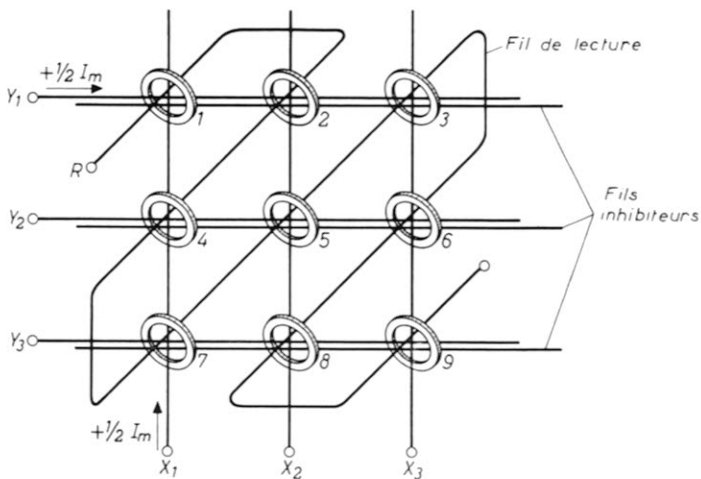


Fig. 57. — Mode de tissage des différents fils dans une matrice à coïncidence.

figure, les faibles impulsions de « trouble » qui proviennent des noyaux à travers lesquels circule une impulsion de courant $+\frac{1}{2}I_m$, peuvent complètement, ou presque complètement, se compenser mutuellement.

Etant donné qu'un seul noyau par matrice de groupe est lu à un instant donné, deux ou plusieurs impulsions de lecture, de taille normale, ne peuvent jamais s'annuler par compensation mutuelle. Il est exact, d'après le mode de tissage du fil de lecture, que la polarité de l'impulsion lue dépend de la position du noyau dans la matrice de coïncidence et de l'état du noyau, mais on tient compte de cela dans la construction de l'amplificateur auquel le fil de lecture est relié (voir page 18).

Mais, d'autres fils (fils inhibiteurs) sont tendus à travers les noyaux dans une direction horizontale. Leur rôle est décrit à la page 17 (1).

Sélection des noyaux

Nous allons maintenant décrire la sélection des fils horizontal et vertical appartenant à un noyau donné sur la matrice. Pour simplifier, on ne considérera que la sélection des fils horizontaux dans le « sélecteur de lignes », car les fils verticaux sont sélectionnés par un procédé identique, dans le « sélecteur de colonnes ». Le montage de sélection des fils (horizontaux) employé dans le groupe calculateur est celui de la figure 58. Les fils horizontaux passant à travers les noyaux sont numérotés de 1 à 12. Ces douze fils sont répartis en quatre groupes de trois, chaque groupe est doté de deux contacteurs.

Les contacteurs S_0 et S'_0 desservent le premier groupe (fils 1, 2 et 3), etc. Deux contacteurs par groupe sont nécessaires pour la circulation du courant dans les fils, dans les deux directions. Les diodes D_1 à D_{12} et D'_1 à D'_{12} sont incorporées dans le montage. Elles évitent la circulation des courants sur des trajets erronés.

Les fils correspondants des quatre groupes sont reliés entre eux sur le côté droit (1,4,7,10 et 2,5,8,11 et 3,6,9,12). Il y a donc trois bornes sur le côté droit, chacune d'elles desservant quatre fils. Chaque borne est reliée à la source de courant à travers les deux contacteurs (un pour chaque direction du courant) (2).

Un seul des contacteurs de gauche (les contacteurs de « groupe ») et un seul des contacteurs de droite (les contacteurs « individuels ») sont fermés à un instant quelconque.

Dans ces circonstances, un courant circule sur un seul fil, dans une direction définie. Ainsi, par exemple, lorsque S_3 et S'_3 sont fermés, un courant circule le long du fil 11, de droite à gauche, tandis qu'un courant passe de gauche à droite le long du fil 4, si S_1 et S'_1 sont fermés. La fermeture simultanée d'un contacteur de groupe marqué d'un S' et d'un contacteur individuel sans S' , ou inversement, ne laisse circuler aucun courant.

La construction des dispositifs commutateurs

Chaque dispositif commutateur (voir les schémas de la fig. 58) comprend un transistor qui peut être conducteur ou bloqué. Un dessin plus détaillé des commutateurs S_2 , S'_2 , S_B et S'_B est donné à la figure 59. On y voit aussi les

(1) Une matrice de coïncidence est sensible seulement en raison de la courbe d'hystérésis rectangulaire des noyaux. S'il n'avait pas cette caractéristique, chaque noyau devrait recevoir une fourniture individuelle de courant et le noyau magnétique n'offrirait plus alors d'avantage comme élément de mémoire par comparaison avec le flip-flop.

(2) En principe, un contacteur par borne serait suffisant mais les montages commutateurs à transistors utilisés dans la machine à calculer permettent seulement la circulation unidirectionnelle. Un contacteur-commutateur à deux positions peut être obtenu, cependant, si l'on utilise des transistors symétriques.

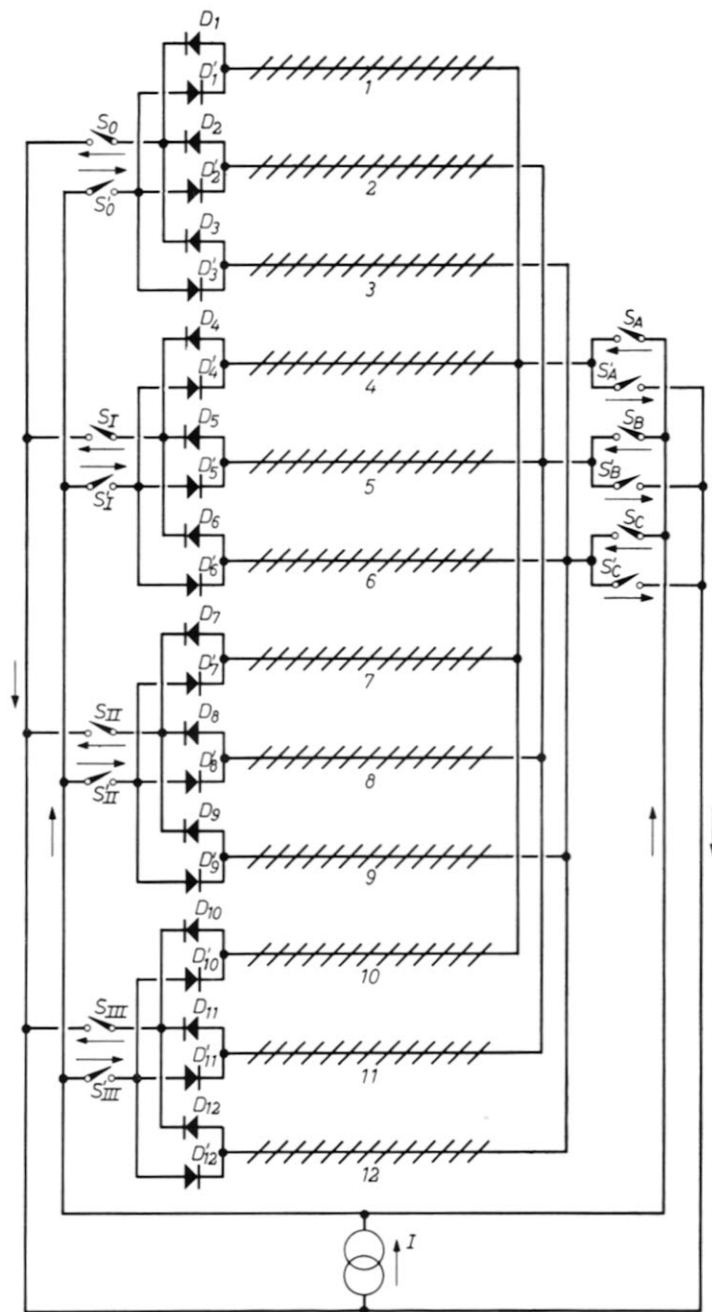


Fig. 58. — Système de sélection des fils (horizontaux).

dispositions de montage qui permettent la circulation d'un courant dans le fil n° 8, dans les deux directions.

Les transistors commutateurs T_1 à T_4 (OC 139) sont du type N-P-N. Ils peuvent fournir un courant de collecteur maximal de 250 mA et leur fréquence de coupure est $f_\alpha = 3,5$ MHz. Chaque transistor est relié directement à un transistor d'attaque OC47. La tension de base de l'étage d'attaque détermine la conduction ou le blocage du transistor commutateur. L'émetteur du transistor OC47 est relié, à travers une résistance, à une source de tension positive afin d'obtenir les niveaux de tension exigés (0 et — 5 V) aux bases des transistors commutateurs. L'émetteur de T_5 est relié à celui de T_8 et l'émetteur de T_6 est relié à celui de T_7 .

La tension de la base de chaque transistor OC47 est déterminée par la tension de sortie de la porte « ET », comprenant

trois diodes (D_{1a} , D_{1b} et D_{1c} dépendant de T_5 ; D_{2a} , D_{2b} , D_{2c} dépendant de T_6 , etc.). Deux des trois tensions d'entrée de **tous** les contacteurs de groupe sont déterminées par le sélecteur de groupe P_1 , qui comprend deux flip-flops reliés en cascade. FF_1 et FF_2 sont reliés aux portes « ET » des contacteurs de groupe, sensiblement comme les flip-flops le sont au SÉLAC. Ainsi sur chaque position du sélecteur de groupe, deux diodes de chacun des deux commutateurs correspondants (par exemple, S_2 et S'_2 de la fig. 59) sont à un faible niveau. Si P_1 est dans la position 2, les diodes D_{1a} , D_{1b} , D_{2a} et D_{2b} sont à un faible niveau. Si D_{1c} , ou D_{2c} , est aussi à un faible niveau, S'_2 ou S_2 , respectivement, se ferment. Ces derniers niveaux de tension sont déterminés par le flip-flop « ÉCRITURE-LECTURE » FF_5 . Le collecteur du transistor de gauche de ce flip-flop est relié aux troisièmes diodes « portes » de tous les contacteurs de groupe distingués

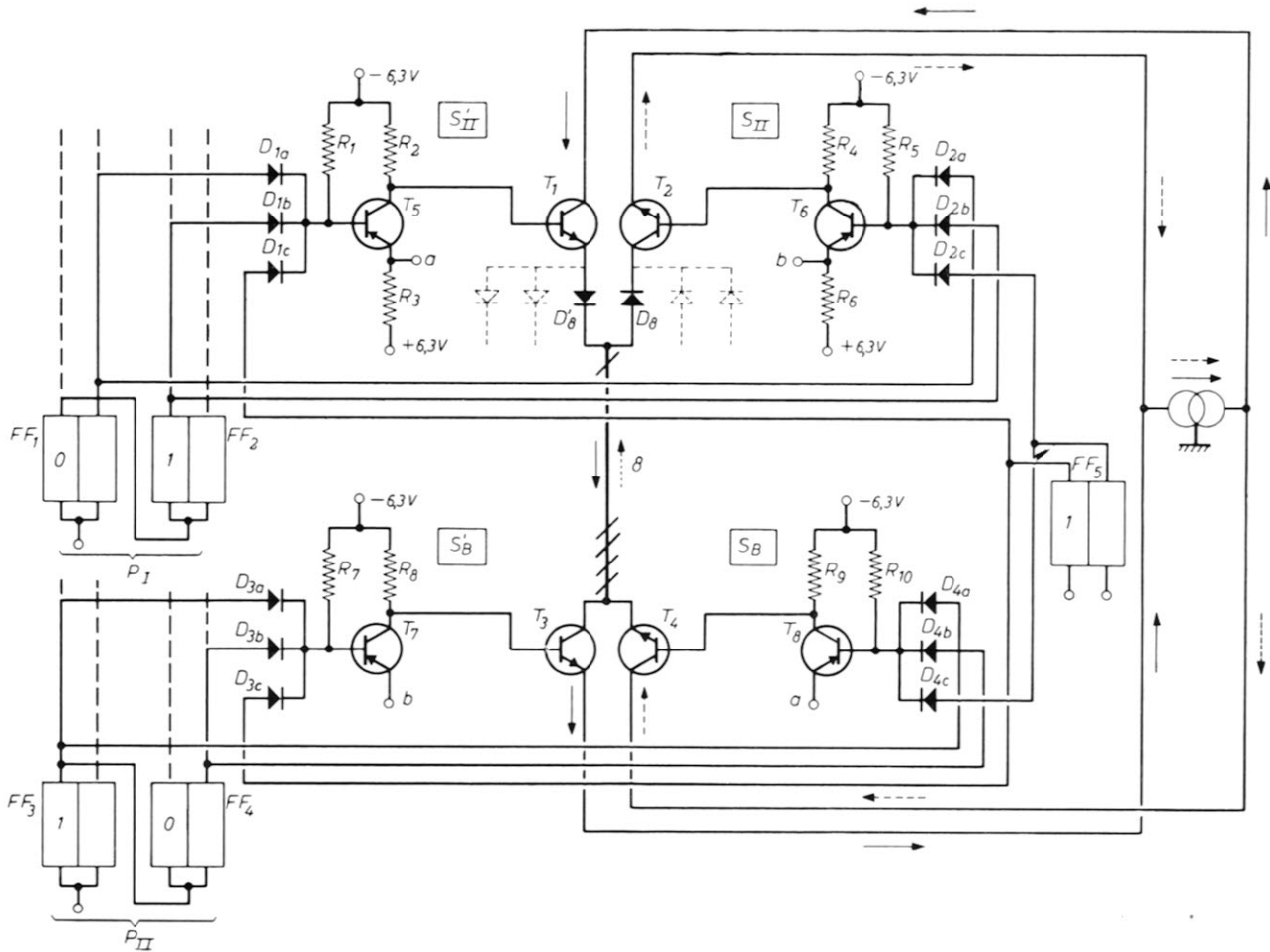


Fig. 59. — Construction et mode de commande du circuit de commutation.

par des S' . Le collecteur du transistor de droite est relié aux diodes des contacteurs « sans S' ».

La fermeture d'un commutateur de groupe donné dépend de deux causes :

- 1) l'état du sélecteur de groupe P_I qui choisit une paire de commutateurs correspondants,
- 2) l'état du flip-flop FF_5 qui distingue, dans le choix, les contacteurs à S' de ceux qui n'en ont pas.

En d'autres termes, le flip-flop « lecture-écriture » détermine la direction de circulation du courant dans le contacteur de groupe. Chaque position de P_I combinée à chaque position de FF_5 ouvre donc un, et un seul contacteur de groupe.

Le contacteur individuel qu'il faut ouvrir est choisi, précisément, de la même manière que le contacteur de groupe : la paire appropriée de contacteurs est choisie par le sélecteur individuel P_{II} et le flip-flop « lecture-écriture » est commun aux deux jeux de contacteurs. C'est une disposition pleine de bon sens car les contacteurs de groupe et individuel choisis doivent permettre, tous deux, la circulation du courant dans la même direction. Ainsi, dans la figure 59, le contacteur de groupe S'_2 et le contacteur individuel S'_b sont fermés simultanément car les diodes D_{1c} et D_{3c} sont reliées au collecteur du transistor de gauche de FF_5 , qui est à bas niveau. Les commutateurs S_2 et S_b sont donc ouverts puisqu'ils sont connectés au collecteur du transistor de droite de FF_5 .

Détails de construction de la matrice

En réalité, la disposition pratique des noyaux de la matrice est totalement différente de ce qu'indiquait la figure 57, afin d'avoir des connexions aussi courtes que possible entre les différents groupes de matrices et un fil d'inhibiteur de petite longueur. L'axe de chaque noyau est perpendiculaire aux axes des quatre noyaux supérieurs les plus voisins (fig. 60). La direction des impulsions de courant « d'écriture » (flèche pleine de la fig. 60) est de gauche à droite et de haut en bas pour tous les fils à numéros pairs tendus horizontalement, et respectivement, verticalement (1).

Les impulsions de courant sur le fil inhibiteur doivent donc circuler dans la direction inverse de celles dans le fil « d'écriture ». D'après la disposition des noyaux, **le fil inhibiteur peut être tissé en zigzag** dans les noyaux (1). Cela reste vrai pour les groupes de matrices impairs, voir la figure 61.

Les noyaux correspondants des autres groupes de matrice sont entrelacés par les mêmes fils X et Y mais chaque groupe de matrices a son fil de « lecture » propre et son fil inhibiteur propre. Les fils X et Y sont tissés en zigzag dans les groupes de matrices alternés, comme le fil inhibiteur. Ainsi, le courant sur le même fil, dans deux groupes de matrices adjacents, circule dans des directions opposées. Donc, le courant inhibiteur doit aussi circuler de même, dans deux groupes adjacents.

(1) Cela s'applique aux groupes impairs de la matrice; voir la figure 61.

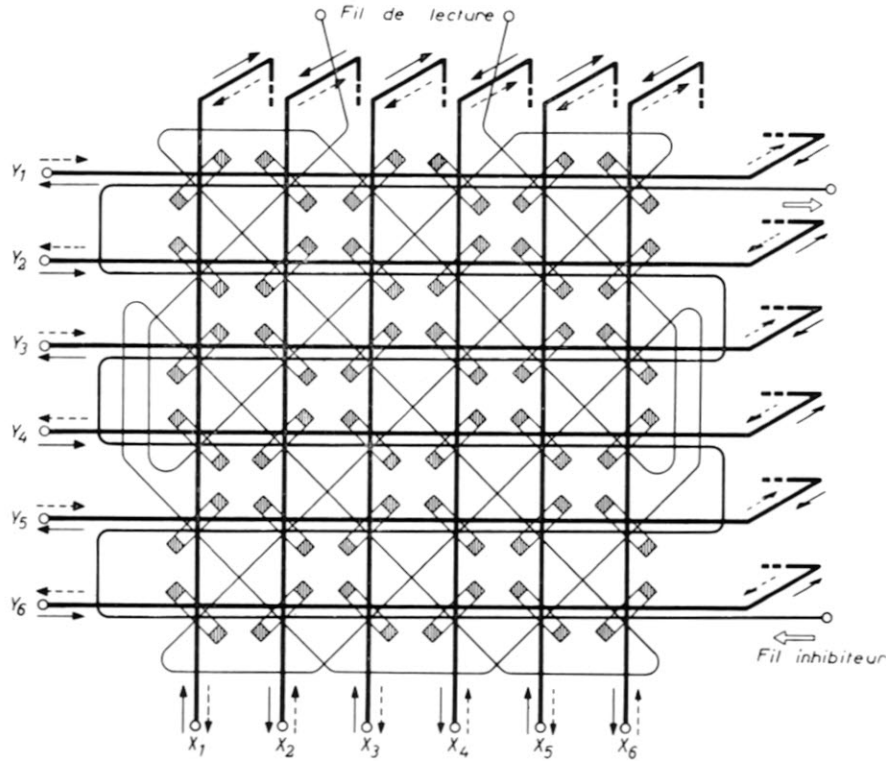


Fig. 60. — Disposition réelle des noyaux et des fils dans la matrice de mémoire.

La figure 61 indique la disposition des fils de « lecture » X et Y, les fils inhibiteurs et les fils de lecture des quatre noyaux dans quatre groupes de matrices. Les noyaux marqués K_1 à K_4 sur le dessin représentent le lieu d'enregistrement des quatre chiffres d'un nombre binaire, correspondant à un nombre décimal. Les fils d'écriture sont X et Y, tandis que R_1 à R_4 et L_1 à L_4 sont les fils de « lecture » et, respectivement, les fils inhibiteurs des matrices M_1 à M_4 .

Les impulsions de tension produites dans les fils de « lecture » R_1 à R_4 par les variations d'état des noyaux sont appliquées aux amplificateurs A_1 à A_4 , respectivement. Les impulsions de sortie de ces amplificateurs sont négatives indépendantes de la polarité des impulsions lues. On applique ces impulsions de sortie aux bases de quatre flip-flops couplés, du compteur de mémoire. C'est un compteur décimal dont les flip-flops peuvent aussi être déclenchés séparément par les impulsions de sortie des amplificateurs de lecture. Ce déclenchement est seulement employé à faire varier l'état des flip-flops de 0 à 1.

Les contacteurs S_1 à S_4 qui déterminent quels sont les fils inhibiteurs où un courant doit circuler sont essentiellement semblables aux contacteurs de groupe et individuels S_Y , S_X et S'_Y , S'_X , respectivement. La position des contacteurs S_1 à S_4 est déterminée par les niveaux sur les collecteurs (c') des transistors de gauche des flip-flops correspondants (FF1 à FF4); ils sont ouverts lorsque le flip-flop correspondant est sur la position 1 et fermés lorsqu'il est sur 0.

Transport du compteur de mémoire à la mémoire

Nous supposons que le compteur de mémoire contient le nombre 5 à transférer, à l'emplacement d'emmagasinage formé par les noyaux K_1 à K_4 . Les fils X et Y doivent donc être sélectionnés, et les noyaux doivent être, au début, à l'état 0. Les positions du flip-flop dans le compteur de mémoire sont les suivantes : FF1 : 1, FF2 : 0, FF3 : 1, FF4 : 0 (correspondant au nombre binaire 0101 = 5). Les tensions

sur les collecteurs des transistors de gauche, c' , de ces flip-flops sont telles que S_2 et S_4 sont fermés, S_1 et S_3 étant ouverts.

Une impulsion F est alors utilisée pour mettre en marche les sources de courant N_X , N_Y et N_I . Une impulsion de courant $+\frac{1}{2} I_m$ circule dans les fils X et Y et une impulsion de courant $-\frac{1}{2} I_m$ dans les fils inhibiteurs des groupes de matrices M_2 et M_4 . (Le signe du courant inhibiteur indique qu'il est dans le sens inverse du courant dans le fil Y.) Les sens de ces impulsions sont indiqués par les flèches pleines de la figure 7-11.

Ainsi, le courant total dans les noyaux K_1 et K_3 est égal à $+I_m$ ($+\frac{1}{2} I_m$ venant de X, et le même courant venant de Y)

tandis que le courant total dans K_2 et K_4 est de $+\frac{1}{2} I_m$ seu-

lement (c'est-à-dire $2 \times \frac{1}{2} I_m$ de X et Y, et $-\frac{1}{2} I_m$ de L_2 et L_4 , respectivement). K_1 et K_3 vont donc changer d'état, de 0 à 1, tandis que K_2 et K_4 restent dans l'état 0. Le chiffre 5 est donc représenté par un nombre binaire dans les noyaux $K_1 \dots K_4$, comme nous le désirions. Afin d'éviter que le contenu du compteur de mémoire soit perdu, en raison du changement d'état décrit des noyaux, les amplificateurs ($A_1 \dots A_4$) sont rendus insensibles pendant la durée de cette opération.

Transport de la mémoire vers le compteur de mémoire

Lorsqu'un nombre donné enregistré dans la mémoire, doit être lu, c'est-à-dire transféré dans le compteur de mémoire, on applique la méthode qui va être décrite. Nous supposons que les noyaux ($K_1 \dots K_4$) contiennent le chiffre décimal 5 sous la forme d'un nombre binaire.

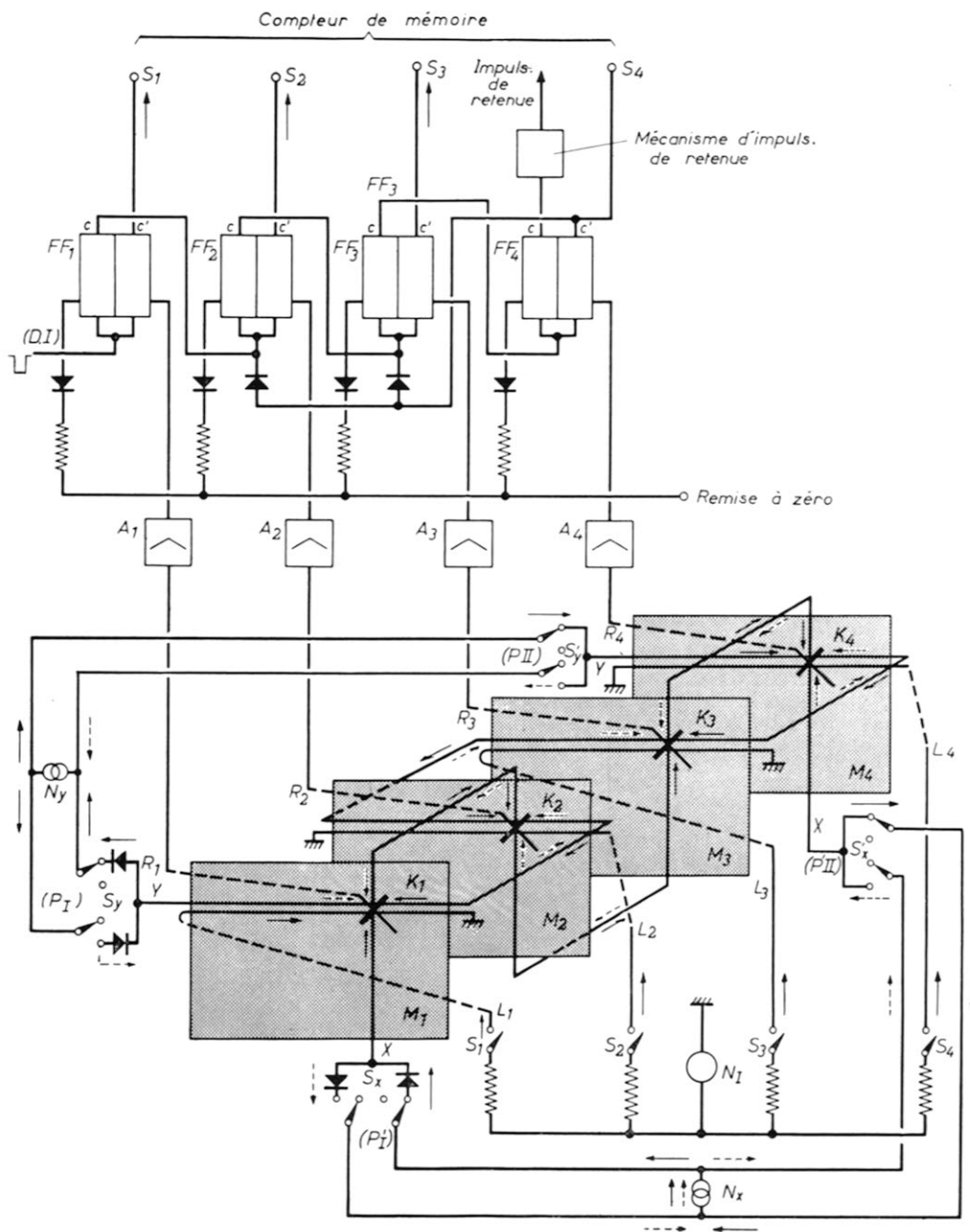


Fig. 61. — Représentation schématique de la mémoire complète.

Le compteur de mémoire est d'abord remis à zéro à réception d'une impulsion G. Une information quelconque qui pouvait se trouver dans ce compteur est donc perdue.

Les noyaux ($K_1 \dots K_4$) sont sélectionnés par les contacteurs de groupe et individuels et l'impulsion H, suivante, est employée à placer le flip-flop lecture-écriture sur la position de « lecture ». Les conditions des contacteurs S_x, S_y, S'_x, S'_y sont alors l'inverse de celles décrites dans le paragraphe précédent et les courants peuvent circuler dans les directions indiquées par les flèches en pointillés de la figure 61.

Une impulsion B est employée pour mettre en service les sources de courant N_x et N_y . Les impulsions de courant circulent donc dans les fils X et Y, dans les directions indiquées

par les flèches en pointillés. Les noyaux ($K_1 \dots K_4$) reçoivent une impulsion de courant I_m . Les noyaux K_1 et K_3 se modifient de 1 à 0, tandis que K_2 et K_4 restent à 0. La variation de flux dans K_2 et K_4 induit **une impulsion** dans le fil de « lecture ». Elle déclenche les flip-flops FF1 et FF3 de 0 à 1. Le nombre, précédemment logé dans la mémoire, est alors transféré dans le compteur de mémoire (0101 = 5).

Transport périodique et automatique de la mémoire au compteur de mémoire, et retour

Les opérations décrites dans les deux paragraphes précédents se produisent en réalité, automatiquement, dans le groupe calculateur, d'où, dans chaque cycle complet du générateur de trains d'impulsions, un nombre est lu dans la

mémoire puis de nouveau écrit dans cette mémoire. Le tableau ci-dessous indique les états des divers organes du « mécanisme » d'écriture-lecture en fonction de la position dans le cycle du générateur de trains d'impulsions. Nous supposons que le nombre initialement contenu dans la mémoire est p .

Le flip-flop « lecture-écriture » est mis sur la position de lecture à l'aide d'une impulsion H et sur la position d'écriture par une impulsion C.

Une impulsion B met en service les sources de courant N_x et N_y , d'où des impulsions de courant sont transmises sur les fils X et Y dans les directions voulues pour « lire » les noyaux. Le contenu de l'emplacement sélectionné de la mémoire est alors transféré au compteur de mémoire tandis que l'emplacement de mémoire en question devient libre.

Impulsion	du flip-flop lecture-écriture	NX et NY	NI	Contenu du compteur de mémoire	Contenu de la mémoire
A	lecture	—	—	0	p
B	lecture	actifs	—	p	0
C	écriture	—	—	p	0
10 D, 9 E	écriture	—	—	p	0
F	écriture	actifs	actif	p	p
G	écriture	—	—	0	p
H	lecture	—	—	0	p

Une impulsion F met en service les sources de courant N_x et N_y et la source de courant inhibiteur N_i , d'où le contenu du compteur de mémoire est transféré, **de nouveau**, dans la mémoire.

Une impulsion C a renversé, dans l'intervalle, la direction du courant dans les fils X et Y et ils sont, à ce moment, sur la position « écriture ».

Le nombre en question, logé maintenant à la fois dans la mémoire et dans le compteur de mémoire, est extrait ensuite de ce compteur par une impulsion G.

Après une impulsion H, on revient à la situation initiale.

Loger un chiffre dans la mémoire et y reprendre un chiffre

Nous voyons dans le tableau ci-dessus que le contenu de la mémoire se trouve dans le compteur de mémoire lorsque se produisent les impulsions D. On emploie cette particularité d'état pour transporter ce nombre dans un autre compteur ou pour le remplacer par un autre dans le compteur de mémoire.

Afin de reprendre un nombre logé dans la mémoire, dix impulsions D sont appliquées au compteur de mémoire et l'impulsion de retenue est injectée à l'unité de transport d'information, reliée au compteur dans lequel est écrit le nombre en provenance de la mémoire. On utilise le même procédé, mais en sens inverse, pour loger un nombre dans la mémoire. Les impulsions de sortie de l'unité de transport d'information sont injectées à l'entrée du compteur de mémoire. Ce compteur a été préalablement remis à zéro par une impulsion C. Le contenu initial de la mémoire, qui a été éliminé par une impulsion B, est donc remplacé par le nouveau nombre qui est transporté du compteur de mémoire à la mémoire par une impulsion F.

L'amplificateur de lecture

Chaque groupe de matrices comporte son amplificateur de lecture (fig. 62). Le fil de lecture est relié aux bornes d'entrée L à gauche de la figure.

Le premier étage de ce montage est un amplificateur symétrique en classe B, auquel vient s'appliquer l'impulsion de lecture par un transformateur d'entrée à secondaire

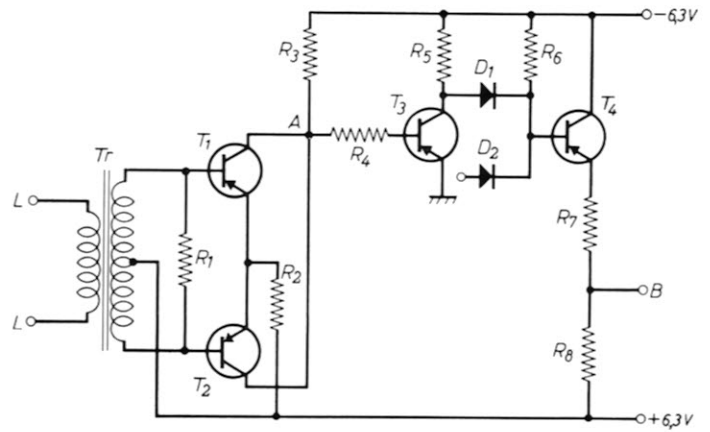


Fig. 62. — Montage des amplificateurs de lecture d'impulsions.
 $R_1 = 3,3 \text{ k}\Omega$ $R_6 = 12 \text{ k}\Omega$
 $R_2 = 18 \Omega$ $R_7 = 330 \Omega$
 $R_3 = 2,7 \text{ k}\Omega$ $R_8 = 1,5 \text{ k}\Omega$
 $R_4 = 18 \text{ k}\Omega$
 $R_5 = 2,7 \text{ k}\Omega$
 $T_1 - T_4 : \text{OC } 47$
 $D_1 - D_2 : \text{OA } 79$

symétrique T_r . Le primaire du transformateur étant formé de 18 spires et le secondaire de 2×180 spires, on a un gain de tension de dix.

Ainsi, la faible impédance du fil de lecture se trouve adaptée à l'impédance d'entrée de l'amplificateur. La polarité de l'impulsion de lecture détermine si T_1 est actif ou si T_2 l'est; dans les deux cas l'impulsion de sortie sur R_3 (résistance commune de collecteur) est positive.

La résistance commune d'émetteur (R_3) stabilise le point de fonctionnement des transistors et exerce également un effet de contre-réaction sur le signal à amplifier. La valeur moyenne de l'impulsion de lecture est de 50 mV environ. Ainsi, une impulsion de 11 V, environ, est obtenue sur la résistance commune de collecteur R_3 (point A). Bien que ce signal soit largement suffisant pour le déclenchement d'un flip-flop, on l'applique au second étage de l'amplificateur dont le rôle est de limiter la perturbation due aux demi-impulsions de lecture. Nous allons en expliquer les causes. Sur la position d'« ATTENTE », T_1 et T_2 sont pratiquement au blocage. Leur tension de collecteur (au point A) est sensiblement égale à la tension d'alimentation, de $-6,3 \text{ V}$ dans ce cas. L'impulsion qui apparaît en A, lors d'une lecture, a la forme indiquée en haut de la figure 63. La crête b est l'impulsion de lecture désirée tandis que la partie a est due aux noyaux lus à moitié. La résistance de collecteur de T_3 (R_5) a une valeur de $2,7 \text{ k}\Omega$. Avec une tension d'alimentation de $-6,3 \text{ V}$, T_3 est à la saturation de courant pour un courant de base $I_b > 30 \mu\text{A}$.

La valeur de R_4 étant de $18 \text{ k}\Omega$, cela signifie qu'une tension quelconque en A inférieure à $-0,5 \text{ V}$, sensiblement, sera sans effet sur le courant de collecteur de T_3 . Dès que la tension en A devient positive, T_3 est bloqué et les tensions positives n'exercent pas d'influence non plus sur le courant de collecteur.

Ainsi, la forme d'onde du courant de collecteur est celle indiquée au bas de la figure 63, l'impulsion de demi-lecture est complètement supprimée par le fonctionnement en limiteur du montage, tandis que l'impulsion désirée est pratiquement rectangulaire et d'une amplitude de 5 V, environ. Les niveaux de tension de 0 et -5 V qui sont présents dans cette impulsion sont identiques à ceux généralement utilisés dans le groupe calculateur. Ainsi, le collecteur de T_3 peut être directement relié à la porte « ET » $D_1 - D_2$. Si le niveau d'entrée de D_2 est faible, l'impulsion de lecture sera transmise à l'étage à émetteur chargé T_1 . Comme nous le disions au chapitre 1, la borne de sortie B est ainsi reliée, à travers une diode, directement à la base d'un transistor d'un flip-flop. Le niveau d'entrée de D_2 reste élevé lorsque les nombres s'inscrivent dans la mémoire.

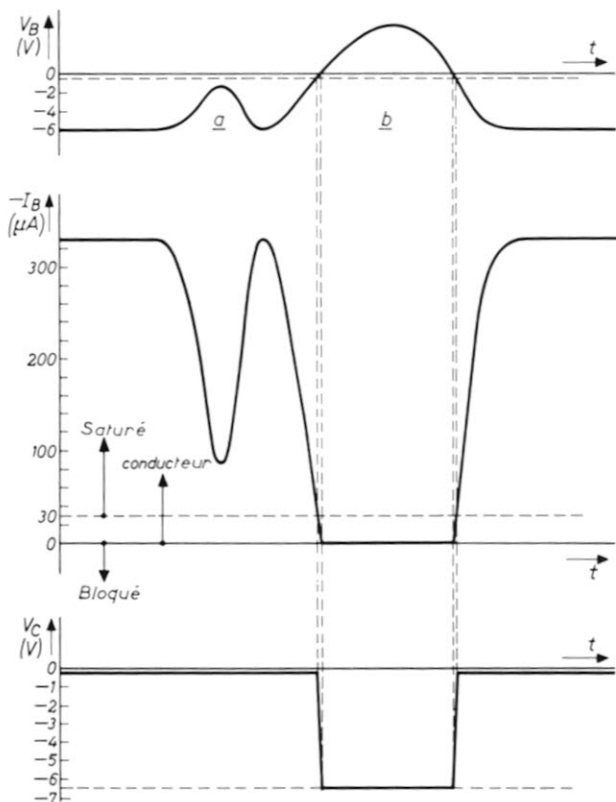


Fig. 63. — Formes d'onde de la tension de la base, du courant de la base et du courant de collecteur de T_3 dans la fig. 7-12.

A ce moment, l'amplificateur ne donne pas d'impulsion de sortie.

La mémoire des instructions

Le groupe calculateur contient une mémoire à noyaux magnétiques séparée pour les instructions. Une instruction complète comprend trois chiffres, le premier correspond à l'opération à entreprendre et les deux autres sont des adresses. Une instruction est, par exemple, donnée sous la forme : « multiplier le contenu de la mémoire à la place 1 par le contenu de la mémoire à la place 5 ». L'opération à effectuer est, dans ce cas, une multiplication. Ce n'est pas, en réalité, sur le groupe calculateur, une seule opération : la combinaison des fonctionnements d'unités qui interviennent pour accomplir cette opération compliquée, est connue sous le nom de « sous-programme ». Le groupe est capable d'exécuter dix sous-programmes de ce genre. Chacun entre en jeu sur un seul ordre et deux autres sont commandés à l'intérieur de l'appareil. Le numéro de code pour le sous-programme « MULTIPLICATION » est 3. Le code pour l'instruction complète indiquée plus haut est donc 315.

Comme la mémoire des nombres possède 12 places, 10 d'entre elles pouvant être sélectionnées à l'extérieur, chaque adresse peut être représentée par l'emploi de quatre noyaux magnétiques puisque $12 < 2^4$. De même, chacun des douze sous-programmes peut être représenté par quatre noyaux magnétiques.

La mémoire des instructions consiste en quatre matrices de 12×13 , comme la mémoire des nombres, et le même sélecteur est utilisé pour choisir les noyaux individuels des deux mémoires. La méthode réelle de sélection est entièrement différente dans deux cas particuliers. En effet, une instruction est beaucoup plus courte qu'un nombre (3 et 13 chiffres, respectivement) et cela constituerait un gaspillage

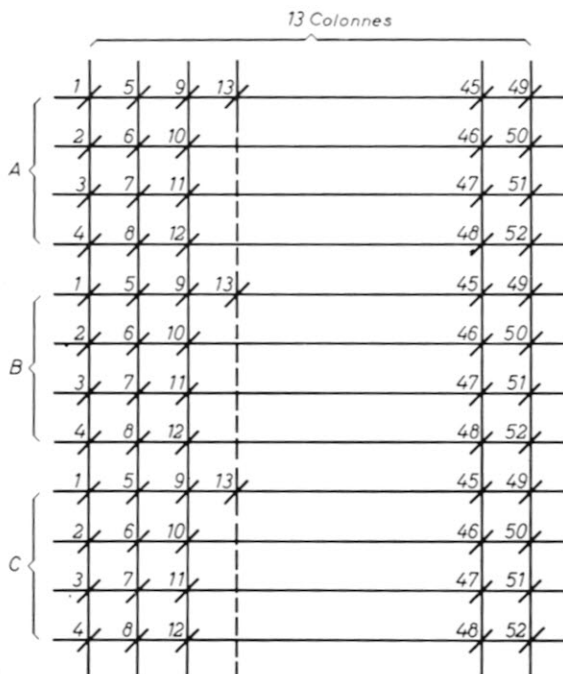


Fig. 64. — Répartition des fonctions des noyaux magnétiques dans la mémoire des instructions.

d'utiliser une rangée horizontale et une colonne verticale de noyaux pour une seule instruction. Les douze rangées horizontales de chaque matrice sont donc réparties en trois groupes (imaginaires) A, B et C de quatre rangées chacun (voir la fig. 64). Chaque instruction complète occupe alors les positions des matrices A_n , B_n et C_n (où $n = 1, 2, 3$, etc.); quatre instructions peuvent être logées par ligne verticale de matrice (1).

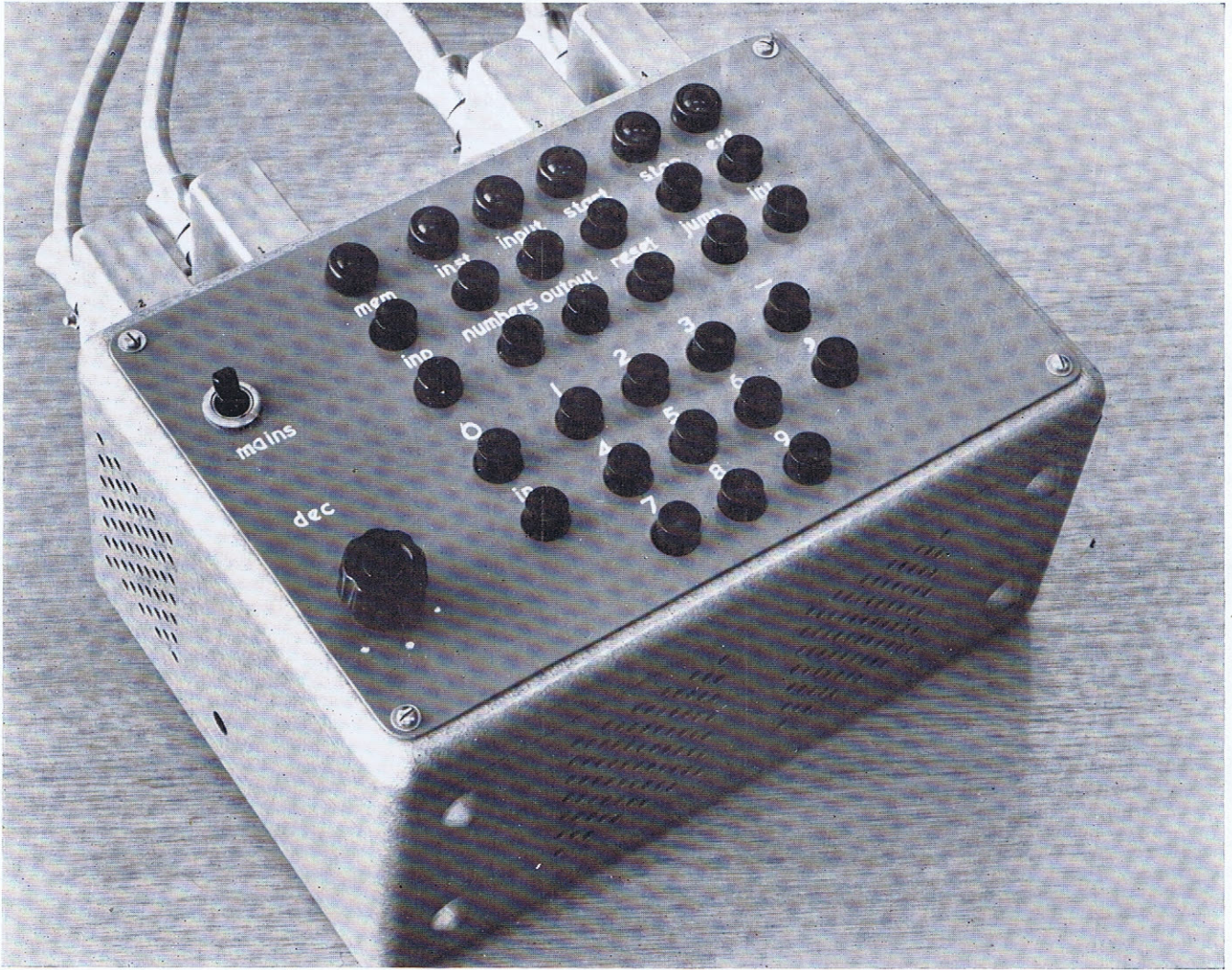
Les quatre matrices 12×13 peuvent donc emmagasiner 52 instructions complètes.

Sélection dans la mémoire des instructions

Afin d'écrire ou de lire une instruction unique, les noyaux A_n , B_n et C_n doivent être sélectionnés **successivement**. La méthode employée est semblable à celle appliquée pour la mémoire des nombres, sauf que le sélecteur de lignes horizontales saute trois places chaque fois qu'il est déclenché. Cela est obtenu simplement en appliquant l'impulsion d'entrée au troisième flip-flop du sélecteur de rangées au lieu du premier; chaque impulsion appliquée au sélecteur le fait avancer de $2^2 = 4$ places. Durant la lecture de la mémoire des instructions, le contenu de la mémoire est appliqué à travers les amplificateurs au compteur de mémoire des instructions, comme cela est fait pour la mémoire des nombres.

La mémoire des instructions est lue automatiquement, et en même temps que la mémoire des nombres. Toutefois, lorsqu'une nouvelle information est appliquée à la mémoire des nombres, le cycle écriture et lecture de la mémoire des instructions n'est pas influencé. De même, une nouvelle instruction peut être appliquée à la mémoire des instructions sans modifier le contenu de la mémoire des nombres.

(1) On peut obtenir par d'autres moyens ce même résultat, mais le procédé décrit correspond à une méthode de sélection relativement simple.



Unité pour l'établissement manuel du programme du groupe calculateur

mains → secteur

stop → arrêt

input → entrée
reset → remise à 0

numbers output → sortie nombres
jump → saut

start → démarr.

Les schémas publiés sont donnés sans garantie quant à leur protection éventuelle par des brevets.

Le Gérant : R. GONDRY

C^{IE} DES PRODUITS ÉLÉMENTAIRES POUR INDUSTRIES MODERNES

Services Comm^x et Magasins : 7, passage Charles Dallery - PARIS-XI^e

Téléphone : VOLtaire 18-50

Usine à EVREUX

R. C. Evreux 55 B 74