50376
1960
32

50376
1960
32

UNIVERSITÉ DE LILLE

FACULTÉ DES SCIENCES

DIPLOME D'ÉTUDES SUPÉRIEURES

de Sciences Physiques

BIBLIOTHÈQUE INTERUNIVERSITAIRE
SECTION DE SCIENCES
LILLE

CONCEPTION ET RÉALISATION D'UNE MÉMOIRE RAPIDE A TORES MAGNÉTIQUES

Commission d'Examen :

Président : M. GABILLARD

Examinateurs : M. LEBRUN

M. WERTHEIMER

Présenté à Lille en Décembre 1960

par Vincent CORDONNIER

Ingénieur I. S. E. N. - Licencié ès Sciences Physiques

Le sujet de ce travail m'a été proposé par Monsieur Norbert SEGARD, directeur de l'Institut Supérieur d'Electronique du Nord. Il a été effectué sous sa direction dans les laboratoires de l'Institut.

Qu'il veuille bien trouver, ici, l'expression de toute ma gratitude.

Je remercie Monsieur GABILLARD, Monsieur LEBRUN et Monsieur WERTHEIMER de la bienveillance avec laquelle ils ont suivi ce travail dont ils ont accepté de former le jury.

Je tiens à remercier aussi la Compagnie I.B.M. FRANCE et la COPRIM pour l'aide matérielle qu'elles m'ont fournie.

Que Messieurs NUSBAUMER, ingénieur à la Compagnie I.B.M. FRANCE, et OEMICHEN, ingénieur à la Compagnie Française THOMSON-HOUSTON, professeurs à l'ISEN, veuillent bien trouver, ici, l'expression de ma reconnaissance pour les conseils qu'ils m'ont donnés et l'aide qu'ils m'ont apportée.

INTRODUCTION

L'exposé se compose de trois parties distinctes.

La première est consacrée à la présentation de la mémoire, aux principes mis en oeuvre et à la conception logique des organes.

La seconde partie concerne plus particulièrement l'exposé des dispositifs et des montages employés et la réalisation des circuits.

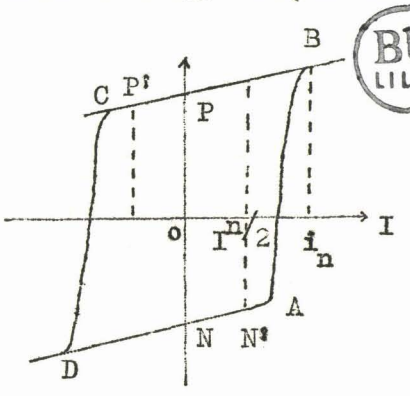
La dernière partie, enfin, est consacrée aux possibilités d'extension ultérieure de la mémoire et à diverses spécifications technologiques.

PRINCIPES GENERAUX

Une mémoire à tores magnétiques est un organe capable de contenir des informations qu'on lui a données, pour pouvoir les restituer quand on le lui demande.

L'intérêt de ce type de mémoire est de pouvoir restituer l'information en un temps très court, de l'ordre d'une dizaine de microsecondes, au prix, il est vrai, d'une capacité assez limitée.

Les tores magnétiques à cycle carré qui constituent l'élément essentiel de l'appareil, sont susceptibles d'occuper deux états d'équilibre stables, repérés sur le cycle d'hystérésis par les points P et N.



BU LILLE

On est donc conduit à adopter comme système de numération pour les chiffres à enregistrer dans la mémoire le système de numération binaire et de faire correspondre les nombres I et 0 à chacun des deux états stables possibles.

Les tores magnétiques sont groupés sous la forme d'une matrice plane de dix lignes et dix colonnes. Chaque ligne et chaque colonne est traversée par un fil ; un autre fil traverse, de plus, tous les tores en diagonale.

On considère deux types de cycles :

- LE CYCLE RECTANGULAIRE : si nous appliquons à un tore une impulsion de courant supérieure ou égale à I_n, le point représentatif va décrire soit N A B P, soit P C D N ; dans les deux cas, on dit que le ferrite a basculé.

L'impulsion que l'on peut recueillir aux bornes d'un fil qui traverse le tore a une amplitude de quelques dizaines de milli-volts et une durée de l'ordre de 10 microsecondes.

- LE CYCLE MINEUR : si on applique à un tore des impulsions de courant $I_n/2$, le point représentatif décrit soit N N' N, soit P P' P. L'impulsion délivrée est une impulsion parasite ; son amplitude est notablement inférieure à celle du cycle rectangulaire.

Si l'on applique à un tore une impulsion de courant I_n, qui tend à l'amener dans l'état où il se trouve déjà, l'impulsion parasite délivrée dans le fil de lecture sera du même ordre de grandeur que l'impulsion parasite du cycle mineur.

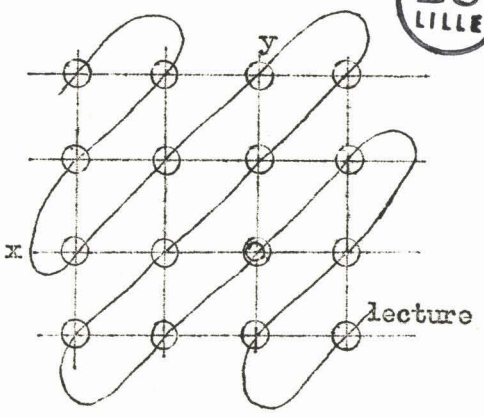
MEMOIRE MATRICIELLE

L'utilisation des tores en ferrite se fera plus commodément si l'on peut se rendre maître de l'état d'un tore en faisant appel à un minimum d'organes de commande.

Supposons qu'à l'instant initial, le tore considéré se trouve dans l'état représentatif du zéro. L'impression d'un I dans ce tore se fera en envoyant une impulsion de sens convenable, d'amplitude I_n, de manière à faire basculer le ferrite.

Au moment de la lecture, on envoie une impulsion de sens contraire. Le point représentatif décrit à nouveau le cycle en envoyant une impulsion de lecture dans le fil approprié.

BU LILLE



On va trouver, dans une matrice de ferrites :

.des fils servant à la fois à l'inscription et à l'interrogation, reliant les tores de la même horizontale ou verticale ;

.un fil parcourant tous les ferrites et servant à recueillir les impulsions dues au basculement.

Si l'on veut impressionner le tore (X, Y), on lance des courants $I_n/2$ dans l'horizontale X et dans la verticale Y.

Le ferrite (X, Y), soumis à 2 X $I_n/2$, bascule ; les autres ferrites des lignes X et Y parcourent un cycle mineur et reviennent à leur état initial.

On procède de la même façon pour lire l'information contenue dans un ferrite (X', Y'), en envoyant des demi-courants de sens contraire dans les fils X' et Y'.

Les autres ferrites parcourus par des courants $- I_n/2$ parcourent des cycles mineurs et délivrent des impulsions parasites, mais le montage en diagonale du fil de lecture permet la compensation statistique de ces impulsions et l'on en recueille au maximum une, ce qui n'est pas gênant.

Une mémoire à matrice de ferrites, comportant n^2 tores, comportera donc n fils verticaux, n fils horizontaux et un fil en diagonale qui traverse toutes les ferrites et qui recueille l'information contenue dans le tore sélecté.

Il faut donc adjoindre à la matrice de tores 2 n organes de commande d'impulsions et un amplificateur sélectif, capable de séparer les impulsions parasites des impulsions qui correspondent au basculement des ferrites.

PRINCIPE D'UTILISATION ET DE FONCTIONNEMENT

CYCLE DE LA MACHINE

La mémoire fonctionne en séquences, c'est-à-dire que les tores sont interrogés les uns après les autres, dans un ordre déterminé.

Un cycle complet comportera donc cent cycles élémentaires, chacun de ces cycles élémentaires correspondant aux opérations faites sur un ferrite.

Un additionneur est connecté à la mémoire et permet de faire la somme de deux nombres A et B, inscrits dans la mémoire.

Pour simplifier le montage, nous avons choisi d'employer un additionneur série, c'est-à-dire que les puissances de 2 de même ordre pénètrent simultanément dans l'unité de calcul et que le résultat de l'opération est aussitôt transféré en mémoire tandis que la retenue, si elle existe, est conservée pour le cycle suivant.

Ce type d'additionneur ne comportera donc que deux éléments de travail : une unité logique, capable de faire l'addition de deux nombres binaires à un seul chiffre, et une unité de mémoire intermédiaire, capable éventuellement de conserver la retenue de l'addition et de la restituer au cycle suivant.

Cette disposition entraîne un arrangement particulier des deux chiffres A et B dans la mémoire. Il faut, en effet, que les puissances de même ordre de A et de B parviennent en même temps dans l'additionneur ou tout au moins pendant le même cycle de calcul.

Un cycle de calcul comportera donc :

1. Transfert des deux nombres de puissance N des chiffres A et B dans l'organe de calcul.
2. Addition binaire de ces nombres.
3. Transfert du résultat dans la mémoire.
4. Transfert de la retenue éventuelle dans l'additionneur.
5. Transfert de la mémoire vers l'additionneur de deux chiffres de A et B de puissance N + I...

Comme on ne dispose, en fait, que d'un seul fil de lecture dans la matrice de tores, la lecture simultanée de deux chiffres de même puissance est impossible.

On peut, cependant, parvenir au même résultat, en utilisant des mémoires intermédiaires à tubes capables de conserver, pendant un certain temps, les chiffres qui ont été lus dans la mémoire et de les restituer à l'organe d'addition au moment voulu.

CYCLE REEL DE FONCTIONNEMENT

Comme nous l'avons montré, le cycle de calcul correspond à la lecture des contenus de deux tores et à la réinscription dans un troisième du résultat après calcul.

Pratiquement, les deux nombres A et B ne jouent pas exactement le même rôle :

- Après lecture, le nombre A sera transféré à nouveau, tel quel, en mémoire dans les mêmes tores qu'avant.

- Le nombre B ne sera pas renvoyé en mémoire. On inscrira à sa place le nombre A + B.

Nous aurons donc en mémoire, au début les deux nombres A - B, puis, après un cycle complet, A - B + A ; après un second cycle A et A + 2 B ; etc.

Ceci permet de faire l'économie d'un tore, le tore qui contiendra le résultat étant le même que celui qui contenait précédemment l'un des chiffres à additionner.

DISPOSITION DES CHIFFRES DANS LA MEMOIRE

Les tores sont lus en séquences, c'est-à-dire à la suite les uns des autres. Donnons à chacun un numéro. On appelle ce numéro : l'adresse du tore. Les adresses seront formées dans l'ordre croissant, depuis 1 jusqu'à 100.

Pour que les deux chiffres de même puissance des nombres A et B parviennent à l'additionneur, aussi près que possible l'un de l'autre dans le temps, il faut qu'ils occupent des adresses voisines. Ceci nous conduit à adopter, pour les deux nombres A et B, la disposition suivante dans la matrice :

- les chiffres de A occuperont les adresses impaires, les chiffres de B les adresses paires ; les chiffres de même puissance des deux nombres occupant des adresses voisines.

- en appelant A^n et B^n les chiffres de la puissance N de 2 des nombres A et B, nous aurons :

ADRESSES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	etc.
CHIFFRES	A^0	B^0	A^1	B^1	A^2	B^2	A^3	B^4	A^5	etc.

Pour que l'addition puisse s'effectuer correctement, il faut que les puissances de 2 des deux nombres A et B soient lues dans l'ordre croissant, de façon que les retenues de chaque addition soient additionnées avec les chiffres de la puissance supérieure.

Le cycle de fonctionnement peut se déduire de ces différentes considérations. Si nous en faisons l'analyse, complète, nous trouvons :

1. Formation de l'adresse 1.
2. Lecture du contenu de l'adresse 1 : A^0.
3. Transfert du contenu de cette adresse dans le registre de mémoire intermédiaire.
4. Réinscription du contenu du registre de mémoire intermédiaire dans le tore d'adresse 1 et transfert de cette même quantité dans l'additionneur.
5. Formation de l'adresse 2.
6. Lecture du contenu de l'adresse 2 : B^0.
7. Transfert de B^0 directement dans l'additionneur.
   L'addition se fait, comme nous le verrons plus tard, par simple transfert des données dans l'additionneur, sans qu'il soit besoin de prévoir une commande supplémentaire.
8. Transfert du résultat de l'addition dans le tore d'adresse 2.
9. Transfert de la retenue, si elle existe, du registre de retenue à l'additionneur.
10. Formation de l'adresse 3.

    etc...

Nous voyons que ce cycle de fonctionnement se décompose en 9 parties élémentaires. Mais certaines parties du cycle se répètent deux fois lors des opérations successives comme la lecture du contenu d'un tore ou la réinscription d'un résultat dans ce tore. De même, un cycle de calcul comporte deux avances du registre de formation d'adresses.

Pour cette raison, nous serons amené à prendre, comme cycle élémentaire de la machine, la moitié du cycle de calcul.

Ce cycle élémentaire comportera :

1. L'avance d'une unité du registre d'adresses.
2. La lecture du contenu de l'adresse formée et le transfert dans l'organe convenable.

3. La réinscription du résultat soit du registre intermédiaire, soit de l'additionneur dans le tore correspondant à l'adresse formée.

Les autres opérations se feront à partir de ces trois opérations fondamentales et les aiguillages, selon qu'il s'agit d'un chiffre de A ou de B, pourront être commandées par la parité de l'adresse.

Il faut enfin noter que la sélection des tores se fait de façon très simple puisque chaque nouvelle adresse se déduit de la précédente en ajoutant une unité à cette dernière.

Pour une même adresse, on a toujours le même cycle : lecture, puis écriture.

DESCRIPTION DE LA MATRICE

La matrice que nous avons réalisée comportait 100 tores groupés en 10 lignes et 10 colonnes. Comme le montre la figure de la page 10, le câblage n'est pas tout à fait identique à celui que nous avons indiqué lors du rappel des principes fondamentaux.

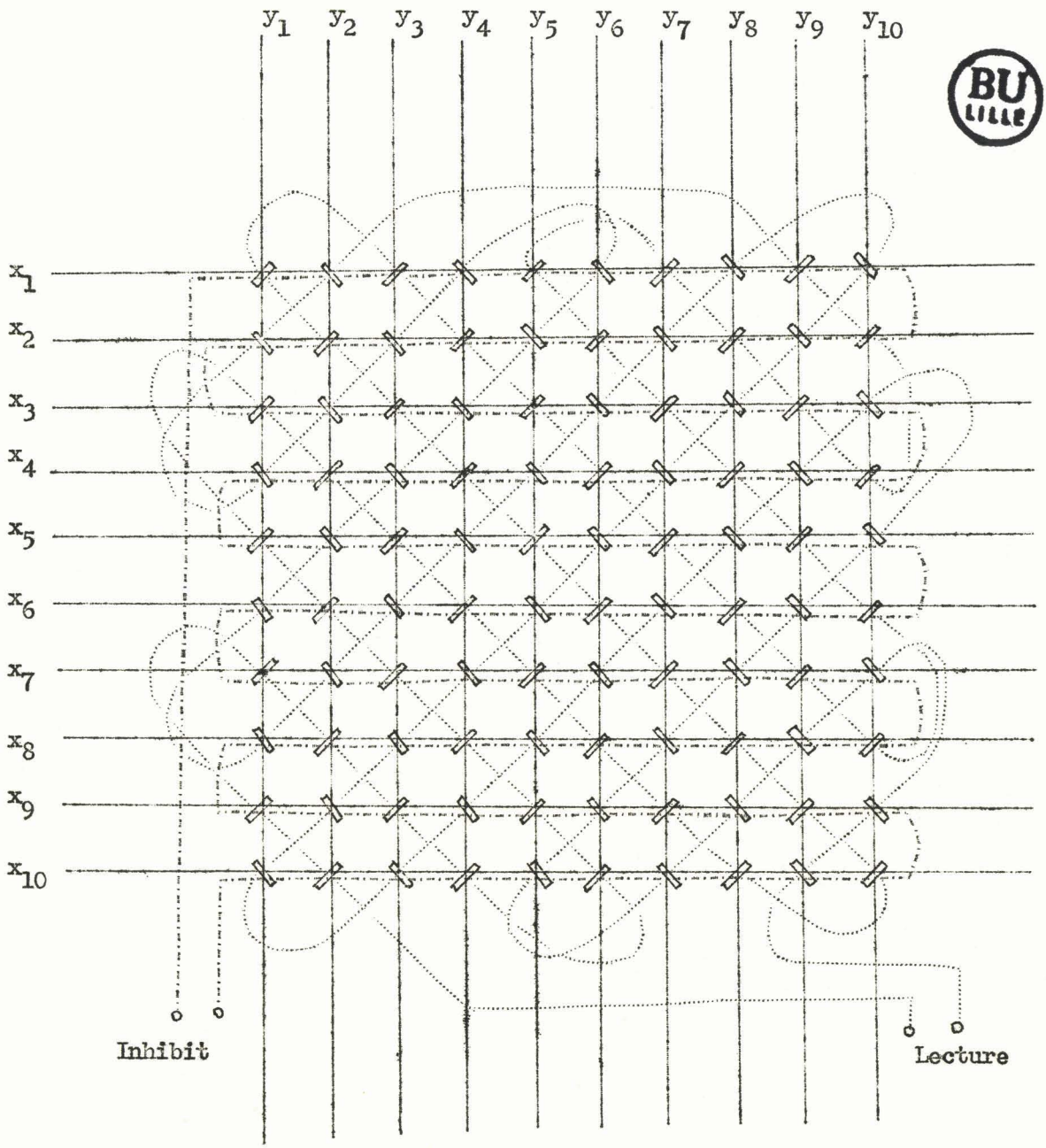
Le fil de lecture est long car il doit traverser tous les tores. Il forme donc une boucle qui peut être le siège de forces électromotrices parasites induites par des champs magnétiques extérieurs. Pour éliminer ce phénomène, le câblage est fait de telle sorte que ce fil de lecture présente deux boucles tournant en sens inverse. Les forces électromotrices induites dans chaque boucle seront de sens inverse et s'annuleront.

Pratiquement, les axes de symétrie des tores se présentent alternativement suivant chacune des diagonales de la matrice. Le fil de lecture traverse d'abord dans un sens tous les tores orientés dans un sens, puis en sens inverse les tores orientés suivant l'autre diagonale.

Cette disposition entraîne une modification du sens des impulsions de lecture et d'écriture; suivant l'orientation du tore, l'impulsion d'écriture doit se faire dans un sens ou dans l'autre.

PLAN DE CABLAGE DE LA MATRICE A TORES

Fils ———— : inscription et interrogation
Fil ..... : lecture
Fil -.-.-.- : inhibit



BU LILLE

Nous avons disposé, de plus, un fil qui traverse tous les ferrites en suivant les fils horizontaux alternativement dans un sens puis dans l'autre, de telle façon qu'il soit toujours en opposition avec le courant des fils horizontaux. Ce fil est nommé "inhibit" et sert à empêcher l'inscription d'un digit, quand on le désire.

Le support de la matrice est en plexiglass. Le choix du diamètre des fils de lecture est un compromis entre les facilités de câblage qui exigent un diamètre faible et les pertes joule qui échauffent le cuivre et risquent de faire fondre le vernis isolant.

PRINCIPAUX ORGANES DE LA MACHINE

Nous avons vu comment se décomposait le cycle de fonctionnement de la mémoire et nous avons introduit, au fur et à mesure, les organes dont le besoin se faisait sentir.

Nous allons revenir, maintenant, plus en détail sur chacun d'eux.

- La mémoire proprement dite a été décrite en détail plus haut.

- Les organes de puissance capables de délivrer le demi-courant nécessaire au basculement des tores sont au nombre de 40,20 pour les fils horizontaux et 20 pour les fils verticaux.

- L'unité de sélection d'adresse, qui commande ces organes de puissance, doit sélecter, en séquence, les uns après les autres, chacun des tores.

- L'unité de calcul, qui comporte l'additionneur proprement dit et deux registres de mémoire intermédiaires, l'un pour la retenue éventuelle, l'autre pour conserver le chiffre venant de A en attendant que soit lu celui qui doit venir de B.

- L'horloge, qui est chargée de délivrer, au moment voulu et à l'organe voulu, les impulsions de commande nécessaires à son fonctionnement.

- Il faut, de plus, prévoir un certain nombre d'organes de contrôle et de commande :

.inscription initiale des chiffres dans la mémoire,

.dispositif d'avance pas à pas pour cette inscription et pour le contrôle en fin de calcul des résultats inscrits dans la mémoire,

.compteur de cycles.

⁂

La première partie de l'exposé portera sur la constitution logique de ces différents organes et sur les liaisons qui existent entre eux. La seconde sur la réalisation électronique des circuits logiques nécessaires.

L'ADDITIONNEUR BINAIRE

Les deux nombres qui sont enregistrés dans la mémoire ne jouent pas le même rôle. L'un, que nous nommerons A, est renvoyé dans la mémoire après lecture sans subir de transformation, l'autre est lu dans la mémoire puis additionné à A avant d'être inscrit à nouveau.

Nous avons vu que les digits représentant les deux nombres sont disposés alternativement dans la mémoire ; les digits de A occupent les tores d'adresses impaires, les digits de B les tores d'adresses paires. Il faudra que l'additionneur puisse connaître la parité de l'adresse d'où proviennent les digits qui lui sont transmis par l'amplificateur de lecture.

Cette indication peut lui être fournie par la bascule d'entrée de la chaîne de balayage, qui fonctionne en diviseur par deux. Si cette bascule est "off", il s'agit d'une adresse impaire ; si elle est "on", il s'agit d'une adresse paire.

Si l'adresse est impaire, le digit sera réinscrit dans la mémoire pendant le cycle d'écriture qui suit immédiatement la lecture après avoir été transmis à un registre de mémoire intermédiaire.

Si le digit provient d'une position de mémoire d'adresse paire, il sera transmis directement à l'additionneur et sera ajouté au digit du nombre A correspondant et à la retenue éventuelle du cycle précédent. On aura donc à additionner trois digits binaires ; il pourra donc y avoir une retenue. Cette retenue sera conservée dans un registre de mémoire, pour être utilisée au cycle suivant, tandis que le résultat de l'addition, modulo 2, sera transmis par le cycle d'écriture suivant, dans la mémoire, à l'adresse qui contenait, avant l'addition, le digit de B.

Comme la mémoire contient 100 positions, on peut faire en un cycle l'addition de deux nombres de 50 chiffres, ce qui correspond, en gros, à quinze chiffres décimaux.

PREMIERE PARTIE

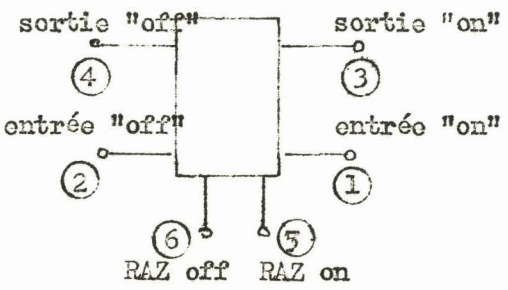
CONSTITUTION LOGIQUE DE LA MACHINE

Il est impossible de parler de logique pure sans faire, au moins, allusion aux dispositifs électroniques employés, car c'est la nature de ces éléments qui dicte, dans une certaine mesure, le choix d'un système logique.

Nous parlerons donc, dans cette première partie, de dispositifs électroniques, mais nous nous contenterons de les considérer d'un point de vue purement qualitatif.

CHOIX DE LA LOGIQUE

Comme nous travaillons exclusivement en système numérique binaire, nous adopterons, comme élément logique fondamental, le multivibrateur bistable ou Eccles-Jordan.



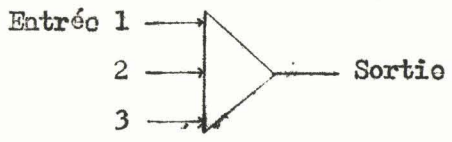
Nous représenterons le bistable par le schéma équivalent, représenté sur la figure ci-contre.

Bornes 1 et 2 : entrées "on" et "off"

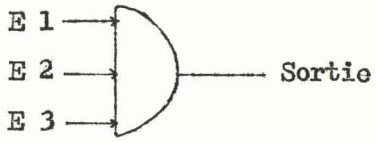
Bornes 3 et 4 : sorties "on" et "off"

Bornes 5 et 6 : remise à zéro "on" et "off".

Nous aurons aussi besoin de mettre en oeuvre des circuits "et" et des circuits "ou", que nous schématiserons, comme l'indiquent les figures ci-dessous.



Circuit "et"



Circuit "ou"

BU LILLE

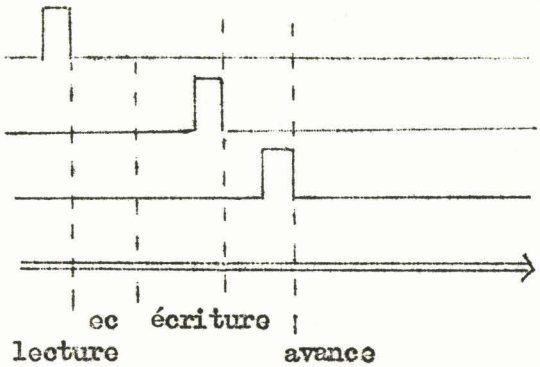
Les autres éléments de circuits que nous serons amené à représenter dans le schéma logique de l'appareil, seront définis au fur et à mesure qu'ils apparaîtront.

Nous aurons, en particulier :

- .des cathodes followers
- .des tubes de puissance pour la commande des tores
- .des tubes d'amplification et de mise en forme sur le circuit de lecture
- .des multivibrateurs monostables, chargés de délivrer des impulsions étalonnées
- .des transformateurs d'impulsions.

LE CIRCUIT D'HORLOGE

Nous avons vu que le fonctionnement de la mémoire faisait appel à trois impulsions différentes :



Timing de l'horloge

- .la lecture
- .l'écriture
- .l'avance

Ces impulsions de hauteur et de durée définies sont délivrées chacune sur une ligne et à des instants déterminés, comme l'indique le schéma ci-contre du "timing".

L'oscillation initiale peut être fournie soit par un générateur interne à résistance capacité ou un multivibrateur, soit par une source de fréquence quelconque, extérieure à la machine. La valeur de la fréquence de l'horloge sera prise aussi grande que possible tout en conservant une marge de sécurité de fonctionnement importante. Nous déterminerons cette fréquence dans la seconde partie, en fonction des éléments employés.

L'onde ainsi définie est envoyée sur une bascule de Schmidt, qui délivre, à la même fréquence, un signal carré qui constituera le signal de base de l'horloge.

Nous appellerons ce signal : maître oscillateur ou MO et le signal déduit de ce dernier, par inversion des tensions : maitre oscillateur inversé, que nous représenterons par $\overline{MO}$.

PRINCIPE DU FONCTIONNEMENT DE L'HORLOGE

Le signal MO servira d'une part à commander les fonctions diverses de la machine et conduira lui-même un dispositif d'aiguillage dans le temps permettant de diriger ce signal MO dans l'une des trois directions déjà définies.

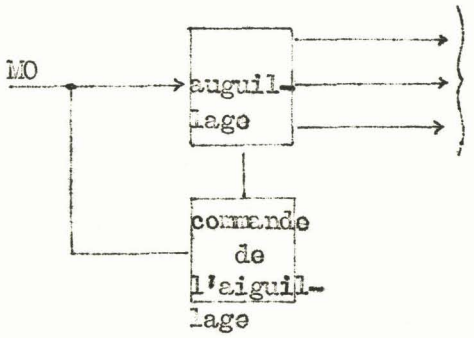


Schéma de principe de l'horloge

Cette horloge doit pouvoir recevoir sur son entrée des signaux de fréquences très différentes, mais doit distribuer aux organes de la machine des impulsions de commande de formes et de durées données. C'est le temps qui s'écoule entre chacune de ces impulsions qui varie avec la fréquence appliquée à l'entrée.

Il faut, de plus, prévoir le départ et l'arrêt de l'horloge à des moments déterminés. Il semble logique, par exemple, d'arrêter la mémoire au moment où un cycle général vient d'être parcouru et où l'adresse 100 apparaît sur le registre d'adresses.

Il serait aussi normal de commander l'arrêt après l'impulsion de lecture, le résultat étant alors disponible dans le registre intermédiaire de l'organe de calcul.

Il faut, enfin, que l'horloge puisse fonctionner en pas à pas, pour pouvoir effectuer l'inscription ou la lecture de chiffres dans la mémoire.

REALISATION LOGIQUE DE L'HORLOGE

Nous devons pouvoir diriger l'impulsion de commande sur trois voies différentes. Comme ces impulsions doivent être indépendantes de la fréquence de commande, nous les fabriquerons à l'aide de monocoups ou multivibrateurs monostables.

L'organe que nous avons appelé organe d'aiguillage dans le schéma de principe sera fait avec des circuits "et", à plusieurs entrées. Le signal MO parviendra à l'une de ces entrées ; nous joindrons les autres entrées des circuits "et" d'aiguillage, à l'organe de commande qui figurait sur le schéma de principe.

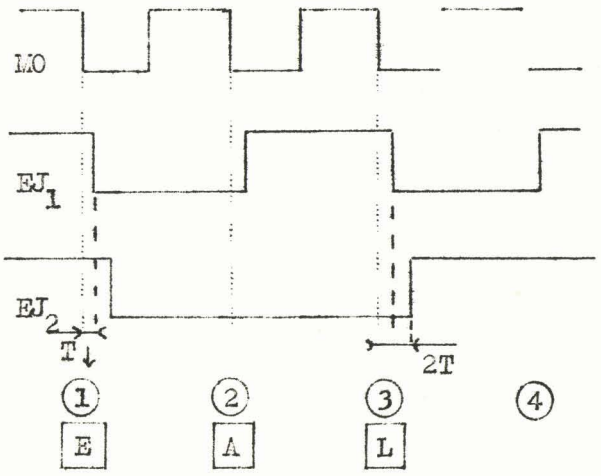
Cet organe de commande d'aiguillage sera constitué par des multivibrateurs bistables, qui seront eux-mêmes commandés par le signal MO.

Nous devons avoir trois états d'équilibre possibles, correspondant aux trois circuits de sortie, Comme un bistable ne peut présenter que deux états d'équilibre, il nous faudra employer deux bascules bistables.

Ces bascules seront montées en compteur binaire et pourront donc présenter quatre états d'équilibre possibles : l'un d'eux sera donc inutile et ne donnera lieu à aucun signal, donc à un temps mort dans le "timing". Ce temps mort sera disposé entre l'impulsion de lecture et l'impulsion d'écriture, car c'est à ce moment que doivent avoir lieu les opérations de calcul qui peuvent prendre un certain temps.

Pour voir comment se font les commutations d'aiguillage, nous allons faire un "timing" complet de l'horloge. Nous indiquerons les retards de basculement des bistables qui permettent de supposer qu'aucun des fronts

de descente ne se fait exactement en même temps.



Le premier basculement présentera un retard T sur le signal MO, le second présentera un retard 2T.

Les basculeurs de commande d'aiguillage sont basculées par les fronts de descente du signal MO, les fronts de montée n'ayant aucune action sur eux.

Les circuits "et" ne conduiront le signal que lorsque toutes leurs entrées seront simultanément positives.

Il suffit donc de connecter les différentes sorties des bascules de commande aux entrées convenables des circuits "et".

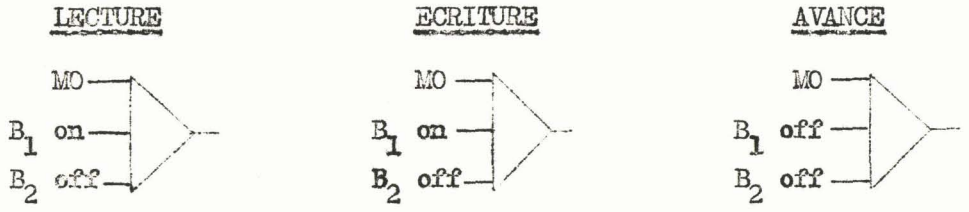
Prenons, par exemple, le schéma du timing donné page 17 : à chaque front de descente du signal MO correspondra un signal sur l'une des sorties.

Le premier de ces signaux, noté 1, correspond aux deux basculeurs conducteurs. Si donc nous mettons aux trois entrées d'un circuit "et" le signal MO et les sorties "on" des deux basculeurs, ce circuit ne laissera passer l'impulsion que une fois sur quatre.

Nous ferons, de même, un second circuit "et" avec le signal MO, la sortie "on" d'un des basculeurs et la sortie "off" de l'autre.

Nous n'utiliserons, en fait, que trois des quatre solutions possibles ; nous avons vu que le temps mort qui en résulte était placé entre les impulsions de lecture et d'écriture, car c'est à ce moment qu'a lieu le calcul.

Nous avons pris, en définitive, comme conventions pour les signaux :



Si le front de descente du signal MO est plus court que le temps de basculement des bistables, l'ensemble fonctionne correctement.

La disposition précédente laisse bien un temps mort entre l'impulsion de lecture et l'impulsion décriture, comme il était prévu.

Nous avons reporté sur le schéma de la page 19, les indications qui permettent de voir à quoi correspondent les trois impulsions :

L'impulsion 1 est l'écriture
L'impulsion 2 est l'avance
L'impulsion 3 est la lecture
L'impulsion 4 représente le temps mort.

Nous n'avons représenté sur ce schéma que les sorties "on" des basculeurs ; il est bien évident que les sorties "off" de ces mêmes basculeurs s'en déduisent par inversion et que, quand une sortie est au potentiel haut, l'autre est au potentiel bas.

COMMANDE DE DEPART ET D'ARRET

On ne peut réaliser une liaison directe entre un système mécanique et un système électronique, les risques de parasites étant trop grands.

Un basculeur commande la marche de l'horloge ; quand il est "on", sa sortie "off" est basse et permet le passage dans le circuit "et" qui précède les bascules de l'impulsion MO.

Quand, au contraire, ce basculeur est "off", sa sortie "off" est haute et l'une des entrées du circuit "et" est haute. L'impulsion négative ne peut alors avoir aucune influence et les bascules d'aiguillage ne peuvent plus recevoir d'impulsions.

Un circuit "et" commande chaque entrée de cette bascule de contrôle.

Sur l'entrée "on", on trouve le signal $\overline{MO}$ et la sortie "off" d'un monocoup commandé par le bouton de départ, par l'intermédiaire d'un intégrateur qui élimine les parasites.

Sur l'entrée "off", le signal $\overline{MO}$, les sorties "off" des deux bascules de commande, le signal $\overline{99}$ et la commande d'arrêt proprement dite.

Le signal $\overline{99}$ indique que le registre d'adresses se trouve à l'adresse 99. La notation $\overline{99}$ indique que ce signal est positif tout le temps sauf quand l'adresse est 99.

Le basculeur ne peut fonctionner que commandé par ces deux circuits "et". C'est le front de descente du signal $\overline{MO}$ qui entraîne ce basculement.

Le signal ne peut passer dans le circuit "et" et avoir de l'effet sur la bascule que si toutes les autres entrées sont elles-mêmes basses.

ANALYSE DU FONCTIONNEMENT DE DEPART ET D'ARRET DE L'HORLOGE

Opération de "reset"

Cette opération a lieu quand les différents organes sont mis sous tension. Les bascules peuvent alors prendre la position qu'elles veulent. Le "reset" consiste à commander la mise en position de départ de toutes les bascules.

La position de "reset" s'indique sur le schéma logique, par un trait sur la base du basculeur. Un trait à droite indique un reset "on" ; à gauche, un reset "off".

Dans le cas présent de l'horloge, les deux basculeurs sont "resetés" "on" et le basculeur de contrôle est remis "off", ce qui est normal puisque cette position correspond à l'arrêt.

Remarque

Les deux circuits que l'on place de chaque côté du basculeur de contrôle devraient normalement être des circuits "et". Nous les avons remplacés, pour des raisons technologiques, par des circuits "ou", fonctionnant en logique négative ou complémentaire.

Nous savons qu'en algèbre de Boole, le produit A x B est équivalent à $\overline{\overline{A} + \overline{B}}$.

Pour expliquer ce fait d'une manière plus physique, il suffit de faire la remarque suivante. L'impulsion de commande de la bascule ne peut la faire changer de sens que si toutes les tensions sont basses. Il suffit donc qu'une seule de ces tensions soit haute pour empêcher ce basculement. La tension à la sortie du circuit "ou" ne sera basse que si toutes les tensions à l'entrée sont basses quand passe l'impulsion de commande.

Commande de départ

L'opération de reset a mis la bascule dans la position arrêt. L'impulsion de départ, commandée manuellement par un bouton, par l'intermédiaire d'un intégrateur pour limiter les impulsions parasites, fait basculer un multivibrateur monostable. Ce monostable ouvre, pendant un certain temps, un gate et laisse passer le signal MO qui met "on" la bascule de contrôle.

Cette bascule ouvre alors le circuit qui relie le maître oscillateur au circuit de commande d'aiguillage et les opérations que nous avons décrites plus haut peuvent se dérouler normalement.

Si rien ne s'y oppose par ailleurs, la machine va se mettre à fonctionner de façon autonome aussi longtemps que l'on voudra.

Commande d'arrêt

La commande d'arrêt consiste à faire basculer à nouveau le multivibrateur de contrôle en position "off" pour fermer le gate du circuit de commande d'aiguillage.

Il faut, pour que cette commande se fasse dans de bonnes conditions, que plusieurs conditions se trouvent réunies :

- Pour que les résultats se trouvent affichés sur les néons du registre de sortie de la mémoire, il faut commander ce basculement juste après l'opération de lecture.

- Pour que les résultats lus soient cohérents, il faut commander cet arrêt à la fin d'un cycle complet de calcul, c'est-à-dire quand tous les tores ont été parcourus.

Nous imposerons donc, comme condition supplémentaire que tous les tores aient subi un cycle de calcul et que l'adresse du tore numéroté 100 soit la seule sur laquelle on puisse commander l'arrêt.

Nous trouverons donc, sur le circuit "ou", qui commande l'arrêt, cinq entrées :

- la commande d'arrêt proprement dite qui passe à travers un intégrateur,
- l'adresse 100 du registre d'adresses,
- les deux sorties des basculeurs d'aiguillage qui indiquent que la lecture vient d'être effectuée,
- l'impulsion de basculement qui provient du maître oscillateur.

INSCRIPTION ET LECTURE DES RESULTATS

Il faut prévoir, de plus, un mécanisme d'avance pas à pas, qui permette d'inscrire, en début de fonctionnement des données dans la machine.

Le même mécanisme sera utilisé pour lire les résultats d'un calcul.

La condition d'arrêt sur l'adresse 100 ne doit alors plus influer. Il faut donc déconnecter cette entrée du circuit d'arrêt ou la maintenir toujours sur une tension basse pour qu'elle n'ait plus d'influence.

L'adresse n'entre alors plus en ligne de compte pour commander l'arrêt.

Pour que le basculeur redevienne "off", tout de suite après avoir été mis "on", il faut que la commande d'arrêt se fasse aussitôt après celle de départ.

Si l'horloge fonctionne à une fréquence élevée (nous verrons plus loin qu'on peut prendre 100 Kc/s comme ordre de grandeur), il est impensable de faire ces commandes à la main.

On peut contourner la difficulté en procédant autrement. On commandera l'arrêt par deux impulsions différentes. Nous avons pris MO pour le départ et $\overline{MO}$ pour l'arrêt.

Les opérations se dérouleront alors comme suit :

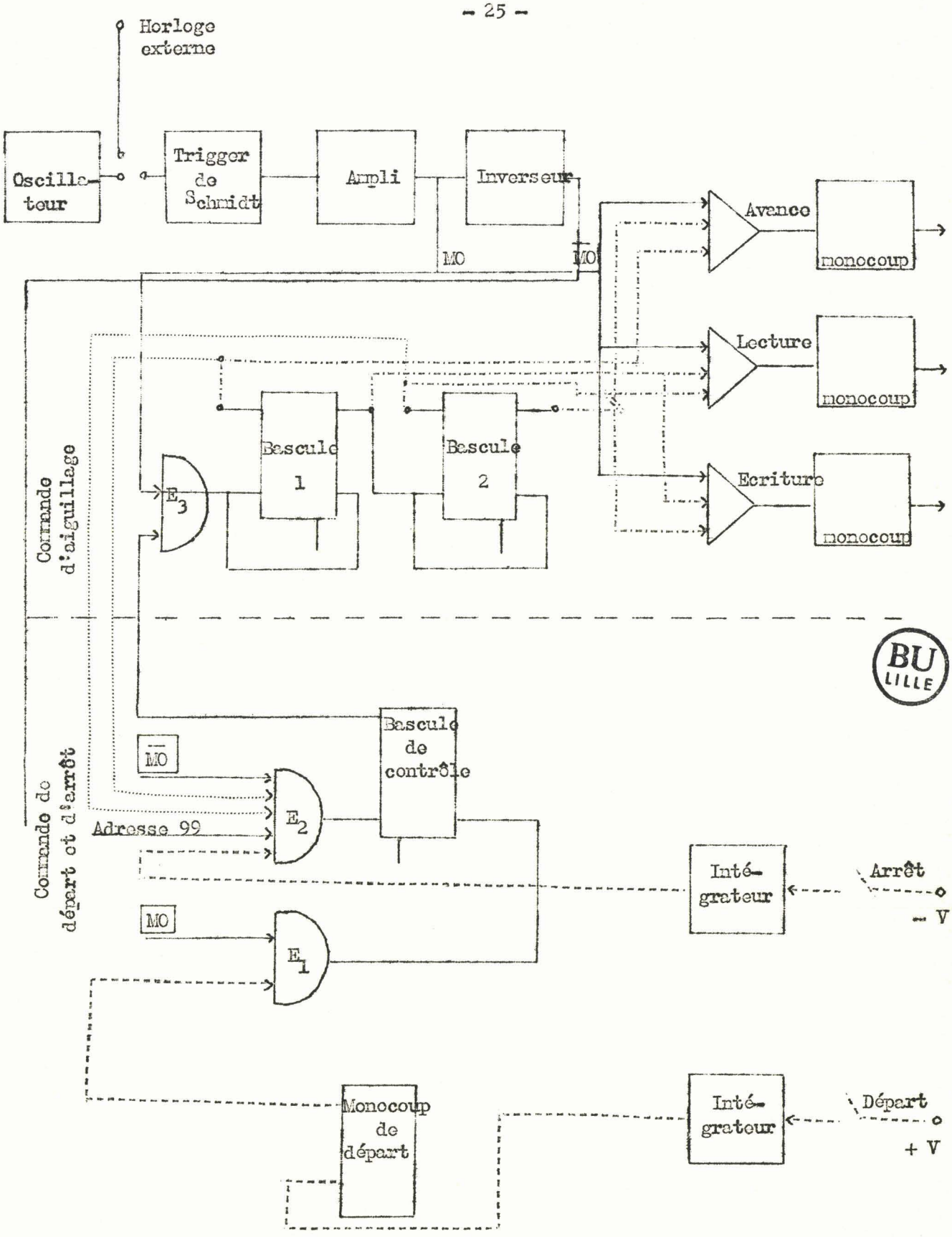
- L'interrupteur arrêt reste fermé, c'est-à-dire que l'arrêt se fera dès que les conditions nécessaires se trouveront réalisées, en particulier la position adéquate des basculeurs d'aiguillage et l'impulsion $\overline{MO}$.

- Si on ferme alors l'interrupteur de départ, le multivibrateur basculera "on" sur la première impulsion MO. Cette impulsion modifiera aussi l'état des basculeurs d'aiguillage qui ne se trouveront plus dans la position qui permettrait de commander l'arrêt.

- Quand un cycle d'horloge aura été parcouru, les basculeurs d'aiguillage se retrouveront en position favorable à l'arrêt et, l'interrupteur d'arrêt étant fermé, le multivibrateur basculera effectivement, commandant l'ouverture du gate.

On aura parcouru un seul cycle et l'horloge se retrouvera bloquée en position de départ.

On pourra, par ce procédé, parcourir pas à pas toutes les adresses, pour y inscrire ou y lire des données binaires.


Horloge externe
Oscillateur
Trigger de Schmidt
Ampli
Inverseur
MO
MO
Avance
monocoup
Lecture
monocoup
Ecriture
monocoup
Bascule 1
Bascule 2
E3
Commande d'aiguillage
Commande de départ et d'arrêt
Bascule de contrôle
MO
E2
Adresse 99
Intégrateur
Arrêt
- V
MO
E1
Monocoup de départ
Intégrateur
Départ
+ V

BU LILLE

LE MAITRE-OSCILLATEUR

Nous avons parlé des signaux MO sans donner les caractéristiques et sans dire comment nous les produisions.

Les signaux de base qui nous ont servi pour déterminer le fonctionnement logique de l'horloge sont des signaux carrés et seuls nous intéressent les fronts de montée et les fronts de descente, si bien que ces signaux peuvent être dérivés en passant par des liaisons capacitives sans que cela présente d'inconvénients.

Nous produirons ces signaux par un montage du type multivibrateur.

Il peut être intéressant de produire les signaux d'horloge à une fréquence relativement basse pour pouvoir analyser aisément son fonctionnement. Par ailleurs, nous avons envisagé la possibilité de synchroniser le maître oscillateur sur une fréquence extérieure à la machine.

Ces deux considérations nous ont amené à envisager l'emploi d'un multivibrateur apériodique. Comme, de plus, il faut que, quelle que soit la fréquence, les signaux carrés produits présentent un rapport cyclique égal à 1/2, c'est-à-dire que les fronts de montée et de descente soient équidistants; notre choix a porté sur le montage de Schmidt.

Un avantage de ce circuit est que l'on peut l'attaquer avec une onde sinusoïdale et que les signaux de commande ne nécessitent aucune mise en forme.

Nous avons prévu trois possibilités de commande de ce multivibrateur :

- commande par un oscillateur interne à une fréquence aussi élevée que possible,
- commande par le secteur pour l'étude à basse fréquence,
- commande par une source de synchronisation extérieure.

Nous disposerons alors d'un organe de commande très souple, qui permet de faire fonctionner la mémoire dans une gamme de fréquences allant de la valeur maximum possible, technologiquement parlant, jusqu'à des valeurs compatibles avec l'observation directe des opérations à l'aide des néons qui seront placés sur les différents organes.

LA CHAINE DE BALAYAGE D'ADRESSES

Nous avons vu, lors des généralités, que les positions de mémoire étaient explorées, une à une, en séquences. Il faut donc constituer un registre d'aiguillage qui dirige les impulsions de lecture et d'écriture sur chaque tore successivement.

C'est la chaîne de balayage d'adresses qui effectue ce travail.

Les cent positions possibles sont, en fait, représentées par 20 positions sur les fils horizontaux et verticaux. Grâce à la sélection par coïncidences de courants, une position de mémoire est représentée par un fil vertical et un fil horizontal.

Comme nous devons lire les informations en séquences, nous pouvons adopter un processus de sélection d'adresses simplifié :

- pratiquement, l'adresse d'une colonne étant formée, nous explorerons, par ordre croissant, toutes les lignes, sans modifier l'adresse de la colonne. Quand nous aurons exploré toute la ligne, nous ferons avancer d'une position le registre des colonnes et nous continuerons la lecture des dix tores suivants.

Le registre d'adresses comportera donc deux compteurs par 10 mis en série. L'un commandera le choix d'une ligne, l'autre celui d'une colonne.

Il faudra, de plus, que la chaîne de balayage indique la parité de l'adresse qu'elle forme, cette indication servant à commander des fonctions différentes de l'additionneur.

En effet, suivant la parité de l'adresse, les digits ne subissent pas les mêmes opérations et c'est la chaîne de balayage qui doit fournir cette indication.

REALISATION LOGIQUE DE LA PREMIERE CHAINE

Notre intention était de constituer un compteur décimal truqué, du type Rochard, dont le schéma logique est donné en bas de la page.

Le premier étage est constitué par un multivibrateur bistable qui assure bien l'indication de la parité. Ce bistable est suivi d'un compteur binaire par 8, truqué pour ne compter, en fait, que 5 positions.

Le premier basculeur est attaqué sur son entrée "on". Tous les basculeurs ont été, au préalable, resetés "off". Ce basculeur se mettra donc "on". L'impulsion d'entrée attaque en même temps un circuit "et", dont l'autre entrée est reliée à la sortie "on" du basculeur. Lors de la première impulsion, le circuit "et" reste fermé car le basculeur est "of". La seconde impulsion, par contre, passera, car, à ce moment, la bascule sera "on" ; elle n'aura aucun effet sur la première bascule, car elle aurait tendance à la mettre "on", ce qui est déjà fait.

Cette impulsion passant à travers le circuit "et" viendra attaquer deux basculeurs montés en compteurs binaires ordinaires et qui constituent un compteur par 4.

Une ligne de retour, partant de la sortie "on" du dernier basculeur, viendra remettre en position "off" la première bascule.

Nous aurons bien un cycle de comptage par 5 et, en comptant le basculeur de parité qui précède, nous disposons d'un cycle de 10.

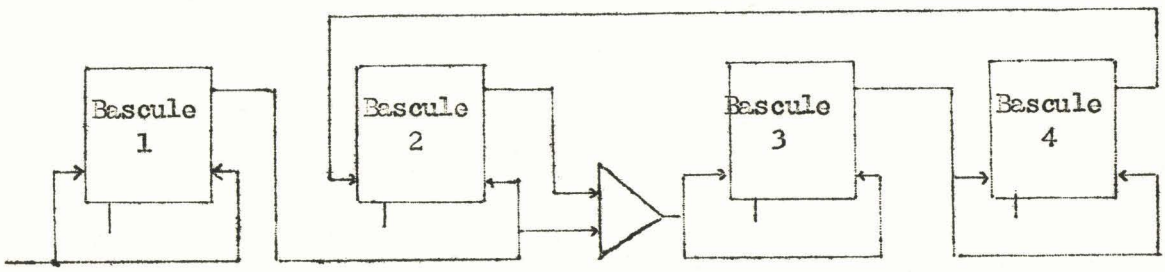


Schéma logique du compteur par 10

Impulsions :		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Bascule	1	off	on	off	on	off	on	off	on	off	on	off
	2	off	off	on	on	on	on	on	on	on	on	off
	3	off	off	off	off	on	on	off	off	on	on	off
	4	off	off	off	off	off	off	on	on	on	on	off

Après la 10e impulsion, le compteur se retrouve dans l'état initial.

Timing du compteur

Un ensemble de quatre bascules devrait pouvoir présenter 16 positions possibles. Nous n'en trouvons, en fait, que 10, parce que la bascule 2 ne fonctionne pas en compteur binaire ordinaire et que les signaux qui attaquent chacune de ses entrées proviennent de sources différentes.

Nous remarquons, par ailleurs, que les dix états possibles sont différents. Il nous sera donc possible de commander un circuit de puissance et un seul à partir de cette chaîne.

Après un montage préliminaire, il nous a cependant fallu abandonner ce schéma logique, pour la raison suivante : le temps de basculement des multivibrateurs s'élève à 1 microseconde ; dans le cas le plus défavorable, les quatre multivibrateurs doivent basculer sur une impulsion de commande. Ce cas se présente lors de la 10e impulsion. Les retards s'ajouteront et, comme il faut deux chaînes telles que celle qui a été indiquée, la chaîne ne se retrouvera dans un état stable que 8 microsecondes après le passage de l'impulsion de commande. Le retard total est donc très grand et il limite beaucoup la fréquence de fonctionnement de la mémoire.

CHAINE DE BALAYAGE A DECALAGE

Nous avons vu qu'il faut limiter au minimum les retards qui peuvent se produire lors d'un changement d'adresse. Nous avons eu l'idée, pour ce faire, d'employer une chaîne de balayage, souvent employée dans les

calculatrices et connue sous le nom de chaîne à décalage ou shift-register.

Chaque maillon de la chaîne est constitué par une bascule binaire. Une seule bascule de la chaîne peut être "on" à la fois et le temps de basculement est le même pour toutes les phases du cycle.

Comme nous avons toujours besoin de connaître la parité de l'adresse, nous garderons à l'entrée de la chaîne une bascule montée en compteur binaire ordinaire.

La chaîne comportera, de plus, cinq bascules binaires montées comme l'indique le schéma logique ci-dessous.

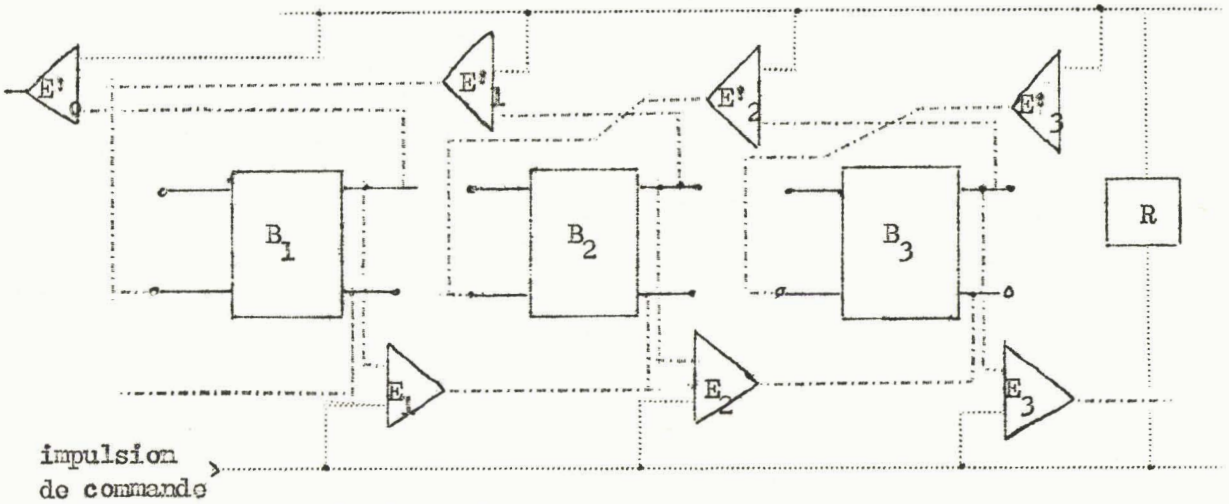


Schéma logique de la chaîne de balayage d'adresses

Supposons qu'à l'instant initial, la bascule B_1 soit "on" et que les deux autres soient "off". Les impulsions de commande de la chaîne parviennent aux circuits "et" : E_1, E_2, E_3 ... et E'_1, E'_2, E'_3 ... avec un certain retard sur ces derniers.

Compte tenu des conditions initiales, l'impulsion ne passera que dans le circuit E_1, car seule la bascule B_1 se trouve "on". Cette impulsion sera transmise à l'entrée "on" de la bascule B_2, qui était "off". Cette bascule deviendra donc "on". A ce moment, l'impulsion de commande retardée parviendra aux circuits "et" du haut. Les bascules B_1 et B_2 sont alors "on" toutes deux. L'impulsion passera donc seulement à travers les circuits E'_0 et E'_1.

L'impulsion transmise par E'_0 parviendra sur l'entrée "off" de la bascule B_0, qui précède B_1. Comme cette bascule était déjà "off", son état ne sera pas modifié.

L'impulsion transmise par la bascule B_2 à travers le circuit E'_1 viendra remettre "off" la bascule B_1.

En résumé, le passage d'une impulsion de commande se soldera par le transfert de la position "on" d'une bascule à la suivante.

REALISATION DE LA CHAINE DE BALAYAGE

Nous conserverons, comme nous l'avons déjà indiqué, une bascule fonctionnant en binaire à l'entrée. Cette bascule, montée en compteur par deux, changera de position sur chaque impulsion de commande.

La sortie "on" de la bascule d'entrée fournira une impulsion sur deux ; c'est cette impulsion qui servira à commander la chaîne de transfert d'adresses. Une chaîne de cinq bascules, montées comme nous l'avons indiqué plus haut et précédée d'une bascule binaire, pourra donc occuper dix positions différentes. Pour que la chaîne puisse fonctionner, il faut qu'après un cycle complet, c'est-à-dire après dix impulsions, elle se retrouve dans son état initial. Il faut donc boucler la chaîne. On reliera donc la cinquième bascule de la chaîne de transfert à la première par les mêmes circuits que ceux que l'on a disposés entre B_1 et B_2, par exemple.

Nous pouvons alors indiquer le timing de la chaîne :

Impulsions :	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Bascule binaire d'entrée	off	on	off	on	off	on	off	on	off	on	off
Bo	on	on	off	off	off	off	off	off	off	off	on
B_1	off	off	on	on	off	off	off	off	off	off	off
B_2	off	off	off	off	on	on	off	off	off	off	off
B_3	off	off	off	off	off	off	on	on	off	off	off
B_4	off	off	off	off	off	off	off	off	on	on	off

L'opération de reset consistera à mettre la bascule binaire "off" et les bascules B_1, B_2, B_3, B_4, tandis que la bascule B_0 sera mise "on".

AVANTAGES ET INCONVENIENTS DE CETTE CHAINE PAR RAPPORT A LA PRECEDENTE

Cette chaîne comporte 6 bascules ; donc, entraîne une consommation plus importante ; elle occupe plus de place que la chaîne décimale truquée.

Elle présente cependant trois avantages majeurs :

- le temps de résolution est indépendant de la position des bascules. Il correspond à deux basculements au lieu de quatre, car, dans la chaîne précédente, il aurait fallu considérer le cas le plus défavorable ;

- la sélection d'une ligne de tores à partir d'une position de la chaîne est simplifiée. Il ne faut, en effet, que des circuits "et" à deux entrées, comme nous le verrons plus loin;

- les éléments sont plus facilement interchangeables entre eux car tous sont identiques.

LES CIRCUITS DE SELECTION D'ADRESSE ET LES CIRCUITS DE PUISSANCE

Il faut, pour commander la lecture et l'écriture d'un digit dans les tores, envoyer des courants de sens opposés dans les fils de commande horizontaux et verticaux.

Il faut donc, pour chacun des fils, deux amplificateurs de puissances différentes. Ces amplificateurs sont commandés, d'une part à partir des impulsions de lecture et d'écriture, d'autre part à partir de la chaîne de balayage d'adresses.

Nous avons vu plus haut que l'adresse d'une ligne ou d'une colonne apparaissait sur six bascules. Il faut constituer, à partir des

indications de ces bascules, l'adresse proprement dite des lignes et colonnes.

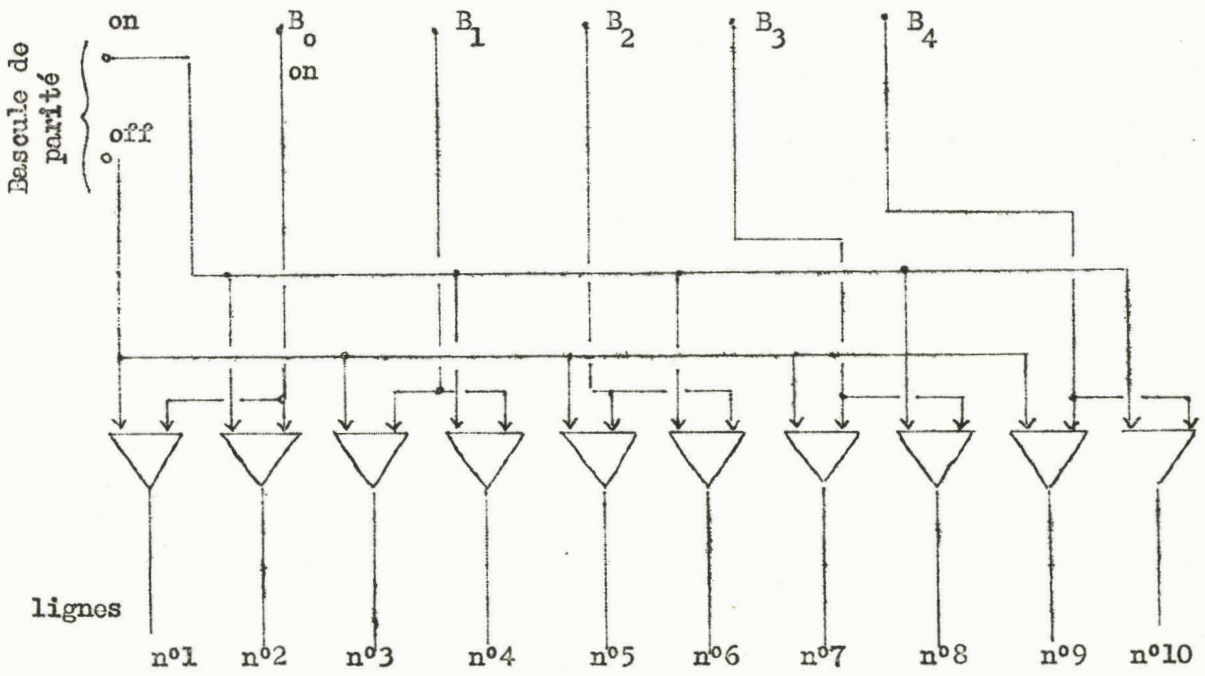
Pour ce faire, nous utiliserons des circuits "et". La sortie de chaque circuit correspondant à une ligne ou une colonne, nous aurons dix circuits par chaîne de balayage, donc, en tout, 20 circuits.

Nous pouvons constituer ces circuits en considérant le timing de la chaîne de balayage donné à la page 31.

Chacun des circuits comportera deux entrées : l'une provenant de la bascule de parité, l'autre de l'une des cinq bascules de la chaîne de transfert.

Sur les lignes de numéro pair, nous trouverons la sortie "on" de la bascule binaire ; sur les lignes de numéro impair, la sortie "off" de cette même bascule.

Sur les lignes 1 et 2, la sortie "on" de la bascule B_o.
Sur les lignes 3 et 4, la sortie "on" de la bascule B_1.
Sur les lignes 5 et 6, la sortie "on" de la bascule B_2, etc.

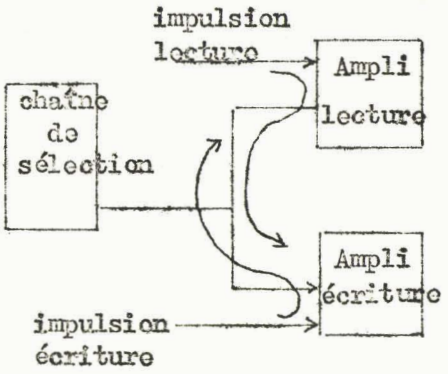


BU LILLE

AMPLIFICATEURS DE PUISSANCE

Comme nous l'avons vu, la réinscription dans un tore se fait aussitôt après la lecture du contenu de ce même tore. L'adresse ne change donc pas pendant ces opérations.

C'est, cependant, cette adresse qui commande la sélection des amplificateurs de puissance. Comme il ne faut pas que les impulsions de commande de lecture ou d'écriture aient le moindre effet sur l'amplificateur qui commande l'autre fonction, il est important d'isoler les liaisons entre les deux amplificateurs. Or, la chaîne de sélection d'adresse introduit une liaison entre eux. Le schéma ci-contre explique cette condition :

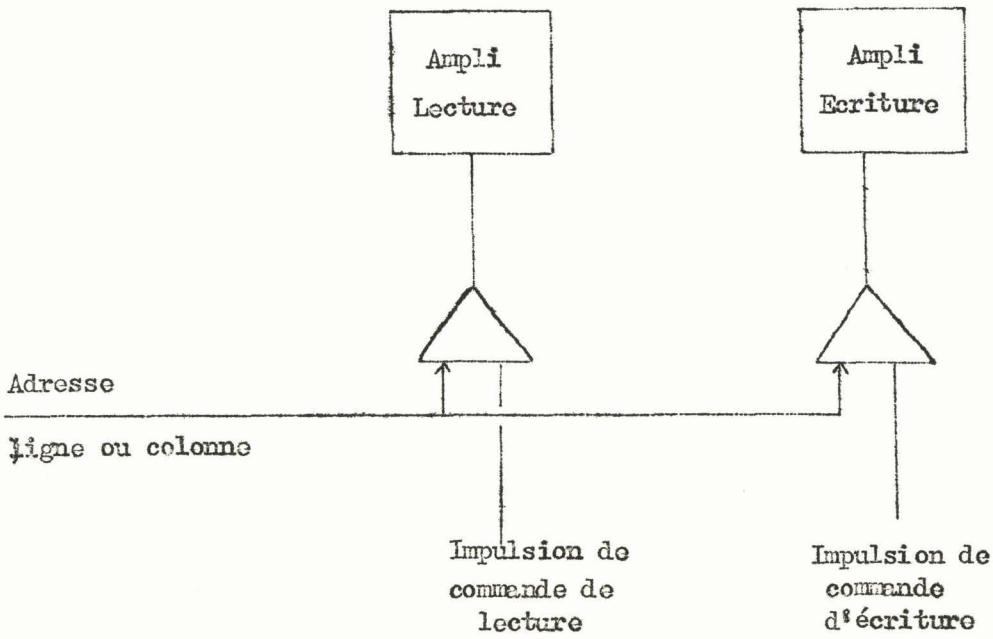


la chaîne de sélection d'adresses commande indifféremment les deux amplificateurs. Ces derniers jouant des rôles opposés, puisqu'ils doivent engendrer des courants de sens contraires, doivent être isolés l'un de l'autre. Il faut donc éviter un couplage de l'un sur l'autre par l'intermédiaire de la chaîne de sélection d'adresses.

Nous devons, pour éviter ce phénomène parasite, employer à nouveau des circuits "et" à l'entrée des amplificateurs de puissance.

Remarquons que ces circuits étant constitués par des diodes, l'effet de réaction d'un amplificateur sur l'autre sera négligeable, car les diodes présentent une résistance inverse importante.

Les circuits de sélection à l'entrée des amplificateurs auront l'allure indiquée par le schéma ci-dessous.



BU
LILLE

L'ADDITIONNEUR BINAIRE

Les digits de la mémoire représentent deux nombres ; ils sont intercalés les uns avec les autres de façon que les digits de même puissance de deux soient toujours l'un derrière l'autre. La lecture de la mémoire se fait toujours dans l'ordre des puissances croissantes de deux.

L'amplificateur de lecture fournira donc à l'additionneur d'abord le digit représentant la puissance 0 de deux du nombre A, puis le digit représentant la puissance 0 du nombre B, puis les puissances 1 de deux de ces mêmes nombres dans le même ordre, etc.

La première opération que doit faire l'additionneur est de déterminer si le digit qu'il reçoit appartient au nombre A ou au nombre B. Comme nous l'avons montré lors de l'étude logique de la chaîne de balayage, la bascule binaire de cette chaîne nous fournit cette indication en indiquant la parité de l'adresse.

Il doit ensuite additionner les deux digits d'une même puissance de deux des nombres A et B, ainsi que la retenue éventuelle, conserver la retenue de l'addition qu'elle vient d'effectuer, pour l'utiliser au cycle suivant.

Le cycle de calcul s'étale sur deux cycles élémentaires de la machine. Si on le décompose entièrement, on trouvera :

1. Lecture de A_N dans la mémoire et transfert à l'additionneur.
2. Ecriture de ce digit dans la même position de mémoire. Ce digit est conservé cependant dans une mémoire intermédiaire de l'additionneur.
3. Avance d'une position de la chaîne de balayage des positions de mémoire.
4. Lecture du digit B_N et transfert dans la mémoire tampon de l'additionneur.
5. Addition binaire de A_N, B_N et de la retenue du cycle d'addition A_{N-1} et B_{N-1}.
6. Ecriture dans la mémoire de la puissance 0 du résultat de l'addition.

Les mémoires seront des bascules binaires. Elles seront, en principe, au nombre de deux. L'une servira à contenir le digit A_N, pendant que la chaîne de balayage d'adresses avance d'une position ; l'autre contiendra la retenue éventuelle qui servira pour le cycle d'addition suivant.

On peut prévoir deux modes de fonctionnement pour ces bascules. On peut, en effet, les attaquer en symétrique, la présence d'une impulsion sur l'entrée entraînant le basculement, quel que soit l'état dans lequel elle se trouve; l'autre façon de procéder consiste à attaquer séparément les deux entrées. Cette seconde méthode, plus sûre du point de vue électronique, entraîne la nécessité d'une remise à zéro à chaque cycle.

Nous emploierons cette dernière car nous verrons qu'il est possible d'utiliser l'impulsion d'avance fournie par l'horloge pour effectuer cette remise à zéro.

A partir des conditions imposées au départ, deux solutions très différentes sont possibles :

Circuit logique à diodes

Cette solution consiste à transférer sur deux bascules les deux digits A et B à additionner et à élaborer un circuit logique qui donne directement, à partir de la position de ces deux bascules et de la bascule de mémoire intermédiaire qui contient la retenue de l'addition précédente, la somme et la retenue de l'addition en cours.

La réponse de ce circuit à diodes peut être considérée comme instantanée, aux retards dans les circuits électroniques près. Comme l'écriture du résultat se fait un certain temps après l'accès des digits aux bascules mémoires, il faut prévoir une nouvelle bascule qui contienne le résultat de l'addition, pendant ce temps.

On peut cependant éviter ceci en remplaçant la bascule par un gate, qui est ouvert pour l'impulsion d'écriture ou non, suivant le résultat fourni par l'additionneur.

Circuit à bascules

Une autre solution consiste à remarquer que deux bascules, montées en compteur binaire et attaquées par des digits 1 ou 0, réalisent un additionneur. Si on envoie trois impulsions comme c'est présentement le cas, la première bascule contiendra la puissance 0 de deux de la somme et la seconde bascule contiendra la retenue.

Il faut, pour que cet additionneur fonctionne correctement, que les trois impulsions dont il faut faire la somme parviennent à l'entrée de la bascule d'entrée à des instants bien distincts.

La seconde bascule, qui détermine la retenue éventuelle, constitue, de plus, la mémoire dont il a déjà été question et elle est susceptible de fournir à l'entrée de l'additionneur le résultat qu'elle contient, au moment voulu.

⁂

Avant d'entreprendre en détail l'étude logique de ces deux types d'additionneurs, nous définirons quelques principes qui sont valables pour les deux.

L'impulsion fournie par l'amplificateur de lecture est de très brève durée et, comme la lecture dans la mémoire est destructive, on ne peut plus la récupérer si elle est perdue. Il faut donc une grande sécurité sur l'organe d'entrée de l'additionneur.

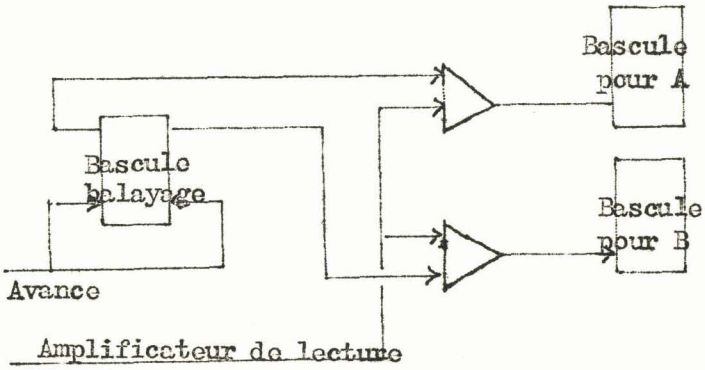
L'écriture se fait, dans la mémoire, par trois fils, les deux fils verticaux et horizontaux qui servent aussi à la lecture et le fil d'inhibition qui est, lui aussi, traversé par un demi-courant dont le flux se trouve toujours en opposition des deux autres.

C'est ce troisième fil qui commande la sortie de l'additionneur. Il faut bien remarquer qu'une impulsion de courant traversera ce fil quand il faudra inscrire un 0 et qu'au contraire il n'y aura pas d'impulsion lorsqu'il s'agira d'inscrire un 1.

Nous trouvons donc là une logique inversée par rapport à celle que nous utilisons ailleurs.

Etude du circuit logique à diodes

Les deux digits A_n et B_n doivent parvenir à deux bascules différentes. Il faut donc un aiguillage sur la sortie de l'amplificateur de lecture.

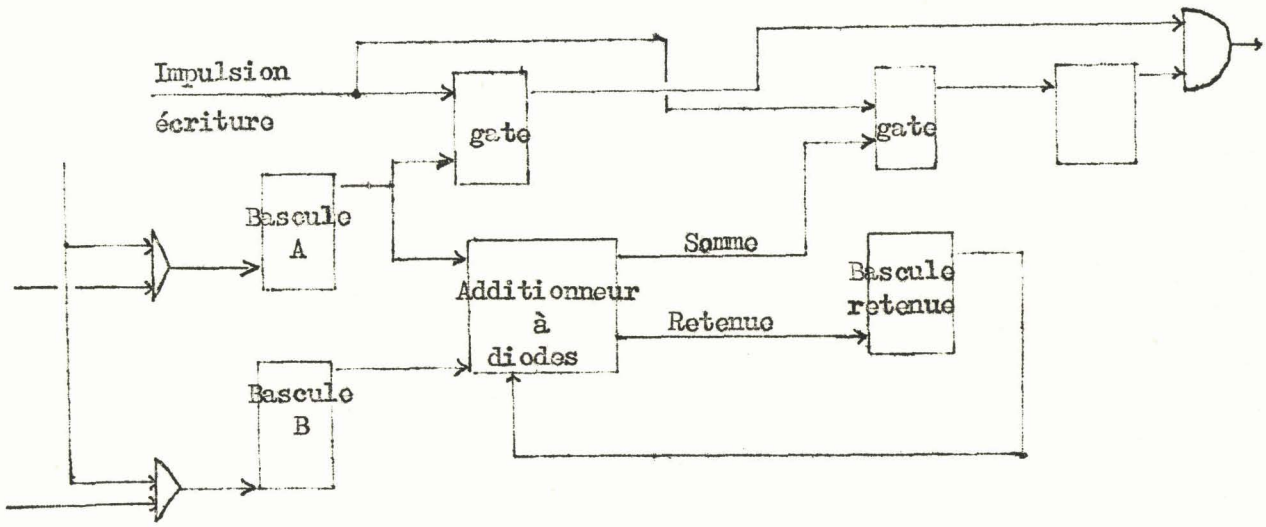


Cet aiguillage sera constitué par deux circuits "et" sur lesquels parviendront les positions "on" et "off" de la première bascule de la chaîne de balayage.

Aussitôt après avoir lu A_n, il faut le réinscrire sans le détruire dans la mémoire intermédiaire. Il faut donc disposer un circuit "et" avec, sur son entrée, la sortie "off" de la bascule et sur l'autre l'impulsion d'écriture. On prend la sortie "off" de la bascule, en raison de la remarque faite plus haut sur l'inversion de la logique au moment de l'écriture. L'impulsion de lecture ne viendra commander l'amplificateur d'inhibition que si la bascule contient un 0.

Dès que l'on aura fait la lecture de B_n, l'additionneur à diodes présente sur sa sortie les deux digits Somme et Retenue. Le digit Retenue doit être transféré sur une bascule, en attendant d'être réutilisé au cycle suivant, tandis que la somme doit être remise en mémoire à la position qu'occupait B_n, c'est-à-dire sans qu'il y ait eu d'avance de la chaîne de balayage.

On peut donc faire, en gros, le schéma logique de la chaîne d'addition depuis l'amplificateur de lecture jusqu'à l'entrée de l'amplificateur d'inhibition.



L'additionneur proprement dit

On peut déterminer la fonction logique à réaliser en posant ce qu'on appelle le tableau de vérité, qui consiste à envisager toutes les possibilités pour les valeurs mises à l'entrée.

Soient A et B les deux digits et R_1 le report dû à la retenue précédente.

A	A	R_1	S	R_2
0	0	0	0	0
0	0	1	1	0
0	1	0	1	0
0	1	1	0	1
1	0	0	1	0
1	0	1	0	1
1	1	0	0	1
1	1	1	1	1

BU LILLE

S représente la somme des trois digits et R_2 la retenue.

On retrouve immédiatement, sur ce tableau logique, que :

$$S = \bar{A}.\bar{B}.R_1 + \bar{A}.B.\bar{R}_1 + A.\bar{B}.\bar{R}_1 + A.B.R_1$$

$$R_2 = \bar{A}.B.R_1 + A.\bar{B}.R_1 + A.B.\bar{R}_1 + A.B.R_1$$

et on peut, à partir de ces deux fonctions, déterminer le schéma logique le plus simple. Nous voyons de suite que certains membres se retrouvent d dans les deux expressions de S et de R_2 ; ceci réduira d'autant le nombre des éléments nécessaires.

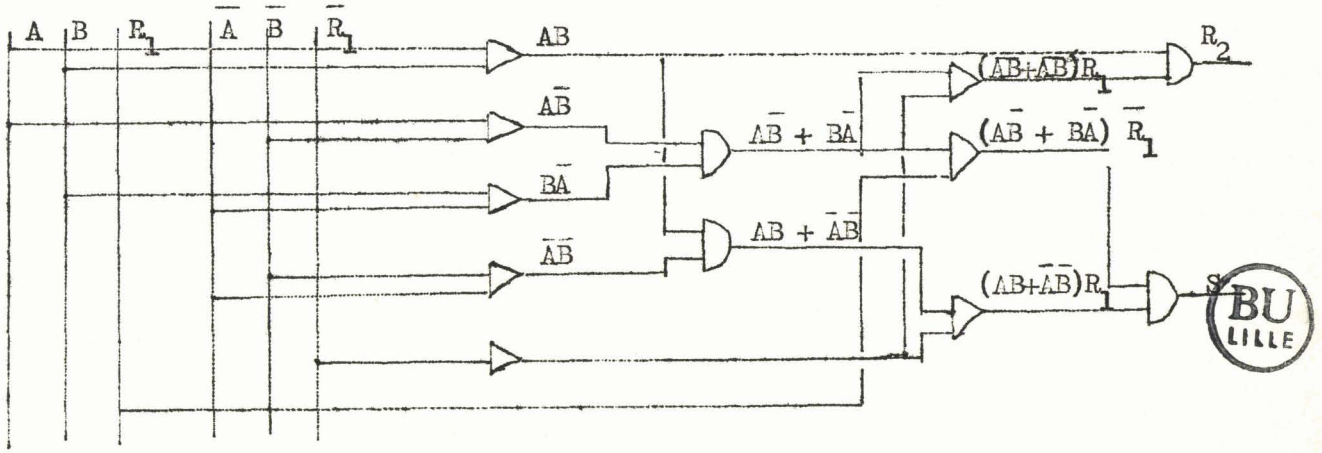
On peut, en particulier, essayer de transformer ces expressions logiques de façon à faire apparaître dans les deux termes des éléments communs aussi importants que possible.

Sachant que l'algèbre de Boole suit les mêmes règles que l'algèbre ordinaire et que : $A + \bar{A} = 1$, on trouve deux nouvelles expressions de S et de R_2 :

$$R_2 = A.B + (\bar{A}.B + \bar{B}.A).R_1$$

$$S = (A.B - \bar{A}.\bar{B}).R_1 + (\bar{A}.B + A.\bar{B}).\bar{R}_1$$

On trouve alors de nombreux termes communs dans les deux expressions, ce qui permet d'alléger de façon importante le schéma logique.



BU LILLE

A partir du schéma de l'additionneur, donné ci-dessus, il faut encore déterminer les remises à zéro des bascules en temps voulu et répartir les impulsions de commande dans les différents éléments.

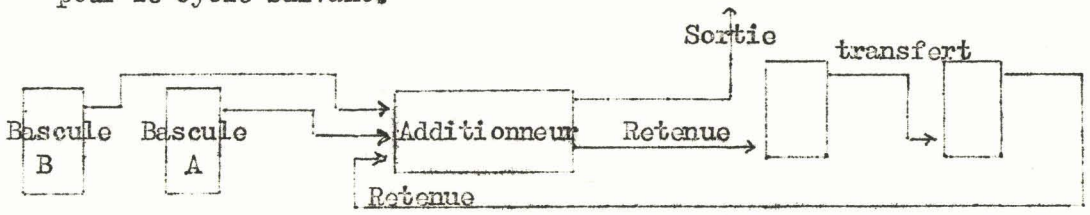
Si nous supposons toutes les bascules en position zéro à l'instant initial, la bascule qui contient A sera positionnée en premier lieu. Il faudra aussitôt que le digit qu'elle contient soit renvoyé en mémoire. Cette opération ne se fait que pour un cycle de machine sur deux. Il faut donc prévoir une division par deux des impulsions de réinscription, ce qui nécessite de nouveaux éléments logiques. Une bascule montée en compteur binaire peut jouer ce rôle en divisant par deux la fréquence des impulsions d'écriture.

On peut aussi prendre le digit A à la sortie du circuit à diodes, en supposant que la retenue du cycle précédent est nulle ou qu'elle n'a pas encore été transmise à l'entrée qui lui est impartie. Cette façon de procéder présente l'avantage suivant :

Les digits à réinscrire dans la mémoire se trouvent toujours à la sortie de l'additionneur et il n'est plus nécessaire de savoir si le digit à inscrire est un nombre A ou la somme S. Dans les deux, il occupe la même position.

Pour pouvoir procéder de cette manière, il ne faut transmettre la retenue à l'additionneur qu'après que A ait été réinscrit en mémoire.

On aura alors deux bascules pour la retenue, la première recevant cette dernière au moment où elle est formée par l'additionneur et le transfert se faisant sur la seconde après que A ait été renvoyé en mémoire. La sortie de cette seconde bascule commande l'entrée de l'additionneur pour le cycle suivant.



Il suffit de préciser les conditions de transfert et de remise à zéro des quatre bascules pour avoir le schéma logique complet.

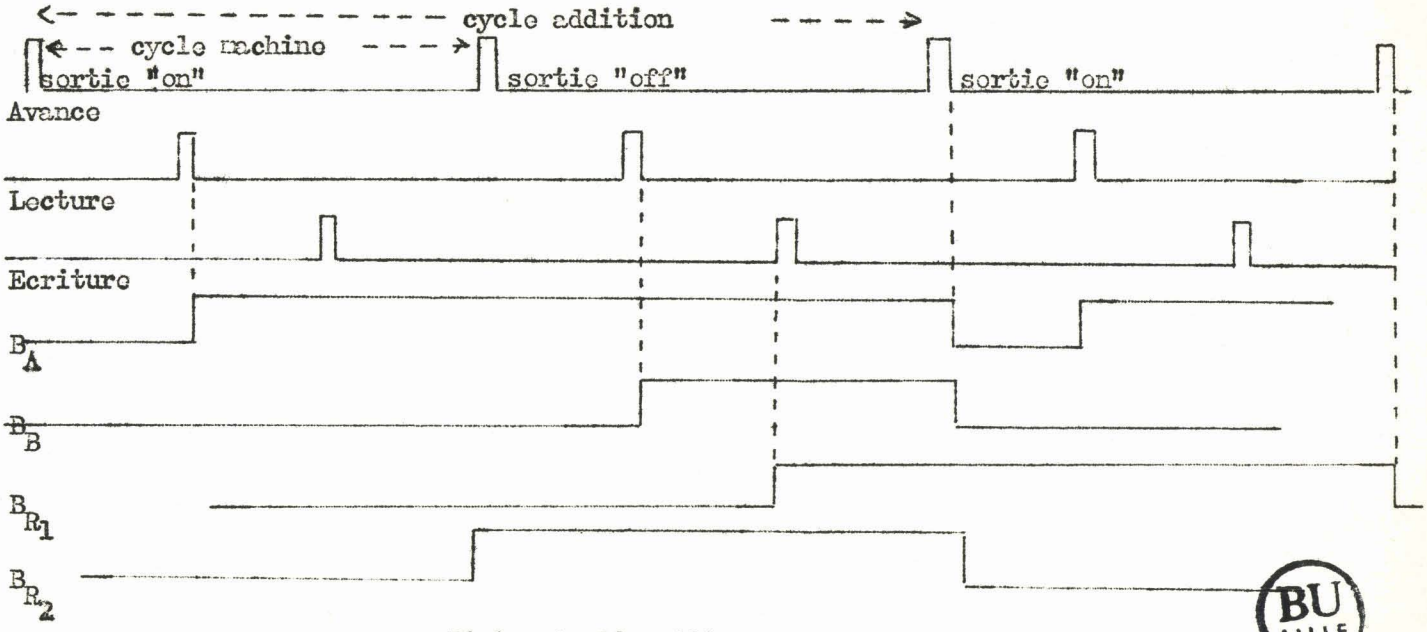
Les bascules A et B peuvent être remises à zéro par l'impulsion d'avance du cycle de calcul suivant. Cette impulsion ne doit se présenter qu'une fois sur deux ; aussi prendrons-nous cette commande sur la sortie de la bascule d'entrée de la chaîne de balayage (sortie "on").

Cette sortie commande aussi la remise à zéro de la seconde bascule de retenue B_{R_2}.

La remise à zéro de la première bascule de retenue se fait à partir de la sortie "off" de la même bascule d'entrée de la chaîne de balayage.

Le timing de la page 43 illustre cette façon de procéder. On a supposé, pour ce timing, que les deux digits A et B étaient égaux à 1 et qu'il y avait une retenue à transférer de la sortie à l'entrée de l'additionneur.

Le schéma de l'additionneur à diodes, tel qu'il a été calculé et réalisé, est donné à la page 46 bis.



Timing de l'additionneur

BU LILLE

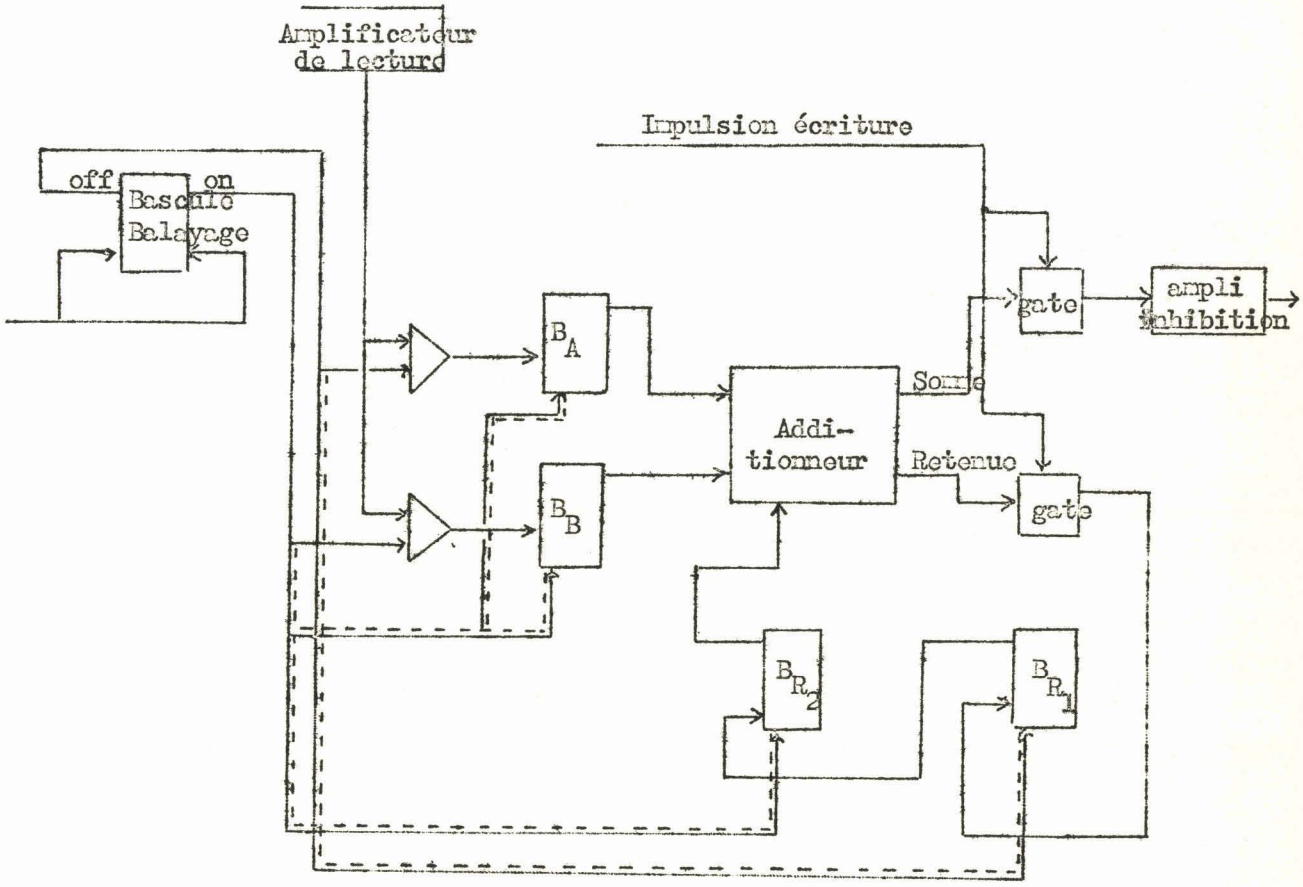


Schéma logique de l'additionneur

Les traits surmontés d'un pointillé représentent les remises à zéro.

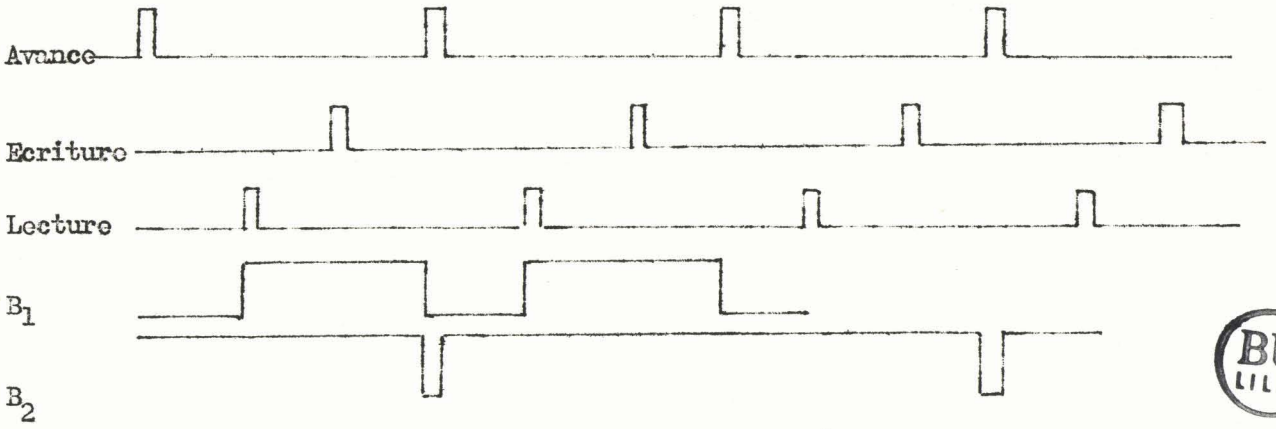
Circuit logique à bascules

Le circuit comporte, comme nous l'avons dit, deux bascules montées en compteur binaire et en série l'une avec l'autre. Si nous effectuons la remise à zéro de chacune d'elles au moment voulu de chaque cycle et si nous envoyons sur l'entrée de la première les trois digits correspondant à A, B et la retenue, nous trouverons, sur la sortie "on" de la première, le résultat de l'addition à renvoyer en mémoire et sur la seconde la retenue.

L'amplificateur de lecture attaque directement l'entrée de la bascule B_1. Comme les digits à renvoyer en mémoire se trouvent toujours sur la sortie "on" de cette dernière, un circuit "et", ayant sur l'une de ses entrées cette sortie et sur l'autre le fil conduisant l'impulsion de lecture, reliera l'additionneur à l'amplificateur d'inhibition. Comme, en fait, la logique est inversée en ce point du circuit, il est préférable de prendre directement la sortie "off" de la bascule B_1 plutôt que de disposer un inverseur entre le circuit "et" et l'amplificateur d'inhibition.

Les remises à zéro se font, comme dans le cas précédent, à l'aide des impulsions fournies par les sorties de la première bascule de la chaîne de balayage qui divise ainsi leur fréquence par deux. La sortie "on" attaque la bascule B_2 ; la sortie "off", la bascule B_1.

Le timing de l'additionneur est donné, ainsi que son schéma logique, à la page 45.



BU LILLE

Timing de l'additionneur à bascules

Nous avons supposé que les deux digits A et B étaient égaux à 1 et qu'il y avait une retenue dans la seconde bascule.

Sur la première impulsion de lecture, B_1 devient "on", empêchant l'impulsion d'inhibition de passer dans l'amplificateur au moment de la lecture.

Sur l'impulsion d'avance suivante, l'addition est transférée de B_2 à B_1. B_2 reprend immédiatement sa position car il y a retenue. Sur l'impulsion de lecture suivante, le digit B est transmis et le résultat est aussitôt renvoyé en mémoire.

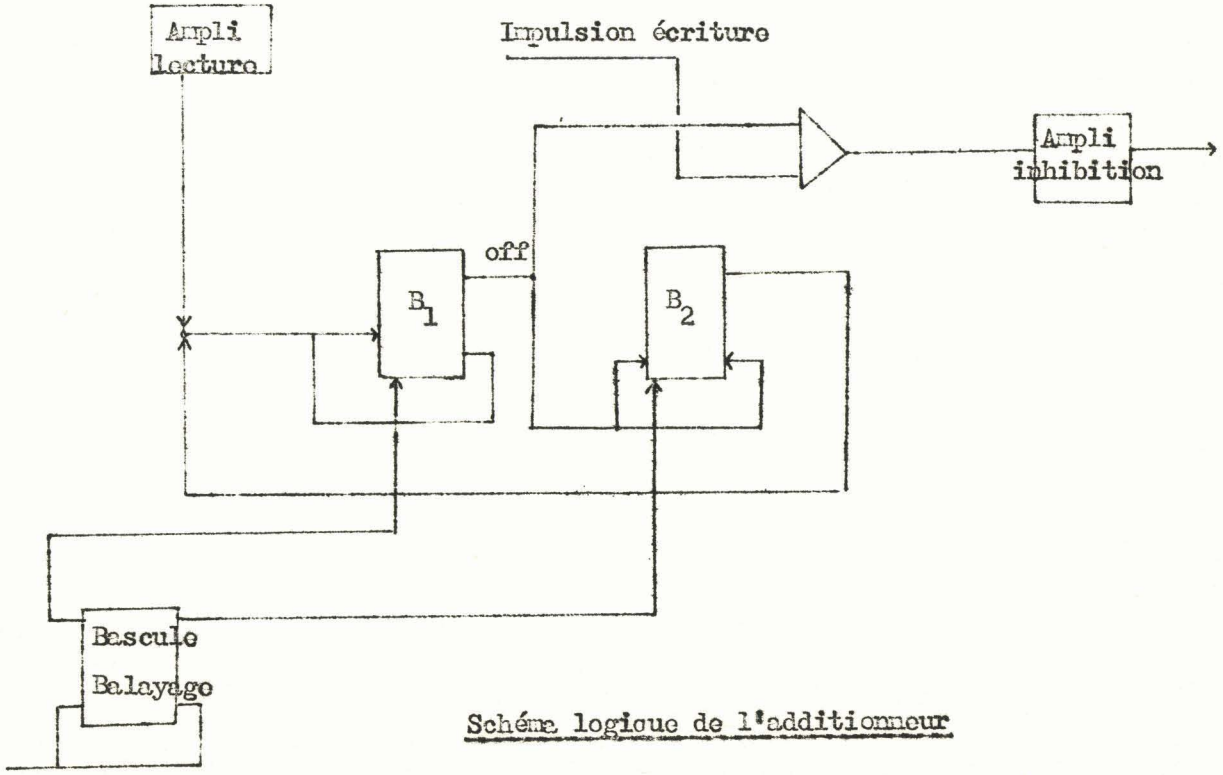


Schéma logique de l'additionneur

CONCLUSION

Le choix de l'un ou l'autre système est basé sur la simplicité du montage et sur les performances que l'on peut en attendre.

Pour ces dernières, si les bascules sont identiques, elles doivent être équivalentes et la seconde présente l'avantage de réclamer des impulsions qui n'ont pas à être mises en forme puisqu'elles ont toutes pour but de basculer des Eccles-Jordan. Il suffit qu'elles présentent des fronts de montée ou de descente assez raides.

Au point de vue simplicité, la seconde solution ne fait appel qu'à deux bascules au lieu de quatre pour la première. De plus, elle ne fait appel aux sorties de la première bascule de la chaîne de balayage que pour y trouver des impulsions de remise à zéro et non pas pour commander l'ouverture ou la fermeture de circuits logiques, ce qui charge beaucoup moins cette bascule. Une bascule peut toujours envoyer une impulsion au moment où elle s'inverse, mais il faut prendre plus de précautions si on désire que sa sortie débite en permanence dans un circuit "et" comme c'est le cas dans le montage à diodes.

C'est donc vers la seconde solution que nous nous tournerons.

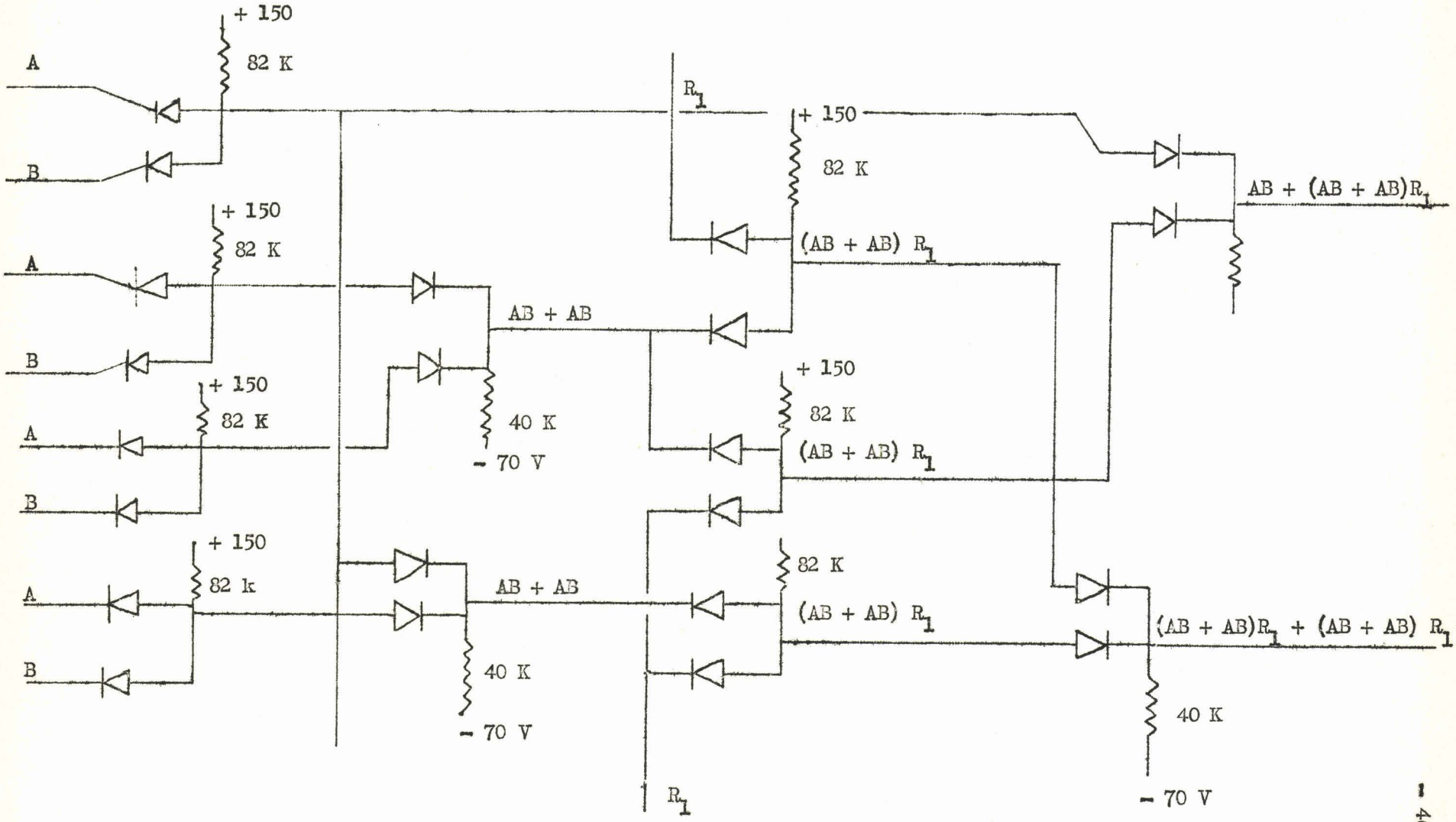


Schéma de l'additionneur à diodes

BU LILLE

DEUXIEME PARTIE

REALISATION ELECTRONIQUE DE LA MACHINE

Nous décomposerons encore le travail en plusieurs parties ; les différentes unités, que nous avons distinguées lors de l'étude logique, se retrouvent dans la réalisation pratique.

Pour pouvoir mener l'étude dans un ordre rationnel, nous avons fixé un plan de travail qui se décompose comme suit :

- Choix des tensions nécessaires.
- Estimation approximative des consommations de courant sur chacune des alimentations, déduite du nombre de tubes et de l'emploi de ces tubes.
- Réalisation des alimentations en respectant une certaine marge de sécurité par rapport aux prévisions, pour pouvoir soit ajouter des dispositifs supplémentaires, soit simplement parer à une erreur des prévisions.
- Réalisation :
  - de l'horloge et des circuits de contrôle de la machine,
  - des chaînes de balayage de la mémoire,
  - des amplificateurs de commande des fils de la matrice,
  - de l'amplificateur de lecture,
  - de l'additionneur.

Pratiquement, il est impossible de séparer à ce point les opérations car, comme la machine constitue un ensemble cohérent où toutes les unités agissent les unes sur les autres, l'étude d'une unité ne peut se faire sans tenir compte des autres.

Cette analyse du travail que nous avons crû devoir faire au début de l'étude s'est avérée un peu illusoire. Ainsi, par exemplé, le choix des alimentations est étroitement lié au types de circuits de commande des tores et au choix des bascules, qui sont nombreuses dans le montage. Nous avons donc mené de front plusieurs parties du plan initial.

L'HORLOGE

Résumons les propriétés de l'horloge telles qu'elles ont été définies dans l'étude logique :

L'horloge doit délivrer, sur trois voies différentes, des impulsions de commande ; elle doit pouvoir fonctionner soit à une fréquence élevée, soit à une fréquence très faible, qui puisse permettre de suivre sur les néons le déroulement des opérations, soit en commande manuelle pour l'inscription ou la lecture des données dans la mémoire.

L'arrêt et le départ doivent se faire à des instants déterminés du cycle des opérations et il faut prévoir la possibilité d'un arrêt automatique par un dispositif extérieur.

⁂

Compte tenu de ces impératifs, nous avons entrepris l'étude en partant des deux bascules qui constituent les éléments principaux de l'horloge, puisque ce sont elles qui commandent l'aiguillage des impulsions vers les différents organes de la machine.

Une bascule commandant un gate assure la commande du départ et de l'arrêt de l'horloge, en bloquant ou en les laissant passer vers les bascules de commande et vers les sorties des différentes lignes.

Le maître oscillateur est l'élément qui fournit les impulsions initiales. Nous aurons, en fait, deux oscillateurs pour pouvoir assurer le fonctionnement de l'horloge à deux fréquences déterminées.

Nous aurons, enfin, les circuits "et" d'aiguillage et les univibrateurs qui délivrent les impulsions de commande à l'extérieur, avec les caractéristiques de durée et d'amplitude convenables.

L'ensemble de ces circuits est relié au tableau de commande et de contrôle où des néons renseignent sur l'état logique des circuits et où se trouvent les boutons de commande des fonctions à effectuer.

LES BASCULES D'AIGUILLAGE

Ces bascules sont au nombre de deux et fonctionnent en compteurs binaires, c'est-à-dire qu'elles peuvent prendre, à elles deux, quatre positions logiques différentes.

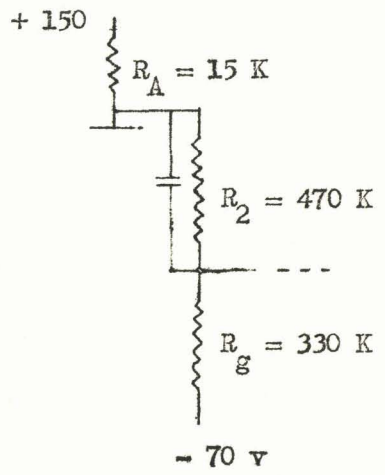
Deux principes nous ont guidé dans le choix des paramètres. En premier lieu, il faut pouvoir disposer d'une variation d'amplitude suffisante sur les anodes des tubes de la bascule pour pouvoir contrôler la position de chacune d'elle par des néons. En second lieu, il importe que l'on puisse charger les bascules par des impédances relativement faibles sans en perturber le bon fonctionnement. Ces impédances de charge sont, en fait, les circuits "et" que les bascules doivent contrôler.

La nécessité d'obtenir de grandes différences de tensions entre le tube bloqué et le tube conducteur, implique le choix de résistances importantes dans l'anode, ce qui entraîne des constantes de temps non négligeables lors des basculements.

La chute de tension aux bornes de la résistance de l'anode est proportionnelle à cette résistance et au courant qui y passe. Comme on ne

peut augmenter exagérément la valeur de cette dernière, sans perturber le fonctionnement, nous avons pensé, en premier lieu, employer des tubes de puissance. Par ailleurs, il est possible de brancher des charges plus importantes sur un tube, si son débit est plus important.

Nous avons choisi, pour un premier essai, un tube 6463. La haute tension étant fixée à + 150 volts, les caractéristiques du tube indiquent qu'il faut mettre une résistance au moins égale à 12 K pour obtenir les 70 volts d'excursion. Par mesure de sécurité, nous avons mis 15 k. L'anode bloquée se trouve alors à 150 volts tandis que l'anode conductrice est au potentiel de 60 volts. Les résistances qui forment le diviseur anode-grille ont été déterminées de façon à ne pas entraîner une chute de tension sur l'anode bloquée supérieure à 5 volts. Le point de retour étant fixé à - 70 volts, il est aisé de trouver que la résistance de la chaîne de retour doit être supérieure ou égale à 645 K. Le diviseur présente, en fait, une résistance de 800 k et il est formé de deux résistances de 330 K et 470 K en série. Les potentiels sur les grilles des deux tubes sont alors - 17 volts pour le tube bloqué et sans tenir compte du clamping ; + 20 volts sur le tube conducteur.



Pour équilibrer le montage, il faut ajouter une capacité telle que $R_{1_c} C_1 = R_g c_g$.

C_g représente la capacité parasite grille-masse. En fait, la valeur donnée par cette formule est une valeur inférieure limite.

Pratiquement, c'est cette capacité qui, par sa charge instantanée, provoque l'effet de bascule.

On peut faire un calcul approximatif de la valeur de cette capacité en faisant une hypothèse sur la constante de temps qui limite le temps de basculement. Cette constante de temps doit être de l'ordre de 0,2 à 0,5 microsecondes. Si nous faisons l'approximation du début de

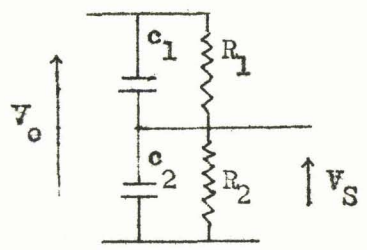
l'exponentielle à une sinusoïde, nous pouvons assimiler cette exponentielle à un quart de sinusoïde et en déduire la fréquence équivalente. On en déduit l'impédance de la capacité. On connaît, de plus, l'importance de la variation de tension d'anode et celle qui est nécessaire pour obtenir un passage franc de la grille du tube qui était conducteur en-dessous du cut off.

Le rapport de ces deux valeurs d'excursions de tensions donne une valeur approximative de la valeur de la capacité de liaison.

Nous avons mis en parallèle sur la résistance R_1 une capacité de 39 picofarads.

Il est bien évident que, ce faisant, nous avons déséquilibré le pont diviseur et que ce dernier ne passera plus correctement le signal carré que l'on applique à l'entrée.

Nous avons fait le calcul complet de la déformation apportée à un signal carré par un tel pont diviseur :



En posant :

$$\tau_1 = R_1 C_1 \qquad \tau = \frac{C_1 + C_2}{1/R_1 + 1/R_2}$$

on trouve que la tension de sortie est de la forme :

$$V_s = V_e \frac{R_2}{R_1 + R_2}\left[1 + \left(\frac{\tau_1}{\tau} - 1\right) \operatorname{Exp} - \frac{T}{\tau}\right]$$

On remarquera que l'on peut encore écrire :

$$\frac{\tau_1}{\tau} = \frac{C_1}{C_1 + C_2} : \frac{R_1 + R_2}{R_2}$$

Ce rapport indique l'amplitude relative de la déformation par rapport au signal carré parfait. indique la constante de temps apparente du pont diviseur.

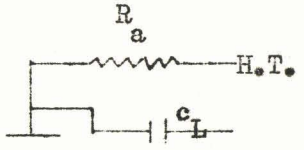
Si nous estimons à 5 picofarads, la capacité parasite C_2, nous pouvons calculer la constante de temps du montage diviseur.

On trouve alors une constante de temps de 0,9 microsecondes.

Cette valeur s'avère assez supérieure à ce que nous avions prévu pour déterminer la valeur de la capacité de liaison. On peut donc réduire la valeur de cette dernière.

En prenant 27 picofards, on conserve un rapport de tensions d'entrée sur tension de sortie convenable et on réduit la constante de temps à 0,5 microsecondes.

Il faut remarquer qu'une autre constante de temps intervient dans le temps de basculement ; c'est celle qui est formée par la résistance d'anode et la capacité de liaison, qui sont montées en parallèle avec un point commun sur l'anode du tube.



En première approximation, on peut considérer que le potentiel de la grille varie beaucoup moins que celui de l'anode. La constante de temps sera $R_a\ c_1$.

Dans le cas de notre montage, cette constante de temps sera de 0,4 microsecondes.

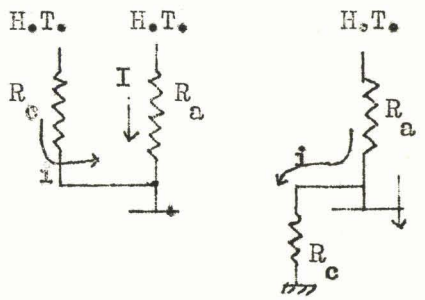
Si l'on veut tenir compte exactement de ces deux constantes de temps, il faut écrire les équations différentielles du tube et de ses montages auxiliaires et en déduire l'allure des courbes de basculement.

Pratiquement, seule la constante $R_a\ c_1$ limite la vitesse de basculement, car le pont diviseur agit en dérivateur surcompensé et l'amplitude de la tension, ramenée au début du basculement, est supérieure à celle que donnerait le pont en régime continu. Il a donc, de ce fait, tendance à accélérer le basculement.

On peut calculer aussi, de façon approximative, la charge que l'on peut mettre sur les anodes des tubes sans perturber le fonctionnement, mais il est difficile de déterminer des caractéristiques générales, car le basculement correct d'un Eccles-Jordan dépend aussi de la forme, de la durée et de l'amplitude de l'impulsion de commande.

Il faut, de plus, distinguer deux cas : celui d'abord où la charge retourne à un potentiel supérieur au potentiel de l'anode (le cas le plus défavorable sera alors de cas où le potentiel de cette anode est bas) et celui où la charge retourne à un potentiel négatif par rapport à celui de l'anode (le cas le plus défavorable est alors celui de l'anode haute).

On obtient pratiquement un ordre de grandeur de la charge admissible en calculant la variation de potentiel qu'elle entraîne sur l'anode et en fixant des limites inférieures et supérieures à ces variations suivant les cas.



Dans le cas où l'anode se trouve à un potentiel bas, il faut éviter de la charger trop par une impédance qui retourne à la haute tension, car, quand on procède ainsi, on fait remonter ce qui, outre la perturbation que cela peut apporter aux néons, entraîne un recul du cut off et une stabilité moins bonne du montage.

Une charge retournant à la masse sur une anode à un potentiel haut entraîne une chute du potentiel de cette anode et nuit de la même façon à la stabilité.

Sans tenir compte des perturbations que ces charges peuvent entraîner lors des basculements, nous avons déterminé les valeurs minima des impédances de charge, pour ne pas perturber la stabilité des bascules.

Nous avons trouvé :

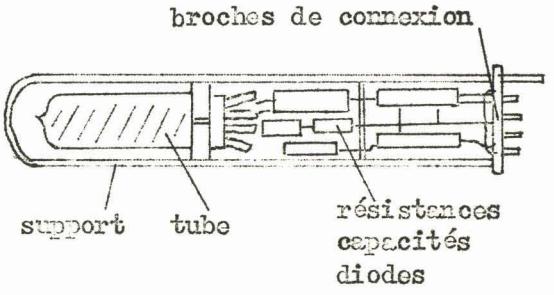
- vers la haute tension : $R_c = 70$ K
- vers la masse ..... $R_c = 120$ K

Or, il faut déjà mettre entre chaque anode un néon et une résistance en série et, pour que le néon s'allume correctement, il ne faut pas dépasser une résistance série de 300 K. Ceci limite encore la valeur de l'admittance que l'on peut disposer sur les anodes.

Pratiquement, ces circuits de charge seront des circuits "et" à diodes ou des circuits de gate qui représentent des charges de l'ordre de grandeur de celle que la bascule peut supporter.

Il semble donc que ces bascules puissent convenir. avons-nous câblé une pour vérifier expérimentalement les caractéristiques données par le calcul.

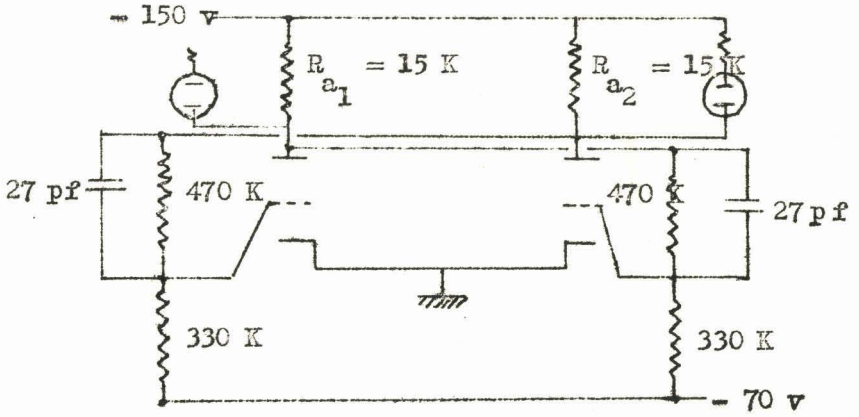
Comme tous les éléments logiques que nous monterons par la suite, la bascule est disposée sur un plug enfichable qui comporte le tube et tous les circuits annexes.



La figure ci-contre donne l'allure de cette unité. La base de l'unité enfichable comporte dix broches qui servent à apporter à l'unité les tensions de chauffage des filaments, les tensions de polarisations, les entrées et les sorties logiques.

Les unités sont enfichées sur une porte au dos de laquelle se trouvent les connexions entre les différentes parties du montage et les arrivées des tensions.

En haut et en bas de la porte, se trouvent des plaquettes de connexions qui permettent de relier des unités à des organes extérieurs qui seront, en particulier le tableau de contrôle et de commande et les transformateurs servant à l'écriture et à la lecture des informations contenues dans la mémoire.



Le schéma ci-contre indique le montage de la bascule et les valeurs numériques des

circuits passifs qui sont associés au tube de puissance 6463.

Nous avons monté, de plus, sur chaque anode, un néon en série avec une résistance de 200 K.

ESSAIS DE LA BASCULE

Les essais ont été effectués à l'aide d'un générateur de signaux PHILIPS, pouvant délivrer, avec une amplitude variant entre 0 et 40 volts, des signaux carrés de fréquences comprises entre 16 Hertz et 200 kilohertz, de rapport cyclique variable et qui peuvent être rendus, au choix, positifs ou négatifs.

C'est ce générateur qui nous servira tout au long des mesures.

Lors des premiers essais, la bascule était attaquée par les impulsions en symétrique à travers deux capacités de 100 picofarads, mais ne parvenait pas à changer d'état. Aussi avons-nous ajouté deux diodes qui formaient circuit d'aiguillage.

Voici les caractéristiques que nous avons mesurées :

- .temps de montée de l'ordre de 1 microseconde
- .temps de descente inférieur à toute valeur mesurable sur l'oscillographe
- .hauteur des impulsions nécessaires au basculement 10 volts
- .par contre, alors que toutes ces caractéristiques s'avèrent satisfaisantes, la mise en parallèle sur les anodes d'une charge supérieure à 0,5 micromhos - ce qui correspond à 200 kilohms - et retournant vers la masse, empêche le basculement.

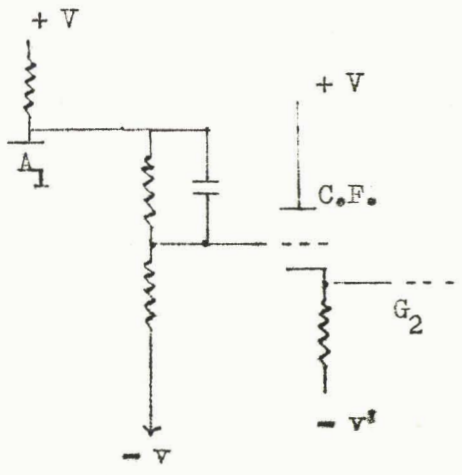
Cette valeur limite de la charge est trop faible pour que le tube puisse commander directement les circuits d'aiguillages qui sont au nombre de deux par anode.

Par ailleurs, il pourrait être intéressant de diminuer un peu la durée du basculement.

Partant de ces deux principes, nous avons eu l'idée, qui s'est trouvée par un schéma du livre de M. RICHARD : "Calculateurs Numériques", de scinder les deux fonctions de bascule et de commande de puissance des circuits d'aiguillage.

Nous avons montré plus haut que la puissance que peut débiter un circuit monté sur une bascule est d'autant plus importante pour une perturbation égale sur l'état de la bascule que la résistance sur laquelle on la prend est faible. D'un autre point de vue, il est plus intéressant de disposer de deux niveaux logiques qui soient représentés par des tensions disposées de part et d'autre de la masse. Ces considérations font porter le choix sur un montage du type "cathod follower".

Le montage consiste à disposer, entre l'anode et la grille, un pont diviseur qui, au lieu d'attaquer directement la grille de l'autre tube, attaque la grille d'un cathod follower. C'est la cathode du cathod follower qui commande la grille de la bascule.



On peut alors charger de façon plus importante les sorties de la bascule qui sont constituées par les cathodes des cathod followers.

Il est à remarquer, de plus, que les temps de basculement sur les grilles, c'est-à-dire aussi sur les cathodes des tubes de sortie, sont beaucoup plus courts que sur les anodes, car les résistances qui entrent dans les constantes de temps sont réduites à des valeurs très faibles.

Le temps de basculement des anodes n'ayant plus la même importance que pour une bascule ordinaire, on peut prendre un tube moins puissant que le 6463 et des résistances d'anodes plus importantes. Il faut, cependant, tenir compte du fait que le tube étant relié par sa grille à un générateur d'impédance interne très faible doit pouvoir supporter des

courants grille importants. Nous avons donc choisi le tube 6211 qui peut, sans dommage, supporter un courant grille de 1 à 2 milliampères.

Nous conserverons le tube 6463 pour le cathod follower qui, pour pouvoir supporter des charges importantes, doit débiter un fort courant dans sa résistance de cathode.

Compte tenu de ces modifications, nous avons déterminé les valeurs des éléments qui entrent dans le montage de la même façon que pour la bascule initiale en tenant compte de l'allumage des néons et des valeurs des tensions de polarisations disponibles.

La bascule occupe alors deux unités enfichables, l'une pour la bascule proprement dite, l'autre pour les cathod followers.

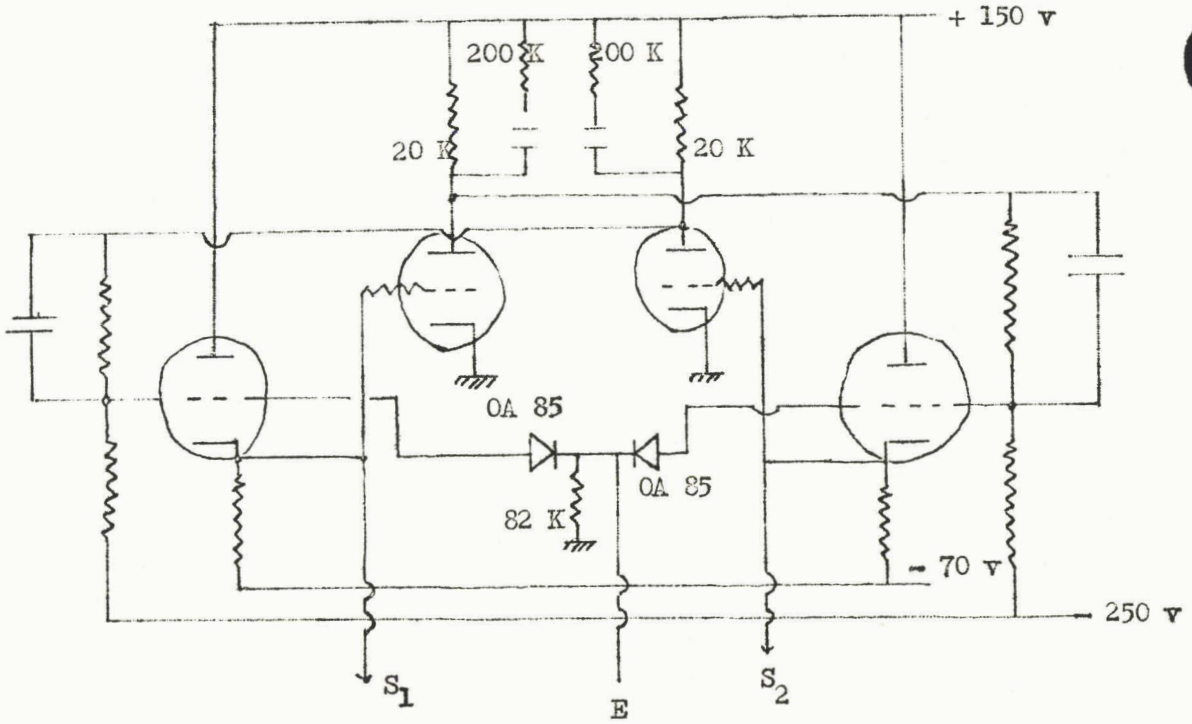


Schéma de la bascule avec les cathod followers

Le circuit d'attaque est formé de deux diodes montées en sens inverse et reliées à la masse par une résistance telle que sa valeur, compte tenu de la capacité de liaison, qui est de 18 picofarads, dérive un signal carré à l'entrée et en fasse une impulsion qui ait les caractéristiques

voulues. Quand une grille est au potentiel bas, la diode est bloquée, mais elle est conductrice pour la grille qui se trouve au potentiel haut. L'impulsion négative de commande ne viendra donc que sur le tube qui est conducteur et aura pour effet de le bloquer et donc de basculer le montage.

Nous avons mesuré un temps de basculement sur les anodes de l'ordre de 1,5 microsecondes, mais nous n'avons pu mesurer le temps de basculement des cathodes. Nous avons seulement constaté, sur ces électrodes, que, pour un signal d'entrée à une fréquence de 200 kHz, les signaux de sortie sont parfaitement carrés, exception faite de la déformation qu'apporte l'impulsion de commande elle-même.

Les caractéristiques en charges se trouvent aussi notablement améliorées et une résistance de 20 K, ramenée à la masse, ou une résistance de 50 K vers la haute tension, ne perturbent pas le basculement.

Il entre, dans le montage, trois bascules de ce type :

- deux pour la commande d'aiguillage des impulsions
- une pour la commande départ-arrêt des circuits d'horloge.

Ce type de bascule sera, de plus, utilisé chaque fois que l'on aura besoin de sorties de puissances dans le montage.

LES GENERATEURS D'IMPULSIONS

Nous avons montré qu'en plus de la fréquence normale de travail, il pouvait être utile de disposer d'un générateur T.B.F., qui permette de suivre le déroulement des opérations sur les voyants du tableau de contrôle.

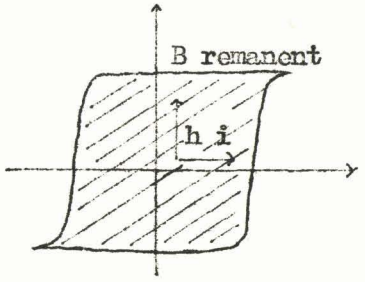
Comme on ne peut envisager de construire deux circuits d'horloge pour ces deux fréquences très différentes, il faut que seuls les générateurs de base assurent ces fonctions.

CHOIX DES FREQUENCES

La fréquence supérieure est limitée par des considérations technologiques sur les bascules d'une part et sur les tores magnétiques.

Nous savons qu'à moins d'adopter des montages à penthodes et des dispositifs de clamping sur les anodes des bascules, il est difficile d'obtenir des temps de basculements supérieurs à 0,2 microsecondes. La chaîne de balayage comporte des bascules qui, dans le cas le plus défavorable, sont quatre à basculer les unes à la suite des autres. Il faut donc compter sur un retard de 1 à 2 microsecondes avant que les bascules d de la chaîne de balayage ne puissent indiquer la nouvelle position d'adresse.

Les tores magnétiques limitent eux aussi la vitesse de l'horloge. En premier lieu, le cycle d'hystérésis présente une surface importante qui, si l'on fait l'approximation de la rectangularité parfaite, est égale au produit du flux rémanent par Ni, induction nécessaire au basculement du tore et multipliée par quatre.



Cette surface est équivalente à une énergie. Ecrivons, en effet, l'équation aux dimensions de ce produit :

$$Ni = L^{3/2} M^{1/2} T^{-2} = L^{1/2} M^{1/2}$$

Le produit donne bien $L^2 M T^{-2}$, qui représente un travail ou une énergie.

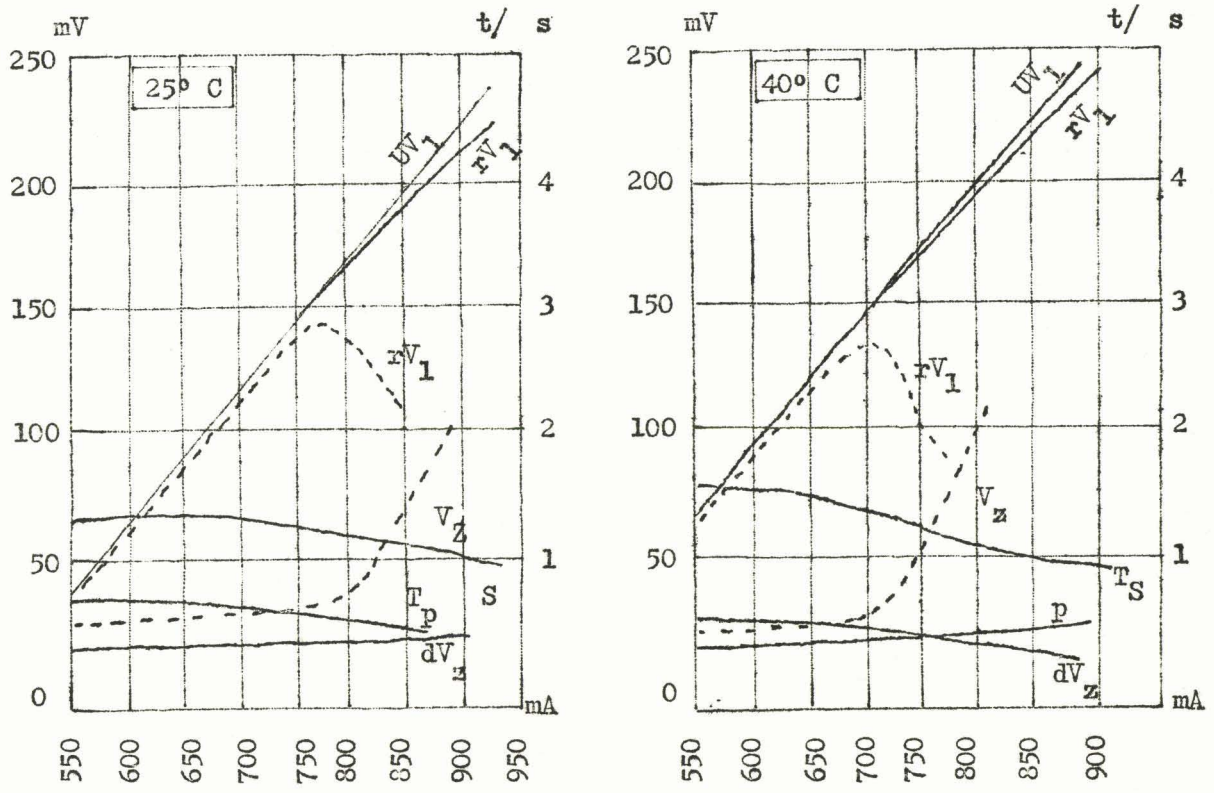
Cette énergie est perdue sous forme calorifique dans le matériau magnétique. On sait que la forme du cycle s'altère avec la température. Nous donnons, à titre d'exemple, les courbes caractéristiques du matériau à 25° et à 40° centigrades.

En second lieu, au-dessous d'une certaine durée de basculement le cycle se déforme sous l'effet de ce que l'on pourrait appeler l'inertie de basculement des tores. Cette déformation se traduit par la nécessité

d'augmenter le courant de commande des tores. On peut réaliser des mémoires plus rapides en employant ce procédé, mais on ne peut plus employer, alors, le système de la sélection à coïncidence de courant, sous peine de perturber gravement les impulsions qui seront produites sur la ligne de lecture.

Une mémoire expérimentale où les courants de commande sont effectivement de 4 à 5 fois plus importants que le courant nominal a été construite dans les laboratoires du M.I.T. Chaque position de mémoire comporte alors trois tores, deux d'entre eux servant uniquement à la sélection rapide du troisième. La durée du cycle complet a pû être abaissée ainsi à 1 microseconde.

BU LILLE



Ces courbes donnent les valeurs U V_1 et R V_1 des signaux de sortie du tore, avant et après une impulsion de demi-courant de lecture.

Elles donnent aussi les durées T_p au bout de laquelle l'impulsion N de sortie est maximum et T_s au bout de laquelle l'impulsion de bas-

culement est terminée. On peut remarquer les deux phénomènes signalés plus haut : altération des caractéristiques avec la température et diminution de T_p et T_s avec le courant de commande qui croît.

d V_z représente la valeur de l'impulsion parasite. On peut remarquer qu'à partir d'une certaine valeur du courant, la pente de la courbe de d V_z est plus importante que celle de u V_1. On a donc avantage à fixer le courant de commande au point d'inflexion de cette courbe, car c'est en ce point que l'on obtiendra un rapport signal sur bruit optimum.

La position du point d'inflexion dépend de la température et il est difficile d'évaluer la température des tores. Aussi prendrons-nous une valeur de l'impulsion de 800 mA et une durée de cette dernière, comprise entre 2 et 3 microsecondes, ce qui représente des valeurs assez usuelles.

Cette diversion sur les tores nous a permis de trouver l'ordre de grandeur de la fréquence de l'oscillateur pilote. Compte tenu des bascules et des tores, il semble qu'une durée de 5 microsecondes entre chaque cycle élementaire soit possible.

Cette durée correspond à une fréquence de 200 kilocycles par seconde.

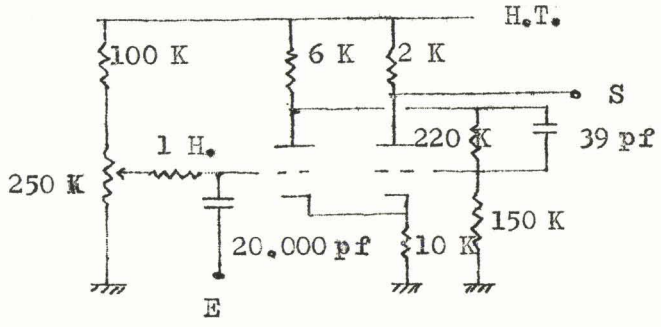
Nous avions pensé utiliser, au début, comme oscillateur, un trigger de Schmidt et nous avons effectivement réalisé ce montage. L'avantage de la bascule de Schmidt est qu'elle fournit des signaux rectangulaires à partir de signaux rectangulaires ou carrés et quelle que soit la fréquence de ces signaux. Cela offrait donc des possibilités très vastes de synchronisation soit par des oscillateurs internes (multivibrateurs ou oscillateurs R C), soit par un signal externe carré ou sinusoïdal.

Ce type de montage présente, cependant, deux inconvénients :

- En premier lieu, il est difficile de charger beaucoup la bascule sans augmenter la résistance de l'anode du tube de sortie, ce qui retarde le basculement.

- Par ailleurs, le réglage du rapport cyclique est délicat et peut varier dans des proportions importantes avec les résistances du mon-

tage ou simplement avec le vieillissement du tube. Il faudrait donc, pour lui conserver une valeur voisine de 1, introduire un potentiomètre dans le montage, ce qui est peu pratique, vu le caractère standard des éléments employés.



Tube 12 AU 7

Nous donnons à titre indicatif le schéma de la bascule que nous avons réalisée.

Le temps de basculement est de l'ordre de 2 microsecondes et l'amplitude de la tension recueillie sur l'anode de droite, de l'ordre de 30 volts.

Une tension alternative de 10 volts d'amplitude suffit à synchroniser la bascule.

Pour éviter les inconvénients signalés à propos de la bascule de Schmidt, nous avons été conduits à employer des multivibrateurs. Le rapport cyclique de la tension carrée fournie par ce type de montage est beaucoup plus stable et son fonctionnement est moins délicat.

Pour obtenir des fronts de montée assez raides, il faut employer des résistances faibles dans l'anode et donc pour des variations importantes de tensions, il faut avoir de gros courants. Pour ces raisons, nous avons fait encore appel à des tubes 6463.

La haute tension étant toujours de 150 volts et sachant que nous désirions une amplitude minimum de tension crête à crête de 50 volts, il est simple de calculer la résistance à mettre dans les anodes.

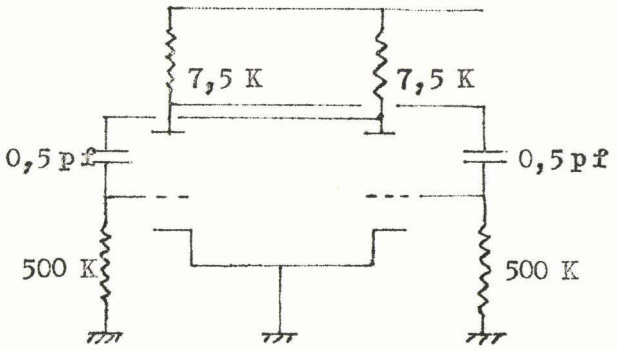
La période du montage peut se calculer en sachant l'amplitude de l'impulsion de tension envoyée sur les grilles et en connaissant la constante de temps du circuit R C qui se trouve entre l'anode d'un tube et la grille de l'autre.

Pratiquement, il est plus simple de calculer une valeur approximative et d'ajuster ensuite la fréquence en jouant soit sur les résistances, soit sur les capacités.

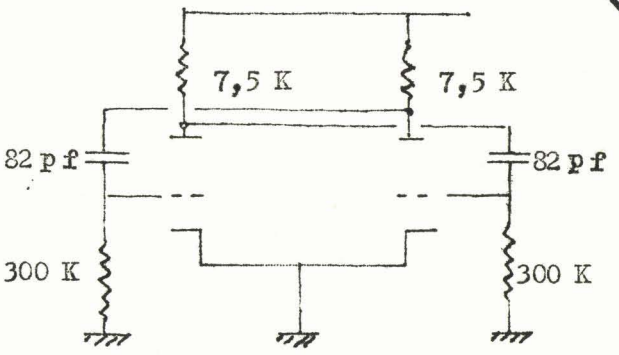
Nous avons réalisé deux multivibrateurs, l'un devant servir à la marche rapide de l'horloge, l'autre pour la marche lente de contrôle du fonctionnement.

En raison de l'importance des capacités de liaison qui entrent dans la constitution de la source lente de signaux carrés, il est impossible de câbler tout le montage sur la même unité. Aussi avons-nous disposé les deux capacités sur une unité séparée.

BU LILLE



Multi B.F.



Multi H.F.

Schéma des deux multivibrateurs

Sachant que les résistances dans les anodes des deux montages sont identiques et que nous employons les mêmes tubes, les caractéristiques autres que la fréquence de récurrence doivent être identiques. Les signaux doivent, en particulier, avoir la même amplitude et les temps de basculement des deux montages doivent être du même ordre.

Nous avons mesuré pour les deux montages une amplitude des signaux sur les anodes de l'ordre de 70 volts.

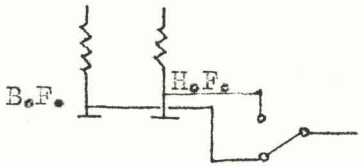
Par suite des capacités parasites dues à la présence des câblages supplémentaires des capacités sur une unité auxiliaire, le temps de

montée de la source basse fréquence est légèrement supérieur à celui de la source H.F.

Dans les deux cas, ce temps ne dépasse pas la microseconde.

COMMUTATION DES DEUX FREQUENCES

La commutation des fréquences doit pouvoir se faire sur le tableau de commande. Nous avons pensé, initialement, disposer sur ce tableau un commutateur qui se ferme soit sur l'un, soit sur l'autre des multivibrateurs. La sortie de ce commutateur étant toujours reliée à l'élément suivant de l'horloge.



Cette disposition, qui paraît la meilleure sur le plan logique, est cependant gênante car les signaux qui doivent parcourir ainsi un trajet très long ont des temps de montée très brefs et risquent d'être intégrés fortement, par suite des capacités parasites qui seront ainsi rendues importantes.

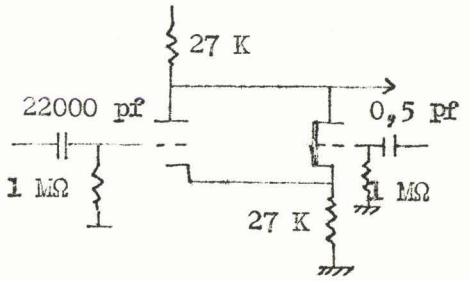
Nous avons remplacé cette solution par une commutation des tensions d'alimentations des deux sources de signaux. Le + 150 volts qui arrive sur le tableau de commande est aiguillé soit sur l'une, soit sur l'autre multivibrateur. La longueur des connexions ne joue alors plus car il y passe du courant continu.

Cette solution entraîne cependant une difficulté car il faut prévoir un circuit "ou" qui reçoit les signaux des deux sources et qui les transmet aux organes suivants mais qui élimine les interactions entre les deux multivibrateurs.

Si nous nous contentons, en effet, de les coupler sans précautions sur la grille du tube suivant, les impédances de sorties se trouveront en parallèle et les signaux carrés fournis par une des deux anodes seront déformés par les circuits R C de l'anode de l'autre source.

Ce circuit mélangeur présente un autre intérêt. Comme les fronts de descente des multivibrateurs sont plus raides que les fronts de montée, nous avons intérêt à commander les bascules à partir de ces premiers. Mais il faut interposer entre les multivibrateurs et les bascules un gate qui, commandé par la bascule de "départ-arrêt", autorise ou empêche le passage des impulsions. Or, dans une logique à tubes telle que celle que nous employons, il est plus simple de faire un gate à impulsions positives qu'à impulsions négatives. Comme nous avons besoin d'impulsions négatives pour commander les bascules, il faut employer un nombre pair d'inverseurs.

Le mélangeur constitue un inverseur ; le gate constitue l'autre. Ainsi, les fronts de descente des multivibrateurs seront bien des impulsions de commande négatives.



Tube 6211

Le circuit qui servira de circuit "ou" en même temps que d'inverseur, sera constitué de triodes qui seront reliées chacune par leur grille à l'un des multivibrateurs et qui comporteront une résistance commune dans les anodes.

La polarisation des tubes s'obtient par une résistance de cathode. Comme il n'est pas nécessaire d'obtenir un gain important, nous n'avons pas introduit de capacités en parallèle sur ces résistances. Il aurait d'ailleurs fallu mettre une résistance très grande sur le tube basse fréquence pour qu'elle puisse avoir quelque influence sur le gain.

En dépit de cette précaution, nous avons cependant décelé une légère influence d'un circuit sur l'autre, mais cette interaction, très faible, ne s'est pas avérée gênante. Pour une excursion de l'ordre de 100 volts sur une des grilles, nous avons mesuré une tension de 0,3 volts sur l'autre grille. Cette interaction est probablement due en partie aux capacités parasites du câblage et peut-être à un certain courant grille dans les tubes.

La capacité qui se trouve du côté du multivibrateur basse fréquence est beaucoup plus importante que l'autre, de façon à ne pas trop dériver le signal, la dérivation qui permet d'obtenir les impulsions de déclenchement des bascules se faisant à l'entrée de ces dernières.

Cette capacité de 0,5 microfarad se trouve sur une unité enfichable séparée.

L'UNITE DE GATE

L'unité de gate a pour but de permettre ou d'empêcher le passage des impulsions de commande des multivibrateurs vers les bascules de l'horloge. Ce gate est lui-même commandé par une bascule d'arrêt-départ du même type que celle que nous avons précédemment décrite.

Les niveaux logiques sur les cathod followers de sortie de cette bascule sont respectivement de + 10 volts pour la position "on" et de - 35 volts pour la position "off".

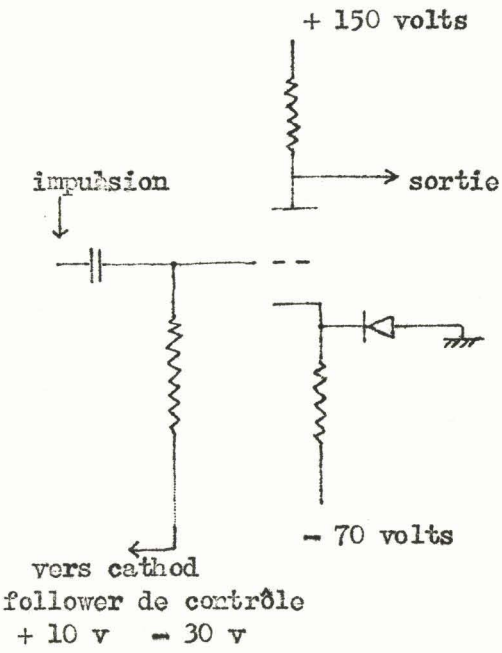
Les fronts de descente que nous employons et qui sont fournis à la sortie des multivibrateurs, ont été transformés par le mélangeur en fronts de montée et si nous dérivons un peu le signal à l'entrée de l'unité de gate, nous aurons, pour ces dernières, des impulsions positives.

C'est pour avoir des impulsions positives à l'entrée du gate que nous avons préféré le mélangeur à tubes au mélangeur à diodes plus simple a priori.

On peut commander un gate par sa grille ou par sa cathode. Nous avons éliminé cette seconde solution car elle réclame plus de puissance de la part de la bascule de contrôle et risque plus de perturber son fonctionnement.

Comme, d'autre part, le signal de contrôle et le signal à contrôler ne se trouvent pas aux mêmes niveaux de tensions, l'un provenant d'une cathode, l'autre d'une anode, nous ne pouvons réaliser un circuit "et" à diodes sans égaliser les niveaux, ce qui réclamerait au moins un tube supplémentaire.

Nous avons donc opté pour la solution qui consiste à définir le niveau de la grille du tube à partir de la tension qui se trouve sur la cathode de la bascule. Quand la bascule est "off", sa cathode entraîne une tension sur le grille, suffisamment basse pour que l'impulsion ne puisse passer et que le tube se trouve toujours bloqué. Quand, au contraire, la cathode est haute, le tube se trouve débloqué ou très près du cut off de façon que l'impulsion soit transmise.



Comme les excursions de tension sont très importantes sur la grille, nous avons choisi comme tube le 6211 qui admet des courants grille importants et nous avons monté le gate en cathod follower. Comme, cependant, la cathode doit rester à un certain niveau et ne pas suivre la grille dans tous les cas, nous avons disposé une buttée à diode.

Quand la grille descend, la cathode la suit jusqu'à ce que la diode se débloque. Elle fixe alors le potentiel minimum de cette dernière à la masse. Le gate ne se comportera donc en cathod follower que quand le potentiel de sa cathode sera supérieur à celui de la masse.

Le choix des valeurs numériques des éléments est simple. La diode pourra être d'un type courant OA 85 ou OA 86 par exemple. Pour pouvoir utiliser une telle diode, il faut qu'elle n'ait pas à débiter un courant trop important. Aussi choisirons-nous une résistance de cathose assez élevée.

Si nous voulons limiter le courant à 2 milliampères, nous prendrons $R_k = 33$ K.

Compte tenu de ce courant et du gain que nous voulons obtenir

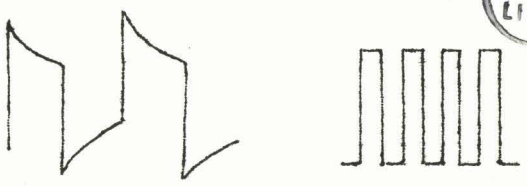
sur le tube, nous pouvons déduire la valeur de la résistance de plaque. Nous savons que, pour basculer les Eccles-Jordan qui suivent, il faut une impulsion qui fasse au minimum une dizaine de volts ; or, les fronts de montée qui proviennent du mélangeur ont une amplitude approximative de 15 volts.

Le gain est, en première approximation, égal à R_p/R_k, si on suppose l'amplitude de la tension d'entrée faible vis à vis de la tension de polarisation de cathode.

Pour avoir un gain de 2, il faut prendre R_p = 66 K. Comme l'expression du gain est, en fait, différente de celle que nous avons donnée et inférieure à cette valeur, nous avons pris 80 K.

ATTAQUE DES BASCULES

B.F. H.F.



Les signaux de commande ont la forme indiquée par les figures ci-contre.

Comme nous voulons commander les bascules par les fronts de descente de ces signaux, il suffit de dériver fortement ces derniers.

Une capacité de 18 pF joue ce rôle et se trouve reliée à l'entrée des deux bascules.

CHAINE DE BASCULES

Nous avons vu que, pour définir les opérations de chaque cycle, il fallait deux bascules attaquées sur leurs deux entrées et montées en compteurs binaires. La sortie "on" de la première est reliée à l'entrée de la seconde par une capacité de 18 pF qui joue le même rôle de dérivation que l'autre.

Chacune des anodes de ces bascules est reliée à un néon qui indique leur état.

BU LILLE

LES CIRCUITS "ET" D'AIGUILLAGE

Les bascules en série que nous avons décrites et qui sont périodiquement attaquées par des impulsions, définissent quatre positions que nous appellerons par la suite 00 - 10 - 01 - 11.

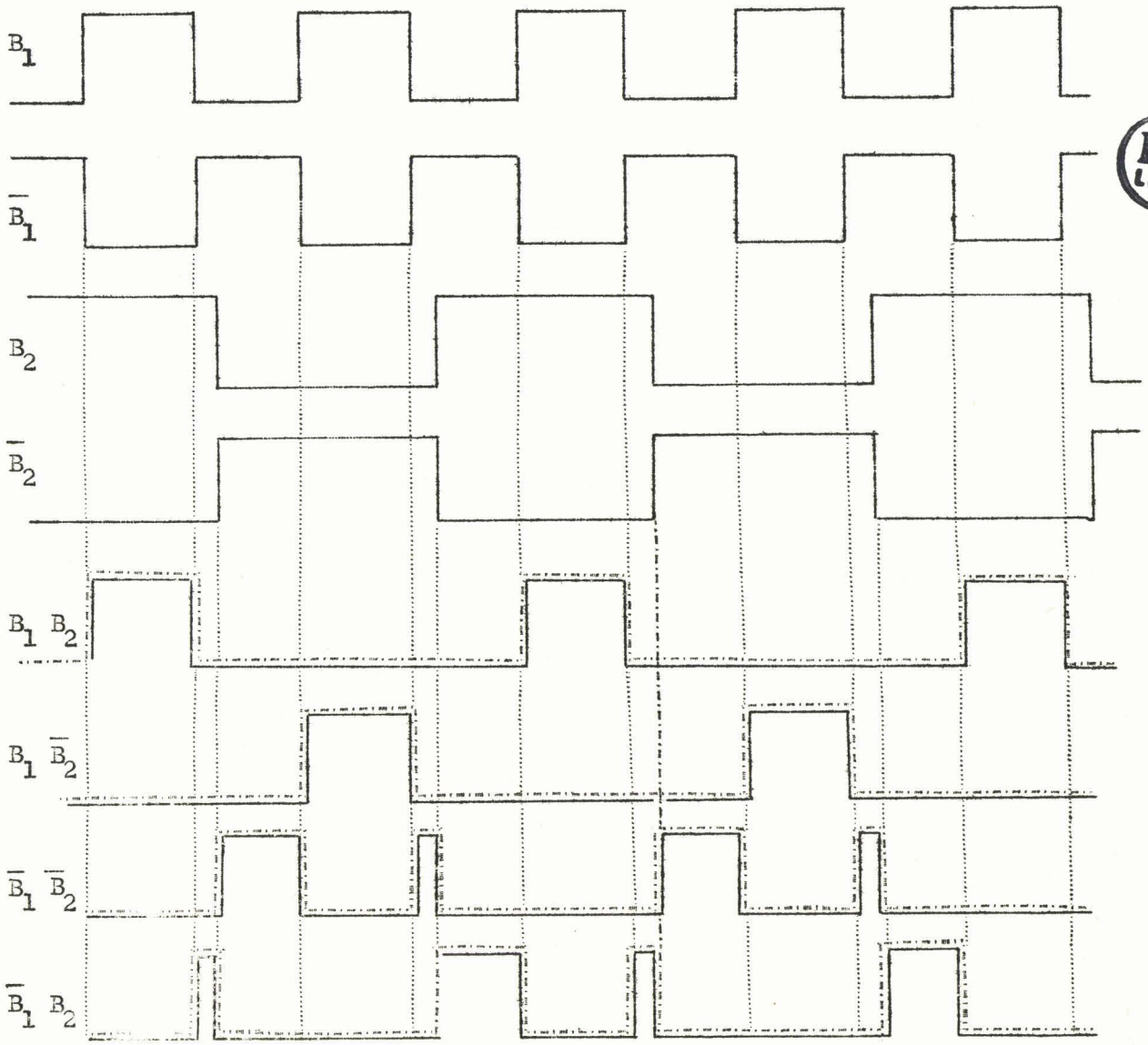
Le rôle des circuits "et" que nous avons à construire est de présenter une position haute dans le seul cas où l'une de ces quatre positions est formée et d'être bas quand ce sont les autres positions qui se présentent.

Nous avions remarqué qu'il suffisait de quatre configurations possibles pour que l'horloge puisse remplir son rôle. En toute rigueur, il suffirait de trois positions pour ouvrir l'une des trois voies aux impulsions de commande. Cependant, comme nous travaillons en binaire, nous avons éliminé la solution d'un circuit à trois positions stables. Deux raisons autres qu'un désir de cohérence nous y ont poussé : la première est que la stabilité des configurations que présente un système est en raison inverse du nombre de ces configurations. Nous avions déjà mentionné la seconde dans l'élaboration logique, à savoir qu'il pourrait être intéressant de disposer d'un temps plus long entre l'impulsion de lecture et l'impulsion d'écriture, ce temps étant employé à effectuer les calculs dans l'additionneur.

Avant d'entrer dans la technologie des circuits, il faut considérer dans le détail le déroulement des cycles d'opérations que l'on appelle parfois le "timing".

Le timing montre que, en exagérant les temps de basculement des Eccles-Jordan, il faut prendre certaines précautions en établissant les circuits "et" d'aiguillage. Nous voyons, en effet, sur les graphiques de la page suivante que les temps de basculement peuvent entraîner des parasites dont l'effet risque de perturber le système.

Si nous traçons les signaux disponibles sur les cathodes des cathod-followers de chaque bascule en exagérant les retards de basculement



Timing des bascules et des signaux sur les circuits "et"

BU LILLE

de la seconde bascule par rapport à la première, nous pouvons voir ce qu'un circuit "et" idéal donnerait si on le commandait par ces cathodes.

Si nous nommons B_1 et $\overline{B_1}$ les deux sorties de la première bascule et B_2 et $\overline{B_2}$ celles de la seconde, nous pouvons effectuer les quatre combinaisons :

$$B_1\ B_2 \qquad B_1\ \overline{B_2} \qquad \overline{B_1}\ B_2 \qquad \overline{B_1}\ \overline{B_2}$$

Il faut convenir, de plus, que la seconde bascule s'inverse sous la commande de fronts de descente de la cathode B_1.

Toute la discussion tient au fait que ce front de descente de la première bascule se produit alors que la seconde est encore dans sa position stable et donc que le front de montée ou de descente de la seconde bascule aura un certain retard sur celui de la première.

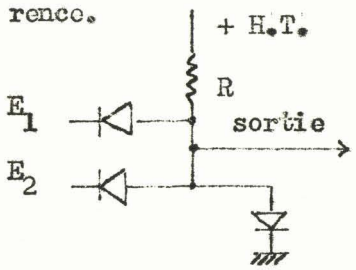
C'est ce retard entre les basculements qui entraîne la présence d'impulsions parasites.

En fait, nous n'avons fait cette étude qu'après avoir construit un circuit expérimental et avoir constaté la présence d'une impulsion parasite sur l'oscillographe.

Nous verrons, plus loin, en quoi intervient cette impulsion et comment on peut la neutraliser.

CONSTITUTION DU CIRCUIT "ET"

Les niveaux de sortie hauts et bas des cathod followers sont respectivement de l'ordre de + 10 volts et - 40 volts. Ils encadrent donc le niveau de la masse et c'est ce dernier que nous prendrons comme référence.



Le circuit "et que nous avons construit est du type classique à diodes. La valeur de la résistance R est optimum quand on la prend comme la moyenne proportionnelle des résis-

tances directes et inverses des diodes. Comme ce circuit attaque la grille d'un tube, il n'y a pas à tenir compte de la résistance de charge qui peut être considérée comme infinie.

Les résistances directes et inverses, mesurées sur un lot de diodes OA 85, sont de l'ordre de :

$$R_d = 150 \text{ ohms} \qquad R_i = 5.10^6 \text{ ohms}$$

La moyenne géométrique de ces deux valeurs sera donc un peu inférieure à 100 kiloohms. Nous avons pris 90 kiloohms.

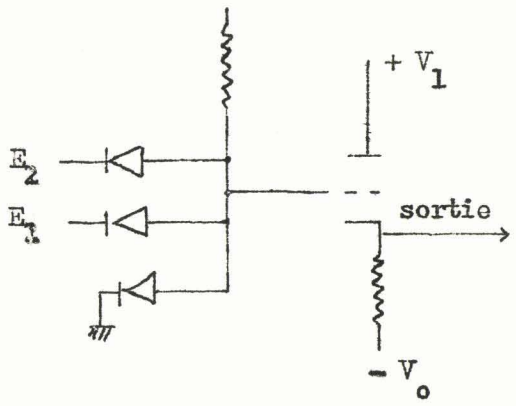
Considérons d'abord que les deux entrées ou l'une d'entre elles se trouvent basses, c'est-à-dire au potentiel de - 40 volts. La ou les diodes qui sont sur ces entrées, conduisent et la diode qui se trouve reliée à la masse est bloquée. Le potentiel de la sortie sera donc celui des entrées aux chutes de tensions près dans les diodes qui sont négligeables.

Dans le cas contraire où les deux entrées sont hautes en même temps, la sortie se trouve portée à un potentiel supérieur à celui de la masse et la diode qui est reliée à la masse conduit. Le circuit "et" est alors haut.

Nous pouvons assimiler la sortie à un diviseur de potentiel composé de la résistance R d'une part, de la diode d'autre part. Pour que ce diviseur soit le plus efficace dans les deux cas, il faut qu'il présente un rapport voisin de 1 quand les deux entrées sont hautes et voisin de zéro quand l'une des entrées ou les deux sont basses. Cette constatation justifie le choix de la valeur de la résistance R.

Les mesures effectuées sur le prototype ont confirmé la validité de ce choix et le circuit fonctionne parfaitement, à l'exception de l'impulsion parasite déjà signalée et qui se présente quand on réunit les entrées à la sortie $\overline{B_1}$ de la première bascule.

La sortie du circuit "et" est reliée à la grille d'un tube qui est bloqué quand l'une des entrées ou les deux sont basses, soit conducteurs. Ce tube est monté en cathod follower.



Nous disposons donc sur la cathode du tube le signal désiré et à basse impédance, ce qui permet de le charger sans craindre de difficultés.

Nous avions pensé, au début, employer directement les fronts de montée et de descente des signaux carrés qui se manifestent sur les cathodes pour commander les circuits suivants.

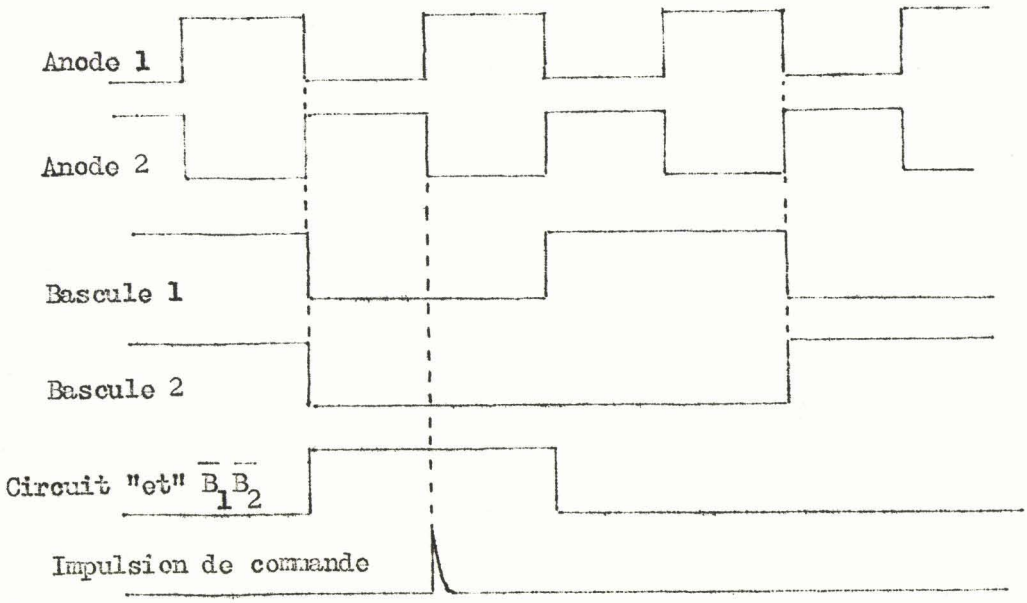
La présence de l'impulsion parasite empêche de procéder de cette façon.

Le circuit "et", que nous avons ainsi constitué, servira de gate à une impulsion provenant des multivibrateurs, mais n'aura lui-même aucun effet sur les circuits suivants. De cette façon, l'impulsion parasite est éliminée et n'est plus gênante, à condition qu'elle ne se présente pas au même moment que l'impulsion de commande proprement dite.

L'impulsion de commande qui se présentera à l'entrée du gate doit donc répondre à deux impératifs, elle doit avoir exactement la même fréquence que les impulsions de commandes des bascules et doit, par ailleurs, être séparée dans le temps de ces impulsions.

La solution la plus simple est alors de prendre les fronts de descente des anodes des multivibrateurs qui définissent le signal de base, mais de prendre le signal sur les autres anodes. Nous aurons alors un signal en opposition de phase, si l'on peut employer cette expression pour des signaux carrés. Les fronts de descente de ces signaux se produiront au moment où les bascules recevront un front de montée qui n'a sur elles aucune influence et donc, à un instant où elles se trouveront en une position stable.

Le timing donné ci-après illustre cette explication.



BU LILLE

Cette solution présente, cependant, un inconvénient, car elle entraîne la nécessité de disposer de deux circuits parallèles de mélangeurs et de gates, l'un pour l'impulsion de contrôle des deux bascules, l'autre pour l'impulsion qui doit commander les univibrateurs. Le timing, par ailleurs, se trouve sensiblement compliqué, car il faut considérer deux voies d'impulsions décalées l'une par rapport à l'autre. Elle entraîne, d'autre part, l'obligation de disposer, après les circuits "et", un inverseur car l'impulsion que fournirait ce dernier est positive. Or, il est préférable d'attaquer les univibrateurs qui suivent par des impulsions négatives.

Il faut donc, si l'on veut essayer d'éviter ces complications, rendre le signal parasite inopérant. L'amplitude de cette impulsion est sensiblement inférieure à la hauteur des fronts de montée et de descente du signal utile. Elle ne dure, d'autre part, qu'à peu près une microseconde.

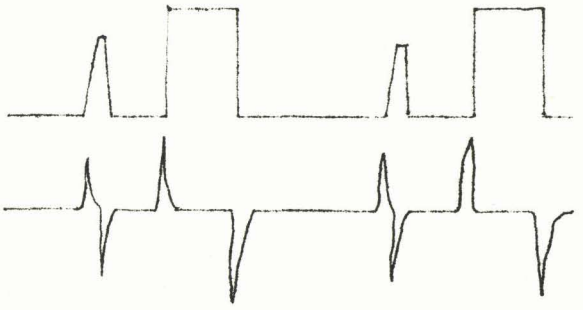
Si donc nous dérivons le signal, qui apparaît à la sortie des circuits "et" dans une cellule dont les valeurs numériques conviennent, nous pouvons laisser passer l'impulsion parasite telle quelle, mais dériver de façon importante le signal carré. Nous obtiendrons, à partir de ce dernier, une impulsion positive et une impulsion négative. C'est celle-ci qui commandera les univibrateurs.

Il faut calculer avec une grande précision ce circuit de dérivation si on ne veut pas obtenir un front de descente sur l'impulsion parasite.

Les fronts de montée de l'impulsion parasite ainsi que ceux du signal carré durent à peu près une demi-microseconde.

Nous avons calculé un circuit R C qui présente les caractéristiques désirées. Il nous faut, en effet, pour commander les univibrateurs de durée très courte, des impulsions encore plus courtes et donc des circuits de dérivation présentant une constante de temps faible.

La valeur minimum des impulsions délivrées par les univibrateurs est de 2 microsecondes ; il nous faut donc une impulsion de commande qui ne dépasse pas 0,5 microsecondes.



Des essais avec des éléments calculés sur cette base ont montré que l'impulsion parasite se trouve déjà fortement dérivée et l'on obtient, sur la sortie, un signal ayant l'allure indiquée par le schéma ci-contre.

Des essais avec différentes valeurs numériques n'ont pas permis d'éviter cet inconvénient. Or, la présence de deux fronts de descente au lieu de un est inadmissible, car l'univibrateur basculera deux fois par cycle.

Il faut remarquer que nous n'aboutissons, dans cet essai, à une impasse que parce que nous imposons des conditions sévères de dérivation au signal d'entrée.

Si, en particulier, nous désirions commander une bascule bistable par le signal, nous pourrions employer des circuits de dérivation présentant des constantes de temps moindres et alors l'impulsion parasite ne subira plus de dérivation. Comme elle est positive, elle n'aura plus d'influence sur la bascule sur laquelle elle parvient.

C'est cette remarque qui va nous permettre de trouver une solution à la fois simple et sûre, en ce sens qu'elle ne fait pas appel à des niveaux relatifs d'impulsions ou à des temps de montée plus ou moins longs sur lesquels on opère une dérivation judicieusement déterminée.

Nous avons vu, lors de la discussion sur la présence des signaux parasites sur les circuits "et", que ces impulsions parasites ne se présentent que sur deux d'entre eux, la sortie $\overline{B}_1\,\overline{B}_2$ et la sortie $\overline{B}_1 B_2$. Les deux autres sorties donnent des carrés qui ne sont pas perturbés.

L'horloge doit, d'autre part, délivrer, sur ses différentes sorties, trois signaux de commande dans l'ordre suivant :

avance - lecture - écriture

ces deux derniers se trouvant séparés par un temps plus long que les autres.

L'impulsion d'avance n'a pour seule fonction que de commander la chaîne de balayage et, compte tenu de la remarque que nous avons faite plus haut, il est très possible de commander la première bascule de cette chaîne de balayage par une sortie entachée d'un signal parasite.

La commande des univibrateurs, par contre, exige un signal sans défauts. Ces univibrateurs sont au nombre de deux. Il suffit donc de les contrôler par les sorties des deux circuits "et" qui ne donnent pas lieu à des signaux parasites.

Si nous décomposons le cycle de l'horloge en quatre parties correspondant chacune à une position particulière des deux bascules, nous trouvons, dans l'ordre suivant lequel elles se présentent, les positions :

$B_1\,B_2$ sans impulsion parasite

$\overline{B}_1\,\overline{B}_2$ qui présente une impulsion parasite

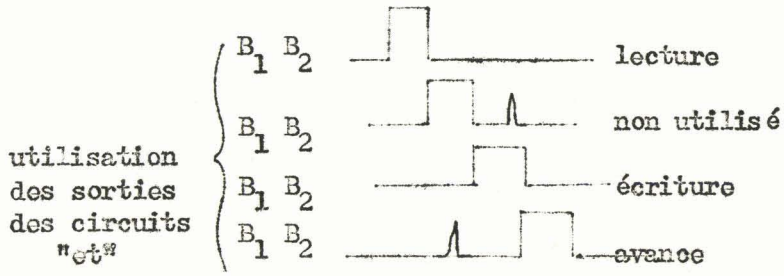
$B_1\,\overline{B}_2$ sans impulsion parasite

$\overline{B}_1\,B_2$ avec une impulsion parasite.

Les univibrateurs seront donc contrôlés par la première position pour la lecture et par la troisième pour l'écriture; la quatrième commandera la chaîne de balayage.

Remarque

Avant de trouver cette solution, qui semble la plus simple, nous avions envisagé d'utiliser effectivement les deux impulsions délivrées par les sorties des circuits "et", qui présentent une impulsion parasite sur leur sortie. Nous aurions alors interposé, entre cette sortie et l'univibrateur, une bascule attaquée sur ses deux entrées et fonctionnant en diviseur par deux. Mais, outre la complication des circuits que ce procédé aurait entraînée, il aurait fallu prévoir une remise à zéro de chaque bascule à chaque arrêt et cela aurait compliqué encore les circuits de commande.

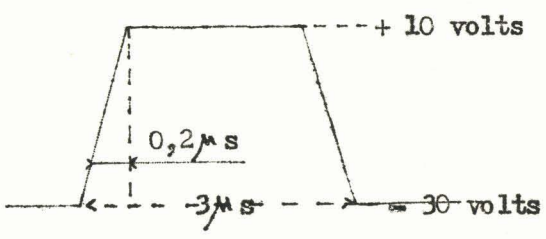


LES UNIVIBRATEURS DE COMMANDE

Ces univibrateurs ont pour but de délivrer, à l'entrée des circuits "et" qui précèdent, les amplificateurs de lecture et d'écriture des impulsions de durée et de forme déterminées.

La durée doit être de 2,5 à 3 microsecondes et les temps de montée de 0,2 à 0,3 microsecondes.

D'autre part, ces impulsions doivent être délivrées dans un certain nombre de circuits annexes tels que l'horloge, l'additionneur et l'amplificateur d'inhibition. Nous avons donc intérêt à prévoir une impédance de sortie assez basse.



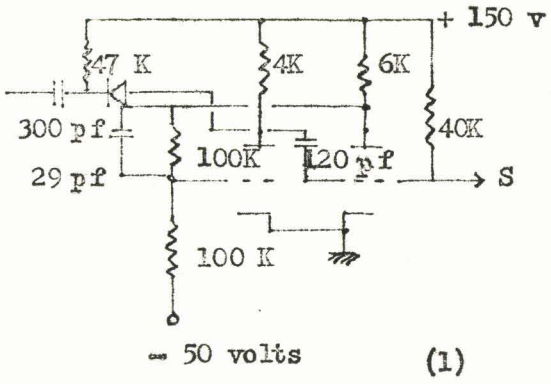
Pour pouvoir commander correctement les circuits "et", les niveaux de tensions doivent être définis avec précision. Quand il n'y a pas

d'impulsion, la tension doit être de - 30 à - 40 volts et le sommet de l'impulsion doit se trouver à + 10 volts. C'est, en effet, la masse qui détermine le seuil.

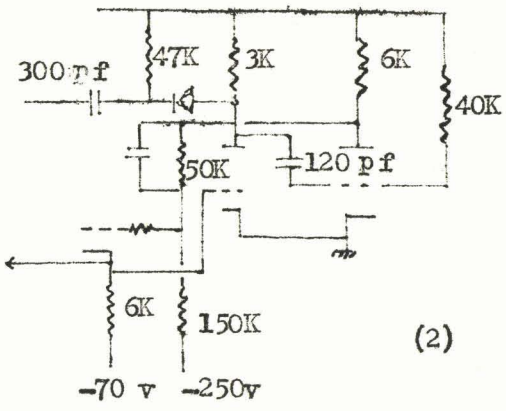
Il semble donc nécessaire d'avoir une sortie sur cathod follower.

Nous avons calculé et câblé plusieurs types d'univibrateurs, les uns du type classique et les autres comportant différents perfectionnements pour améliorer soit le temps de montée, soit la stabilité des caractéristiques, soit diminuer l'impédance de sortie.

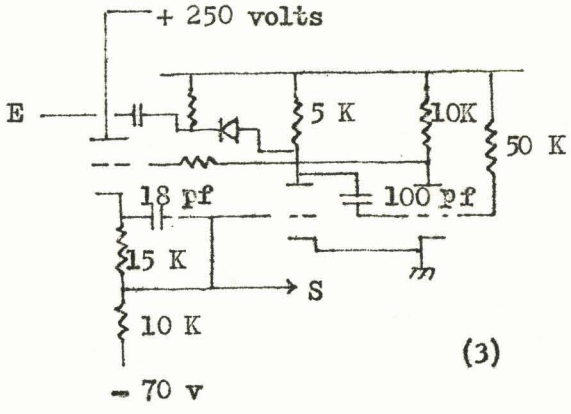
Nous donnons pour mémoire le schéma de ceux que nous avons réalisés et qui fonctionnaient conformément aux conditions imposées.



(1)



(2)



(3)

BU LILLE

Le montage de la figure 1 est du type le plus classique ; il présentait deux inconvénients : son temps de montée est trop long (de l'ordre de 0,5 microseconde) et il ne comporte pas de sortie en puissance.

Pour pouvoir disposer de la sortie de puissance, nous avons effectué le montage de la figure 2, mais le temps de montée est encore insuffisant.

Le montage de la figure 3, qui comporte un cathod follower et la liaison continue dans la cathode de ce dernier, cumule les deux avantages d'avoir un temps de montée extrêmement court et une sortie en puissance sur la cathode du tube qui assure la liaison continue. On peut expliquer ainsi la très courte durée du basculement : la sortie anodique du tube de droite est reliée au diviseur de tension affecté à la grille de l'autre tube par l'intermédiaire d'un tube supplémentaire, monté en cathod follower. La charge ohmique du circuit anodique est alors éliminée et la composante réactive de la charge se trouve considérablement réduite. La capacité dynamique entre grille et cathode d'un cathod follower est faible du fait que la différence de potentiel entre ces deux électrodes reste sensiblement constante dans tout le domaine de fonctionnement du circuit. La capacité entre anode et grille est voisine de la valeur obtenue par des mesures statiques, car le potentiel d'anode d'un cathod follower ne varie pas, contrairement à ce qui se passe avec les circuits du type inverseur de la bascule ordinaire où les potentiels de grille et d'anode varient en sens inverse. En raison des faibles charges anodiques, le potentiel peut varier rapidement.

Tous ces circuits présentent, cependant, un grave inconvénient lié à leurs performances : ils sont extrêmement sensibles aux variations de tensions du secteur ; une variation de quelques volts sur le - 70 volts, pour le dernier d'entre eux par exemple, l'empêche de fonctionner et, dans tous les cas, la durée du signal dépend étroitement de la valeur de la haute tension et varie dans d'importantes proportions avec celle-ci. Comme les alimentations ne sont pas régulées et que le secteur est susceptible de présenter des écarts non négligeables, ces univibrateurs qui fonctionnent parfaitement sur la plaquette d'essai, ont toutes chances de ne plus le faire sur la machine.

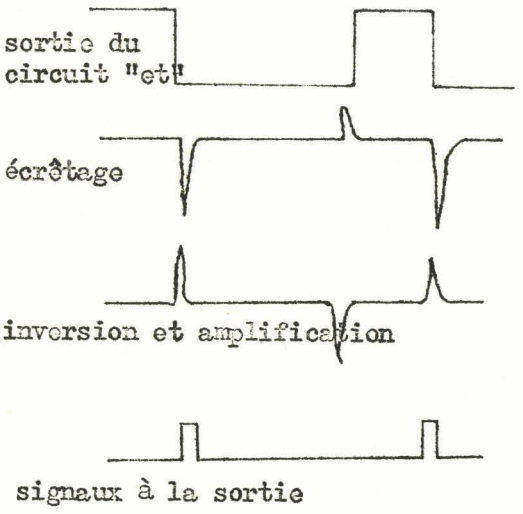
Les performances exigées, en particulier sur le temps de montée, imposent des résistances d'anodes faibles et donc des excursions de tensions limitées. Ces excursions sont reportées sur les grilles par des diviseurs à résistances qui réduisent encore, dans le rapport $R_2/R_1 + R_2$, l'excursion de tension qui se présente à l'entrée des tubes. Il faut donc conserver des marges très faibles entre la tension la plus basse et le cut off du tube d'une part, et la tension haute et le clamping de ce tube d'autre part, et si les tensions viennent à varier, on risque soit de ne plus bloquer un tube en ne lui appliquant pas une tension négative suffisante, soit de ne plus le saturer en ne parvenant plus à atteindre la tension de la cathode, et, dans les deux cas, le montage ne fonctionnera plus qu'imparfaitement ou même pas du tout.

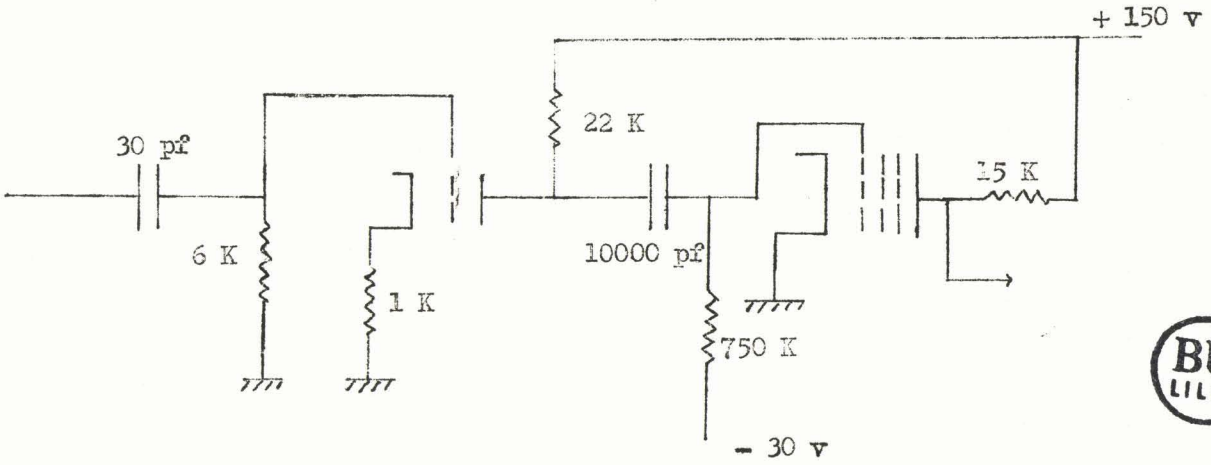
La haute tension, d'autre part, qui détermine le point de remontée du circuit RC définissant la durée de l'état quasi stable, entraîne, quand elle varie, des variations de cette durée.

Une solution beaucoup plus simple a été adoptée pour palier ces inconvénients :

- Le signal carré, délivré par les circuits "et", est dérivé dans un circuit RC de valeur convenablement choisie et ce signal, dérivé et inversé, de grande amplitude, attaque la grille d'un écréteur à pentode.

On trouve, sur l'anode de celle-ci, des impulsions qui ont la forme désirée.





BU LILLE

LA CHAINE DE BALAYAGE

Nous avons vu, lors de l'étude logique, que les 100 positions de mémoire étaient définies par deux compteurs de dix positions, montés en série l'un avec l'autre et déterminant l'un la position verticale, l'autre la position horizontale du tore sélecté.

Ces deux chaînes seront donc identiques.

Elles se composent, comme nous l'avons dit, d'une bascule binaire à l'entrée, montée en compteur binaire, et d'une chaîne à décalages successifs de 5 positions. L'une des sorties de la bascule binaire attaque cette chaîne et l'on définit bien ainsi 10 positions logiques.

La bascule d'entrée est du même type que celle que l'on a calculée pour les circuits d'horloge, à cette différence près que les sorties logiques sur chaque anode sont doublées de sorties à condensateurs qui serviront à commander les remises à zéro des bascules de l'additionneur.

Les sorties logiques de la bascule se trouvent sur les cathodes

des cathod followers et sont réunies chacune à 5 circuits "et", pour définir la position de mémoire à sélecter.

LES BASCULES DE LA CHAINE A DECALAGES

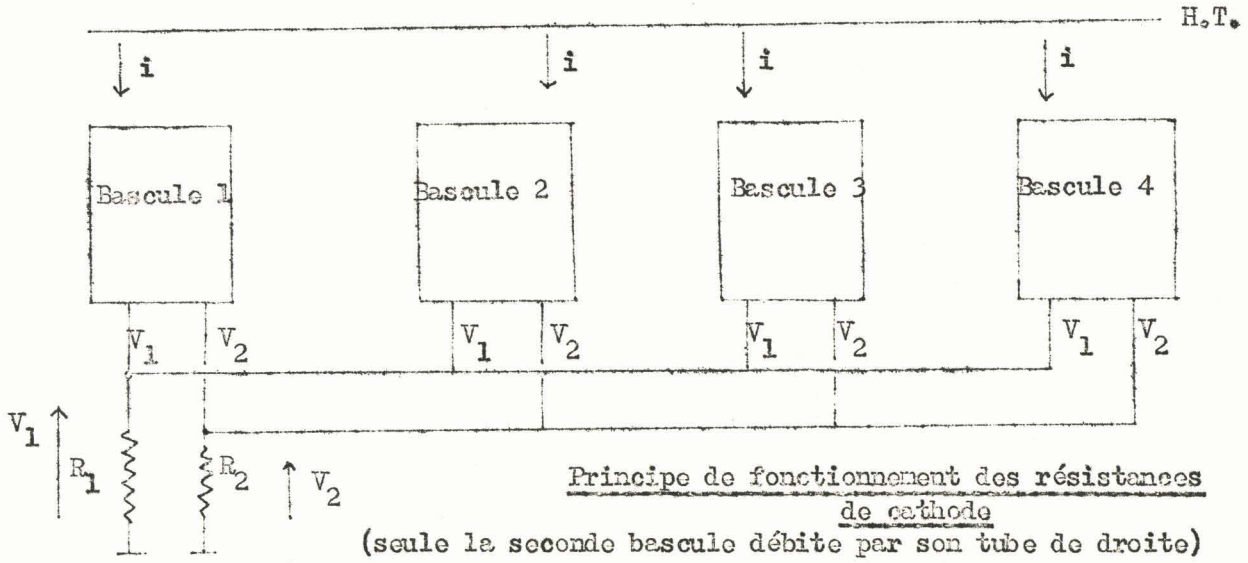
Les 5 bascules de chaque chaîne doivent former un cycle fermé, la sortie de la dernière devant attaquer l'entrée de la bascule de la seconde décade. Une seule d'entre elles doit être haute à la fois et chaque impulsion en provenance de la bascule d'entrée doit faire avancer d'une position, c'est-à-dire transmettre d'une bascule à la suivante le digit 1.

Le schéma logique de la chaîne comporte deux circuits "et" par bascule, mais on peut l'alléger en utilisant les légers retards qui se manifestent dans les basculements.

Considérons le schéma de la page 82 :

Chacune des bascules a sa cathode de gauche qui va sur la résistance R_1 commune aux trois tubes, tandis que les cathodes de gauche vont à la résistance R_2. Si on choisit correctement les valeurs de R_1 et de R_2, une seule des bascules est "on" à la fois. En effet, tous les Eccles-Jordan ne peuvent débiter par leur triode de gauche, car les cathodes de gauche seraient trop polarisées et celles de droite pas du tout, aucun courant n'y passant. Or, si ces cathodes ne sont pas polarisées positivement, un courant passera dans les triodes de droite, ce qui est contraire à ce que nous avions supposé. Donc, tous les tubes ne peuvent se trouver dans le même état logique : il y en a au moins un qui débite par sa triode de droite.

Montrons qu'il ne peut y en avoir qu'un. Pour cela, supposons que la résistance qui polarise les cathodes de gauche est moitié de l'autre ; ceci est un ordre de grandeur qui permet de rendre compte du phénomène. Le débit de deux triodes dans la résistance R_2, double de R_1, polariserait trop fortement les trois cathodes de droite, ce qui les empêcherait de conduire.



Principe de fonctionnement des résistances de cathode

(seule la seconde bascule débite par son tube de droite)

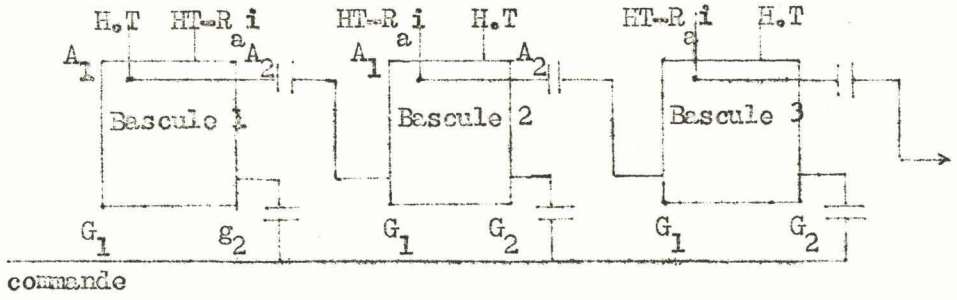
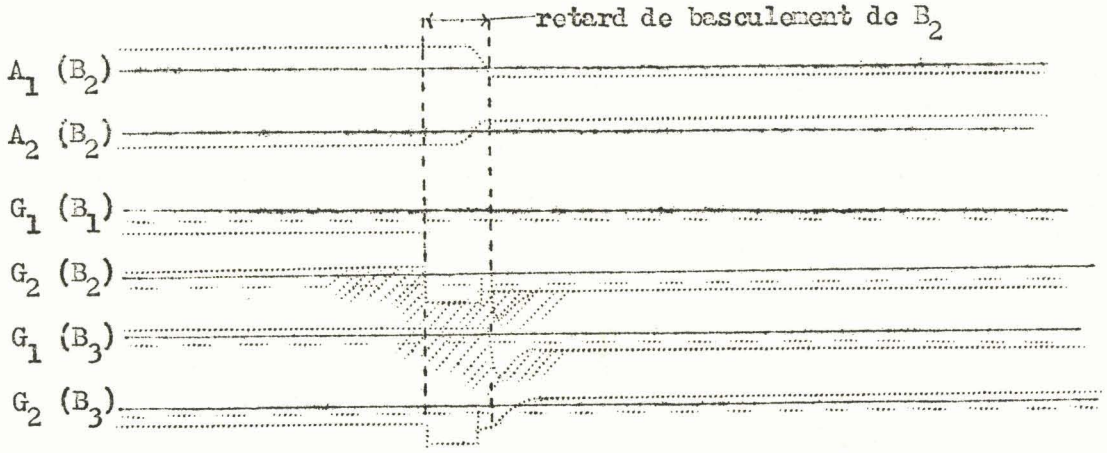


Schéma montrant le couplage entre bascules



Tining du basculement

Le trait pointillé représente la position du cut off.

BU LILLE

Il ne peut donc y avoir qu'une bascule dans un état différent des autres. Le raisonnement peut s'étendre à un nombre plus élevé de bascules et il n'y aura toujours qu'une d'entre elles qui pourra conduire, les résistances de polarisation étant convenablement choisies, par un tube de droite, alors que toutes les autres conduiront par leur tube de gauche.

Montrons, maintenant, comment se fait le décalage sous l'influence d'une impulsion de commande. Si nous envoyons sur l'entrée de la chaîne une impulsion négative de commande, cette impulsion n'a aucune influence sur les tubes bloqués, car elle a tendance à diminuer encore la polarisation de leur grille. Par contre, pour le tube conducteur sur lequel elle parvient, elle entraîne le basculement. Le condensateur C de liaison entre chaque étage de la chaîne transmet donc à la bascule suivante une impulsion négative qui, cette fois, lui parvient sur son tube conducteur.

Cette bascule va donc s'inverser aussitôt et nous retrouvons un état d'équilibre identique à celui qui existait avant l'arrivée de l'impulsion. La position "on" s'est déplacée d'une unité.

Remarquons que les résistances de polarisation ne constituent qu'une sécurité supplémentaire et que, en principe, si le fonctionnement était parfait, il ne serait pas nécessaire de les ajouter.

Il faut, pour que la chaîne fonctionne correctement, que le basculement de la première bascule ait un certain retard sur l'impulsion de commande et que cette dernière soit terminée lorsque le condensateur de liaison transmet à la bascule suivante l'impulsion provenant du basculement initial. Sinon les deux tubes de la bascule suivante se trouveront tous deux bloqués pendant un instant et la position d'équilibre qu'elle prendra ensuite est indéterminée et dépend de l'amplitude respective des impulsions qu'elle reçoit sur les grilles de ses deux tubes et de l'instant où l'une des deux s'interrompt.

Nous avons donc volontairement prévu, dans le calcul des bascules de la chaîne, un temps de basculement assez important, pour éviter cet inconvénient.

Le temps de basculement d'un Eccles-Jordan est déterminé principalement par la constante de temps :

Résistance d'anode x Capacité de liaison.

Pour que le système ait retrouvé son équilibre au moment de l'impulsion de lecture, il faut que les deux bascules qui changent d'état aient, elles-mêmes, retrouvé leur équilibre. Or, elles basculent l'une après l'autre. Il faut donc que le temps de basculement de chaque bascule soit égal à la moitié du temps disponible. Si l'on tient compte, de plus, du temps de basculement de la bascule d'entrée qui commande la chaîne et d'une certaine marge de sécurité, il faut obtenir des basculements qui durent environ 3 microsecondes, ceci pour la fréquence la plus rapide de l'horloge.

Compte tenu de ces remarques, nous avons obtenu les valeurs numériques données sur le schéma de la page 85.

Comme chaque bascule doit commander un circuit logique, nous avons disposé en sortie sur la grille de la sortie "on" de chacune, un cathod follower dont la résistance de cathode est reliée au - 70 volts et sur laquelle une prise médiane assure des valeurs correctes aux niveaux logiques commandant les circuits "et" de sélection.

COMMANDE DES FILS DE LECTURE ET D'ECRITURE

On peut effectuer la commande des tores de deux façons différentes. La première consiste à fournir directement les impulsions de courant aux fils de commande par des amplificateurs de puissance. Cette solution est plus simple à mettre en oeuvre, car elle réclame des mises au point assez faciles et le contrôle du bon fonctionnement des amplificateurs est aisé. L'inconvénient est que la consommation des tubes est importante et qu'il n'existe pas d'amplificateurs capables, à la fois, de fournir le courant nécessaire qui est de l'ordre de 4 à 500 milliampères et d'être logés dans une unité enfichable. Il faut donc grouper les tubes au moins deux par deux, ce qui accroît l'importance des circuits de commande et augmente la complexité du câblage.

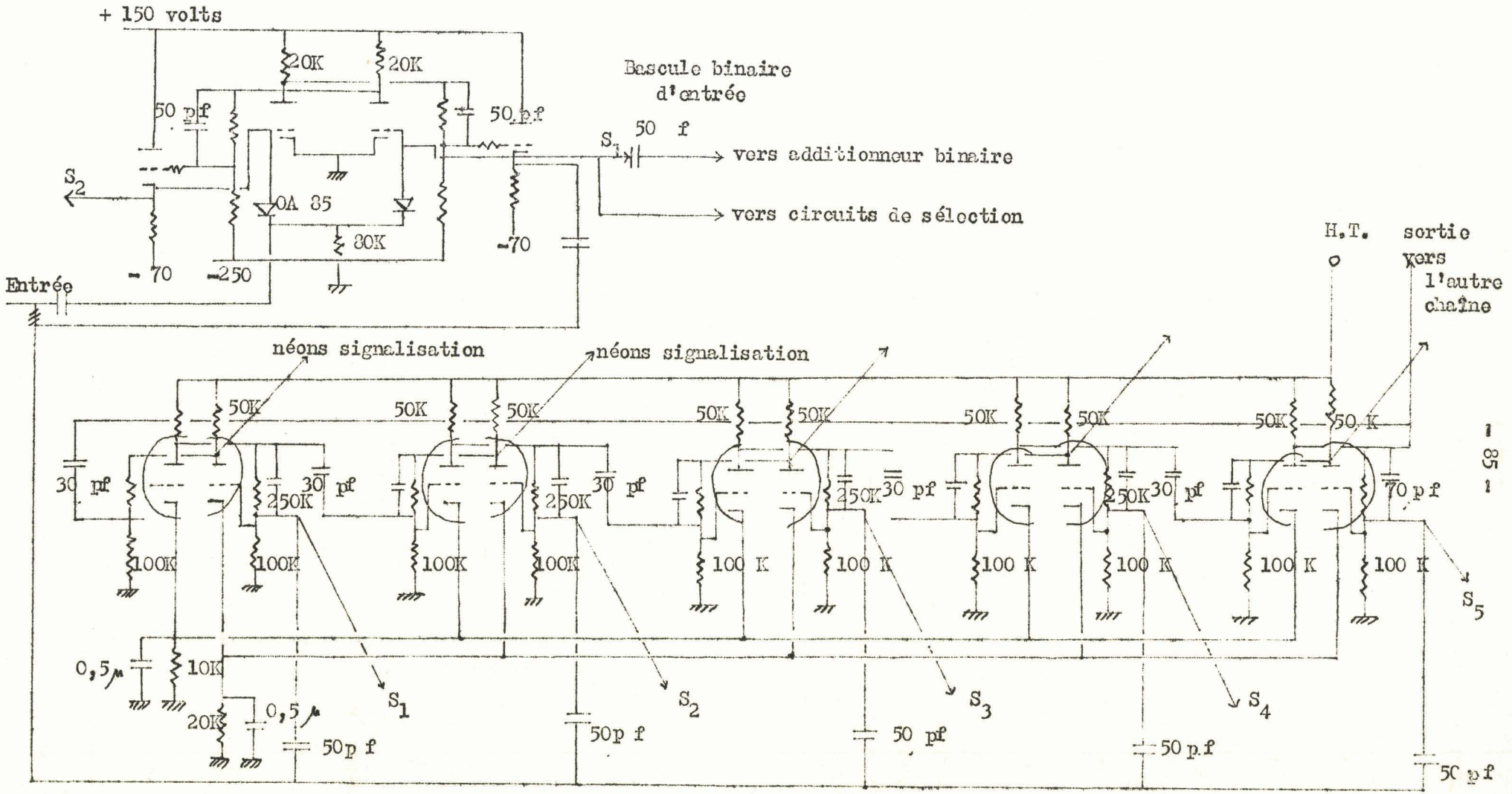


Schéma de la chaîne de balayage

La seconde solution consiste à employer des transformateurs-abaisseurs d'impédance qui permettent d'obtenir la valeur de courant désirée à partir d'un courant au primaire, de l'ordre de 50 à 100 milliampères.

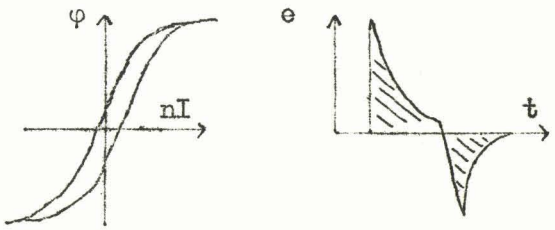
C'est la solution que nous avons adoptée.

CHOIX DU TYPE DE TRANSFORMATEUR

Nous allons montrer qu'il est impossible, pour cette application particulière, d'employer des transformateurs ordinaires bobinés sur matériaux doux.

Les impulsions de courant qui apparaissent sur les anodes des tubes amplificateurs de puissance sont des impulsions carrées dont les fronts de montée sont de l'ordre de 0,2 à 0,3 microsecondes pour une durée totale d'impulsion de 3 microsecondes.

Si nous bobinons le transformateur sur un matériau doux, c'est-à-dire un matériau avec un cycle d'hystérésis dont la surface est faible et dont le flux rémanent est voisin de zéro, nous obtiendrons sur le secondaire un signal dérivé.



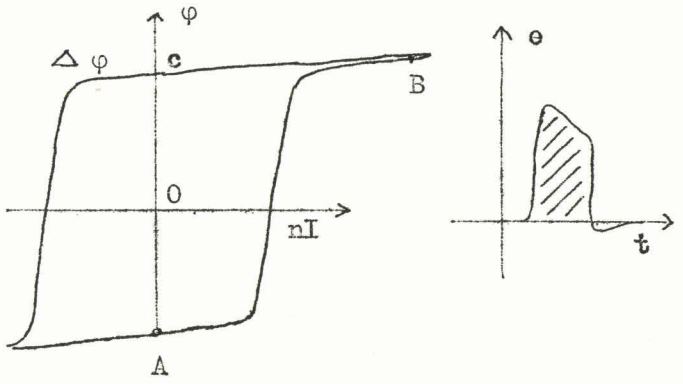
On sait, en effet, que la force électromotrice développée dans le secondaire a pour expression :

$$e = - K \frac{d\varphi}{dt}$$

Il correspondra donc au front de montée du signal une impulsion positive immédiatement suivie d'une impulsion négative due au front de descente, 3 microsecondes plus tard. Or, il faut éviter cette impulsion négative, qui risque de perturber le basculement du tore ou même le basculer à nouveau dans la position où il se trouvait avant.

Pour éviter cet effet indésirable, il faut empêcher le retour du flux des transformateurs à la valeur zéro lorsque le signal s'arrête dans le primaire.

A cet effet, il faut employer un matériau à cycle carré. Le flux dans le matériau basculera quand l'impulsion se présentera au primaire et conservera, après le passage de l'impulsion, une valeur pratiquement égale à sa valeur extrême.



Supposons que le tore se trouve avant le passage de l'impulsion dans l'état A ; si l'amplitude du courant est suffisante et si le sens est convenablement choisi, il passera dans l'état B, donnant lieu à une impulsion positive, puis, à l'interruption du courant, retournera à l'état C, donnant lieu à une variation de flux très faible : D φ. L'amplitude de l'impulsion négative entraînée par cette variation légère du flux dans le sens négatif est absolument négligeable en regard de l'impulsion positive.

On peut voir alors la forme que prend l'impulsion de sortie. Cette allure correspond bien à ce que nous cherchions à obtenir.

Cette solution ne présente cependant pas que des avantages. Il faut, en effet, que, pour produire une impulsion dans le sens convenable, le tore magnétique se trouve dans une position déterminée, faute de quoi il ne pourra basculer et l'impulsion sur le secondaire n'aura pas lieu.

Nous avons vu, lors de l'élaboration du schéma logique de la machine, que, pour un tore donné, les opérations de lecture et d'écriture d'un digit dans le tore se succédaient. Les courants qui effectuent des opérations dans le tore doivent être de sens contraire. Il suffira donc d'alterner le sens des impulsions dans le transformateur de commande pour que celui-ci se trouve automatiquement dans la position convenable au cycle d'opérations suivant.

L'opération de lecture fera, par exemple, basculer le transformateur de la position A en la position B, engendrant un courant dans un

certain sens, puis l'opération d'écriture, dans le temps suivant, fera passer le transformateur de la position C en la position A et engendrera, dans la ligne de commande des tores, une impulsion de courant dans le sens contraire de la première.

Une dernière difficulté se présente pour un tel circuit. En effet, si la lecture se fait systématiquement pour tous les tores, il n'en est pas de même pour l'écriture, qui n'a lieu que quand il faut écrire un digit 1 dans la mémoire. Comme la lecture est destructive et remet les tores dans l'état zéro, il n'y a pas d'inscription à faire s'il s'agit d'inscrire un 0 dans la mémoire. Il faut cependant basculer le transformateur de commande pour pouvoir faire la lecture suivante. Ces deux points de vue opposés exigent la mise en oeuvre d'un dispositif qui se nomme "inhibition".

Comme nous devons basculer alternativement le transformateur de commande sous peine de ne plus pouvoir l'utiliser au cycle de lecture suivant, nous le basculerons dans un sens pour la lecture, puis dans un autre pour l'écriture, sans tenir compte de la valeur du digit à inscrire.

Comme nous basculons, à chaque cycle d'opération, deux transformateurs de commande correspondant l'un à un fil horizontal, l'autre à un fil vertical et produisant chacun la moitié du courant nécessaire au basculement, nous commanderons le basculement du tore à chaque cycle d'écriture, c'est-à-dire que nous inscrirons un 1 à tous les coups.

Pour éviter cela, il est nécessaire de créer un nouveau demi-courant, agissant dans le sens contraire des deux autres. Ce courant, ne représentant que la moitié du courant nominal de basculement, n'aura pas d'influence sur les autres tores et le flux qu'il tendra à créer s'opposera au basculement du tore sélecté. Nous aurons donc inscrit un zéro dans ce tore.

Pour créer ce demi-courant dans la matrice, il est nécessaire de prévoir un fil supplémentaire dans le câblage de la mémoire. C'est le fil d'inhibition. Il traverse tous les tores dans un sens tel qu'il s'oppose toujours au courant d'écriture.

Nous avons montré, dans la description de la matrice, que les courants de lecture et d'écriture changent de sens chaque fois que l'on se décale d'une ligne ou d'une colonne.

Le fil d'inhibition traversera donc les tores alternativement dans un sens puis dans l'autre, ce qui facilite son câblage.

La présence d'une impulsion de courant dans ce fil est commandée par l'organe logique qui détermine le nombre à inscrire dans la mémoire ; dans le cas présent, c'est l'additionneur qui impose le passage ou non de l'impulsion dans le fil d'inhibition, selon qu'il contient lui-même un 1 ou un 0.

La commande de ce fil exige, elle-aussi, un courant de l'ordre de 400 à 500 milliampères et l'on peut adopter les deux solutions déjà citées pour le produire. La première entraîne une consommation exagérée, mais la solution du transformateur d'impulsion soulève le même problème que celui qui a conduit à prévoir un courant supplémentaire d'inhibition, à savoir que l'on doit toujours prévoir la remise en position du transformateur dans le sens convenable, indépendamment de ce qui s'est passé précédemment. Or, suivant que l'on aura écrit un 1 ou un 0, la position du transformateur sera différente.

Examinons, en effet, en détail, le fonctionnement du transformateur d'inhibition. Supposons qu'il se trouve initialement dans la position convenable. La première fois qu'il faudra inscrire un 0 dans la mémoire, le transformateur basculera, produisant le demi-courant voulu, mais il ne pourra plus basculer dans le bon sens la prochaine fois qu'un 0 se présentera.

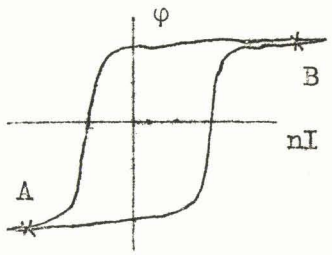
Pour tourner cette dernière difficulté, deux solutions se présentent :

- La première consiste à faire une remise en position du transformateur à un moment quelconque du cycle. L'impulsion à laquelle il donnera naissance à ce moment n'est pas gênante, car nous verrons plus loin que l'amplificateur de lecture n'est sensibilisé qu'au moment où il doit entrer en fonction ; il ne donnera donc aucune impulsion parasite du fait de cette remise en position. Par ailleurs, l'impulsion qui traversera, de

ce fait, le fil d'inhibition, ne représente que la moitié du courant nominal et n'a aucune influence sur les tores.

- Une seconde solution consiste à imposer au flux un sens déterminé dans le matériau du transformateur en faisant passer, dans ce dernier, un courant constant suffisant. L'impulsion de commande viendra en sens contraire et fera basculer le tore. Mais, dès que cette impulsion aura cessé, le courant continu qui traverse le transformateur le rebasculera dans le sens initial.

Cette solution présente, cependant, deux inconvénients : il faut, d'abord, disposer d'un générateur de courant parfaitement régulé et stabilisé, faute de quoi les impulsions ne présenteront plus les caractéristiques voulues et, de plus, le réglage de l'étage d'amplification de puissance qui précède le transformateur est différent de celui que l'on peut faire pour les autres étages de puissance.



Le schéma de fonctionnement de cette solution est donné ci-contre. Le point A représente la position du flux entraînée par le passage du courant continu dans le transformateur. Le point B représente la valeur que prend le flux lors du passage de l'impulsion de commande de l'inhibition.

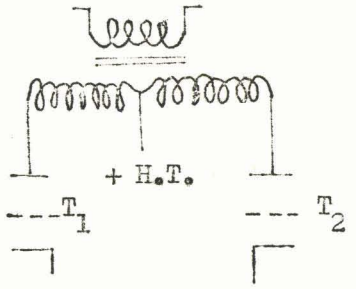
Comme il suffit, pour la première solution, d'un amplificateur identique aux amplificateurs de commande des fils de lecture et d'écriture et qu'il est simple de disposer d'une impulsion de reset (l'impulsion de commande de lecture par exemple), c'est cette dernière que nous avons préféré adopter.

REALISATION TECHNOLOGIQUE DES CIRCUITS DE COMMANDE DE LA MEMOIRE

Les courants que nous devons faire passer dans la mémoire sont de l'ordre de 400 milliampères et doivent traverser les tores alternativement dans un sens puis dans l'autre.

Il faudra donc, en fait, deux amplificateurs pour chaque ligne de tores. L'un fournira l'impulsion de lecture, l'autre l'impulsion d'écriture. Pour que ces deux impulsions traversent le primaire du transformateur de commande dans des sens opposés, il faut les monter en opposition dans le bobinage du primaire. Il faut, en effet, produire, pour chaque amplificateur, une impulsion positive, car il est impossible de produire, à partir d'un tube, une impulsion négative sans avoir à éliminer la composante continue du courant d'anode ; or, il faudrait, dans ce cas, prévoir une liaison capacitive qui aurait pour effet, vu l'importance du courant, de dériver l'impulsion.

Si, au contraire, nous formons deux impulsions positives qui attaquent le primaire dans des enroulements bobinés en sens contraire, elles auront des effets opposés au secondaire.



Pour réaliser ce principe, nous emploierons un transformateur à point milieu. Ce point milieu sera relié à la haute tension et les deux extrémités aux anodes des deux tubes de commande de la ligne considérée.

En régime continu, les anodes ne sont traversées par aucun courant, les tubes étant bloqués. Les impulsions de commande de lecture ou d'écriture débloqueront l'un ou l'autre de ces tubes, donnant naissance à un courant qui fera basculer le transformateur dans un sens ou dans l'autre, suivant l'origine de l'impulsion.

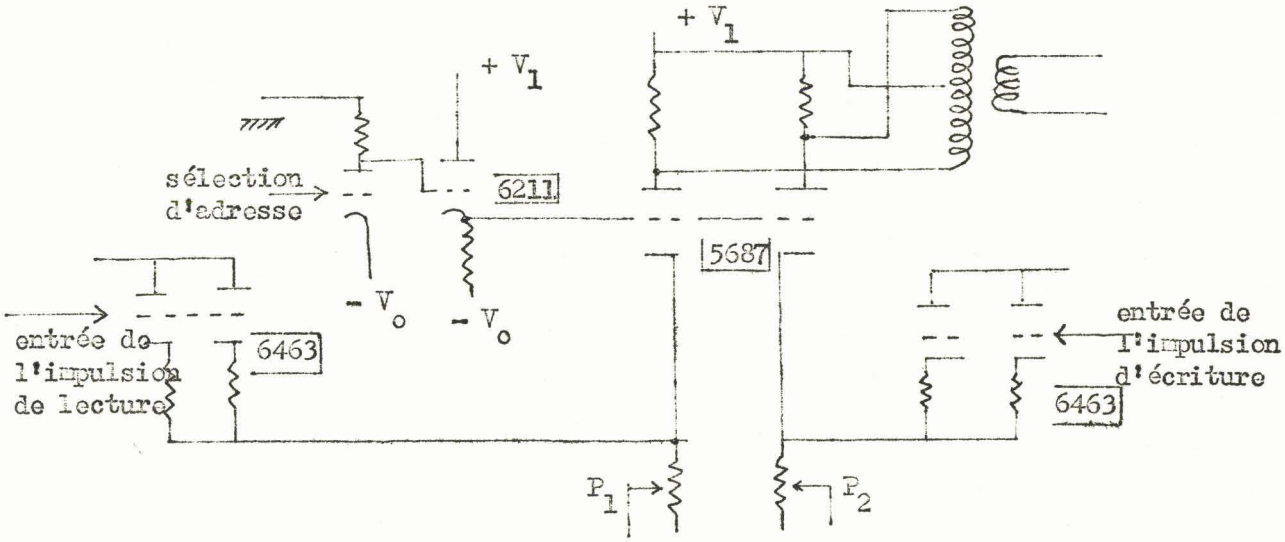
Les amplificateurs de puissance doivent présenter une impédance de sortie faible et doivent pouvoir fournir un courant important, sous forme d'impulsions dont les flancs de montée doivent être de durée inférieure à 0,3 microsecondes.

La commande de ces amplificateurs se fait à travers un circuit "et" à deux entrées. La première provient des circuits de sélection d'adresse, la seconde provient de l'horloge et apporte l'impulsion de commande elle-même.

L'entrée qui correspond à la sélection d'adresse est simplement un gate permettant ou empêchant le passage de l'impulsion en provenance de l'horloge. Cette impulsion de commande doit déjà comporter les caractéristiques de durée et de forme de l'impulsion de sortie, l'amplificateur ne devant faire qu'une amplification en puissance.

La commande de cet amplificateur peut se faire soit par la grille du tube, soit par sa cathode.

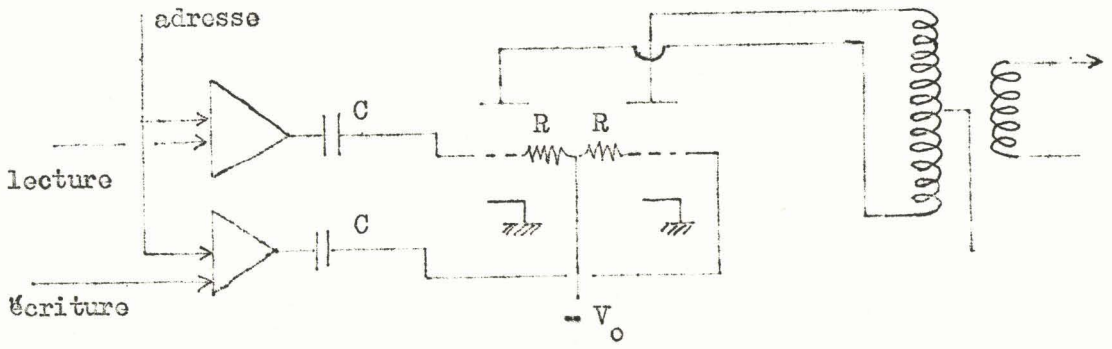
Nous avons relevé, dans la bibliographie que nous avons consultée, des exemples des deux solutions. Nous donnons, ci-dessous, le schéma de principe de chacune d'elles avant de décrire celui que nous avons adopté et de dire les raisons de ce choix.



Commande par la cathode

La double triode qui constitue les deux amplificateurs de puissance est normalement très en dessous du cut off. Quand la ligne est sélectionnée, les deux grilles se trouvent portées à un potentiel très voisin du cut off. L'impulsion de commande de lecture se présente sur les cathodes de deux cathod followers en parallèle, pour fournir une puissance suffisante et abaisse le potentiel des tubes de puissance. Le courant passe alors dans l'un des deux tubes et sa valeur exacte se règle à l'aide de deux potentiomètres P_1 et P_2.

C'est un circuit de ce type qui a été employé sur le premier calculateur doté de mémoires à tores magnétiques du Massachussets Institute of Technology.



BU LILLE

Commande par les grilles

Le circuit "et" qui doit recevoir, sur son entrée, la commande de sélection d'adresse et l'impulsion de commande proprement dite de lecture ou d'écriture, se trouve avant la grille du tube de puissance.

Ce type de circuit présente, par rapport au précédent, l'avantage d'exiger moins de puissance à l'entrée. Il exige, par contre, deux circuits "et" à l'entrée.

Pratiquement, les dimensions de la mémoire dicteront notre choix. Pour une matrice de faibles dimensions, il semble plus simple de disposer des circuits "et" à diodes que deux amplificateurs de forte puissance, capables de délivrer chacun des impulsions de courant de 40 milliampères et présentant des caractéristiques de durée et de temps de montée assez sévères.

Nous adopterons donc un type de commande à attaque par la grille.

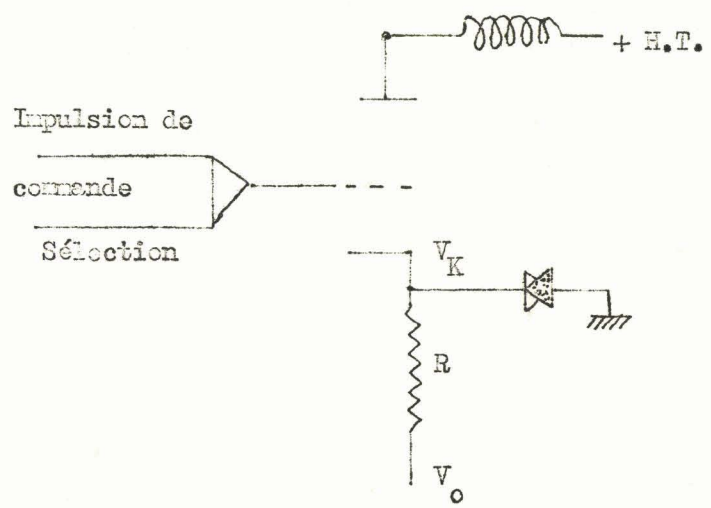
La valeur du courant délivré par l'amplificateur ne doit pas varier dans des proportions importantes, sous peine de perturber le fonctionnement des tores. Il faut, en particulier, que les tensions d'alimentation aient le moins d'influence possible sur la valeur de ce courant.

L'amplitude de l'impulsion de commande ne doit pas influer sur le courant de sortie. Pour parvenir à ce résultat, on devra disposer, dans le montage, des diodes de clamping.

Ces considérations nous amènent à ne lier la valeur du courant de sortie qu'à un minimum de paramètres. Il suffit, en fait, d'une seule tension et d'une résistance pour définir un courant. Si on dispose d'une résistance R présentant une certaine différence de tension à ses bornes, on on définit le courant qui la traverse. Il suffit alors de disposer le tube à l'une des bornes de la résistance, l'autre étant reliée à la tension de référence pour constituer la commande. Le tube ne joue plus alors qu'un rôle d'interrupteur et ses caractéristiques ainsi que celles de l'impulsion d'entrée, n'ont plus d'influence sur la valeur du courant délivré.

Ce tube doit pouvoir fournir un courant instantané de l'ordre d'une quarantaine de mA et ne pas présenter de capacités parasites par trop importantes. Comme par ailleurs chaque fil de commande doit être attaqué par deux amplificateurs, l'un pour l'écriture, l'autre pour la lecture, notre choix a porté sur la double triode de puissance : 56 87.

Les anodes seront reliées directement aux bornes du primaire du transformateur, les grilles seront reliées à la sortie du circuit "et" de commande. Ce sera, sur les cathodes, que se trouveront les résistances qui détermineront la valeur du courant.



Considérons le montage ci-contre :

Supposons que la commande sur la grille puisse prendre approximativement les deux valeurs - 30 volts et + 10 volts.

Quand la grille sera basse, le tube sera normalement bloqué

Si on porte le potentiel de la grille à + 10 volts, le tube se débloque et un courant égal à :

$$I = \frac{V_k - V_o}{R}$$

circule dans le tube et traverse le primaire du transformateur.

Dans la mesure où les valeurs de V_o et de V_k sont déterminées, le courant de commande sera lui-même fixé.

La valeur des V_o est définie par les alimentations. Nous avons vu qu'elle est ajustable. C'est elle, en effet, qui permet - lors des réglages - de donner au courant de commande la valeur optimum.

La valeur V_k dépend de l'amplitude de l'impulsion de commande des grilles des tubes ; or, nous voudrions justement l'en affranchir. Il suffit, pour ce faire, de mettre sur la cathode une diode de clamping convenablement orientée, qui impose une valeur maximum de tension sur V_k. L'autre extrémité de la diode sera reliée à une source de tension constante V_k maximum.

En fait, ce niveau de tension sera la masse.

La tension V_o doit être négative et sa valeur est - 70 volts. Cette valeur de tension a, en effet, déjà été employée dans d'autres montages.

Il est alors simple de déterminer la valeur de R :

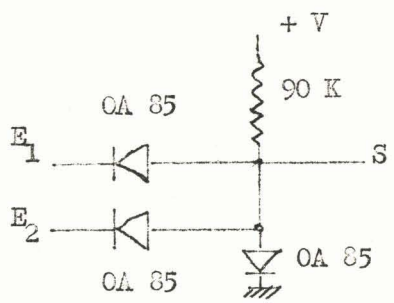
$$R = \frac{V_k - V_o}{I} = 2.000 \text{ ohms.}$$

Ce système présente donc deux avantages : les caractéristiques du tube ne jouent pas sur la valeur du courant de sortie et l'impulsion de commande, pourvu qu'elle soit suffisante pour atteindre le niveau de clamping, ne joue que par sa durée, ce qui est le but recherché.

En contre-partie, il faut remarquer que l'alimentation - 70 volts doit fournir, en permanence, à tous les tubes, un courant important et que la somme se monte à plus d'un ampère.

Le courant circule alors en permanence dans la résistance R et le tube ne sert que de commutateur;quand la grille est basse, ce courant

traverse intégralement la diode de clamping ; quand la grille est haute, le potentiel de la cathode remonte et la diode ne conduit plus ; tout le courant passe alors à travers le tube dans le primaire du transformateur.

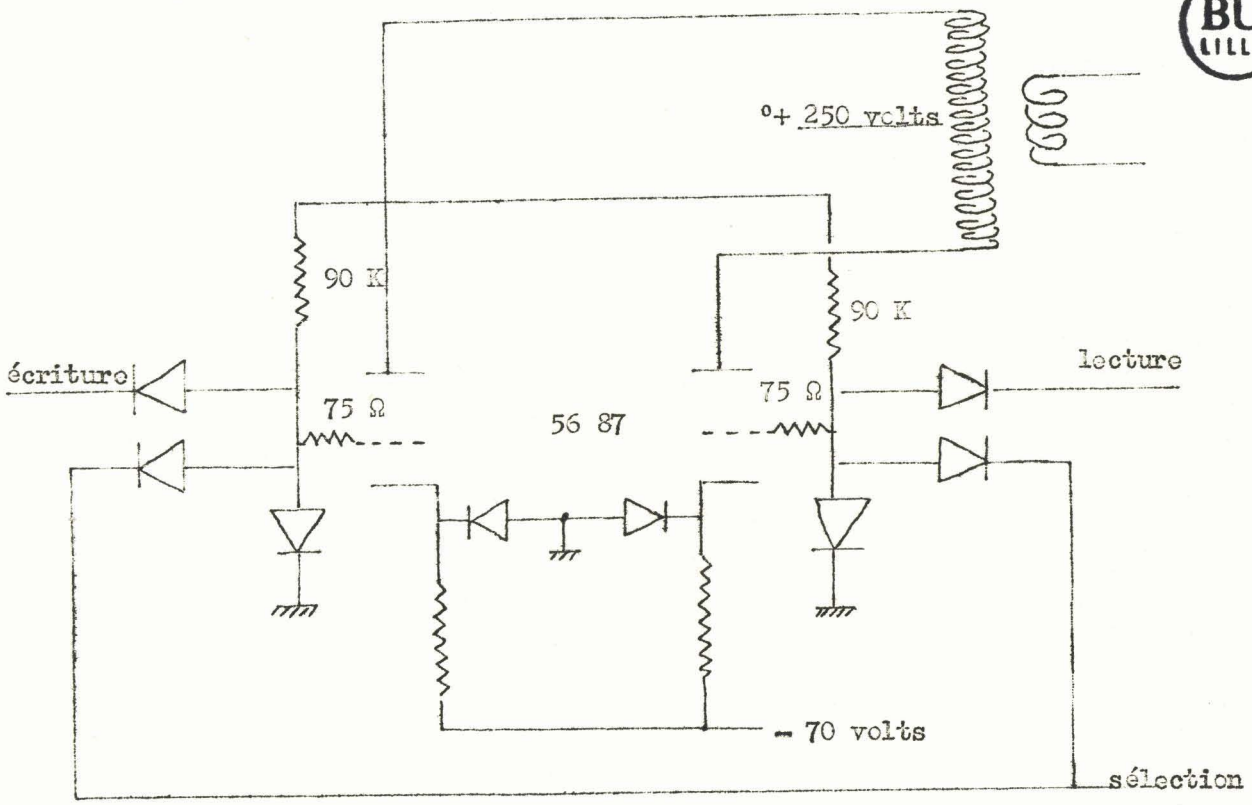


Le circuit "et" à l'entrée est identique à ceux qui apparaissent en d'autres points du montage : deux diodes et une résistance.

Les niveaux logiques sont - 30 et + 10 volts, la masse constituant le niveau de référence et de comparaison.

Une résistance de 75 ohms a été ajoutée dans le circuit de grille pour empêcher les oscillations parasites.

Chaque unité enfichable comporte deux amplificateurs ; les deux sorties correspondantes sont reliées aux bornes opposées d'un transformateur de commande qui constitue, à la fois, un circuit "bu" et un inverseur pour l'une des impulsions dont l'enroulement primaire est monté en opposition.



BU LILLE

L'AMPLIFICATEUR DE SORTIE

Les signaux délivrés aux bornes du fil de lecture ont une amplitude très faible ; il faut donc les amplifier avant de pouvoir les utiliser dans la logique.

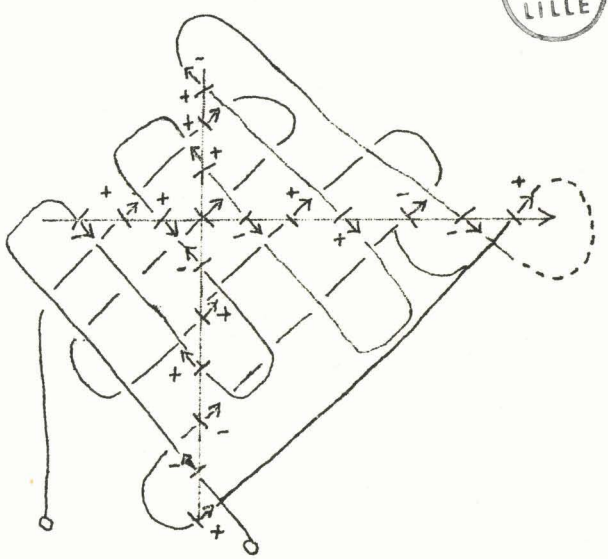
Il faut, par ailleurs, pouvoir discriminer les signaux parasites des signaux utiles. Ces signaux parasites sont de deux ordres :

1. Ceux que délivrent les tores au moment de l'écriture et qui ont même amplitude que les signaux utiles puisqu'ils proviennent, eux aussi, du basculement des tores de la position 0 en la position 1 ;

2. les signaux parasites produits par une légère variation de flux dans les tores des lignes et colonnes sélectées par le passage d'un des demi-courants de lecture ou d'écriture.

Le câblage particulier du fil de lecture élimine partiellement ce second effet, car les signaux parasites délivrés par les tores de la ligne et de la colonne sélectées se trouvent opposés un à un.

BU LILLE



Ceci empêche que les signaux parasites ne s'ajoutent. La tension parasite sera au maximum de une fois la valeur délivrée par un tore.

Le schéma ci-contre indique le sens des signaux parasites et l'on voit que, pour deux demi-courants donnés, ils s'éliminent l'un l'autre.

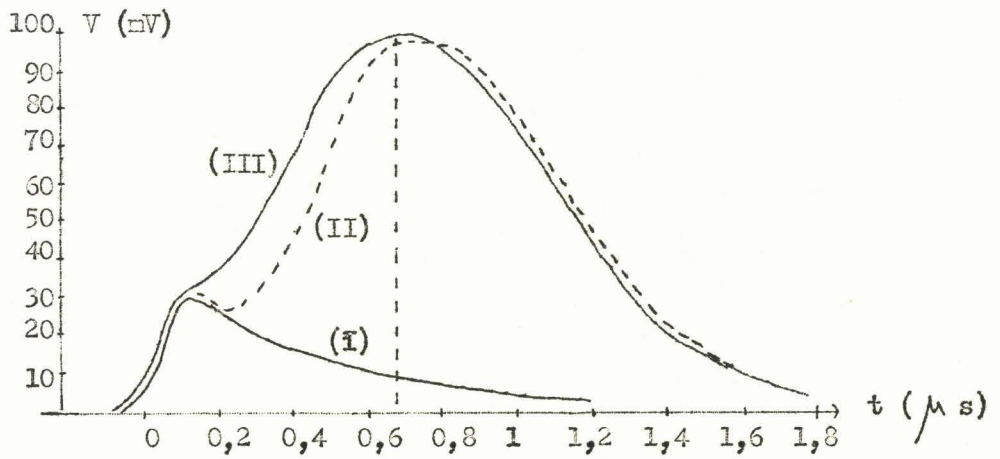
L'amplificateur doit, de plus, être précédé d'un montage redresseur, car, le fil de lecture traversant les tores alternativement dans un sens puis dans l'autre, les impulsions représentant les digits 1 peuvent être indifféremment positives ou négatives.

Pour limiter au maximum la longueur des connexions entre la matrice et l'amplificateur de lecture, ce dernier ne sera pas monté sur la porte avec les autres circuits logiques, mais sur une plaquette séparée aussi près que possible des tores.

Pour éviter de tenir compte des signaux parasites dus à l'écriture des digits 1 dans la mémoire, on dispose un gate dans l'amplificateur. Ce gate n'est ouvert qu'au moment de la lecture.

Cela constitue, en fait, un circuit "et" dont une entrée est l'impulsion de commande de lecture et l'autre le signal issu de l'amplificateur. Le dernier étage de l'amplificateur de lecture ne sera sensibilisé qu'au moment où il devra transmettre un signal utile.

Avant d'étudier la façon d'éliminer la seconde source de signaux parasites, nous allons voir la forme et l'amplitude des signaux délivrés par un tore traversé par un courant entier de commande et par un demi-courant.



Le signal de sortie d'un tore est la tension en circuit ouvert recueillie aux bornes d'un conducteur traversant une fois le tore.

Les courbes de la figure de la page 98 représentent les réponses d'un tore à un échelon unité de courant lecture :

(I) Réponse d'un otre à un courant entier que le trouve déjà dans la position où il devrait le basculer.

(II) Réponse d'un tore qui a déjà été traversé par un demi-courant de lecture.

(III) Réponse d'un tore produite par la première impulsion de lecture à courant entier ou réponse non perturbée.

On considèrera aussi les valeurs des temps :

T_1 = temps au bout duquel la réponse atteint sa valeur de crête.

T_2 = temps au bout duquel la réponse est devenue 0,1 fois la valeur de crête.

En gros : $T_1 = 0{,}7$ microseconde $T_2 = 1{,}6$ microseconde

Comme nous l'avons indiqué auparavant, les valeurs et les formes des courbes varient avec la température, mais dans des proportions assez faibles pour que l'on puisse prendre les valeurs indiquées sur la courbe ci-dessus (25°C) pour bases de départ en prévoyant une certaine marge de sécurité de chaque côté.

Lors de la lecture du digit contenu dans un tore, ce dernier peut délivrer soit un signal important, s'il contenait un 1 (l'opération de lecture faisant une remise à zéro), soit un signal parasite s'il contenait un zéro. Il faut tenir compte, de plus, des signaux parasites fournis par les tores traversés par un demi-courant.

Pour cela, il faut - l'amplitude des signaux parasites étant inférieure à la réponse normale - définir un seuil d'amplification et n'amplifier que les signaux qui présentent une amplitude convenable.

Pratiquement, on voit que ce seuil doit se situer à 40 millivolts au niveau du fil de lecture. Comme nous ferons, auparavant, une amplification en classe A du signal fourni à l'entrée, il faudra tenir compte du grain des étages précédant le seuil.

BU LILLE

REDRESSEMENT DES SIGNAUX

Pour redresser les signaux, il faut, à l'entrée de l'amplificateur, un transformateur à point milieu sur le secondaire.

La question de puissance n'intervenant pas, les dimensions de l'armature peuvent être aussi peu importantes que possible. Il n'y a, en effet, aucun risque de saturation à craindre.

Il faut, de plus, que ce transformateur réalise l'adaptation des impédances entre le fil de lecture et le premier étage d'amplification.

Pour que le premier étage puisse fonctionner en classe A, l'amplitude du signal ne doit pas dépasser quelques volts.

D'autre part, comme nous effectuons le redressement à très bas niveau, il nous faut avoir un certain gain de tension dans le transformateur pour dépasser la partie coudée des diodes, qui se présente pour des valeurs faibles de la tension. Ces diodes, qui ne doivent pas supporter de courants importants, mais qui doivent avoir des réponses rapides, sont des OA 86. On trouve alors sur les caractéristiques, qu'il faut présenter à leurs bornes une tension d'au moins 0,2 à 0,3 volts pour sortir du coude de leurs caractéristiques.

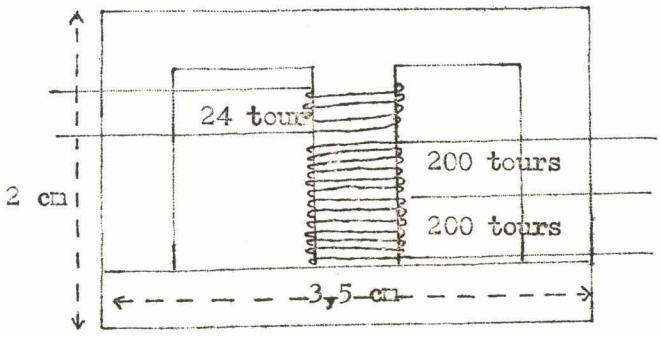
Remarquons que cette particularité est très favorable car, si nous choisissons convenablement le rapport de transformation pour que les signaux utiles soient d'une amplitude supérieure ou égale à cette valeur minimum, les signaux parasites de plus faible amplitude seront, eux, plus ou moins atténués par les diodes, car leur amplitude étant moindre, ils se trouveront dans la partie courbe de la caractéristique.

L'amplitude des impulsions produites sur le primaire étant de 70 à 100 millivolts, il nous faut au moins un gain de tension de 4 à 5 pour obtenir les 300 millivolts nécessaires au secondaire.

La forme de l'impulsion fournie par les tores lors de leur basculement est, en gros, celle d'une sinusoïde. La durée de la demi-sinusoïde

équivalente à l'impulsion serait de 1,4 à 1,6 microseconde, ce qui correspond à une fréquence de 700 kHz. Il faut donc un transformateur qui présente une bande passante allant de quelques kilohertz (fréquence de répétition des impulsions) à 1 mégacycle.

Après plusieurs essais sur des matériaux divers, nous avons choisi de monter le transformateur d'entrée sur un noyau en E de feroxcube 3 A.

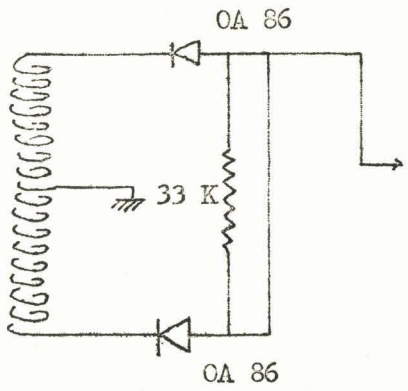


Compte tenu du gain en tension que nous désirions obtenir et de la fonction de redressement des deux alternances que nous avons prévues, nous avons bobiné sur le noyau :

primaire : 24 tours
secondaire : 200 tours chacun.

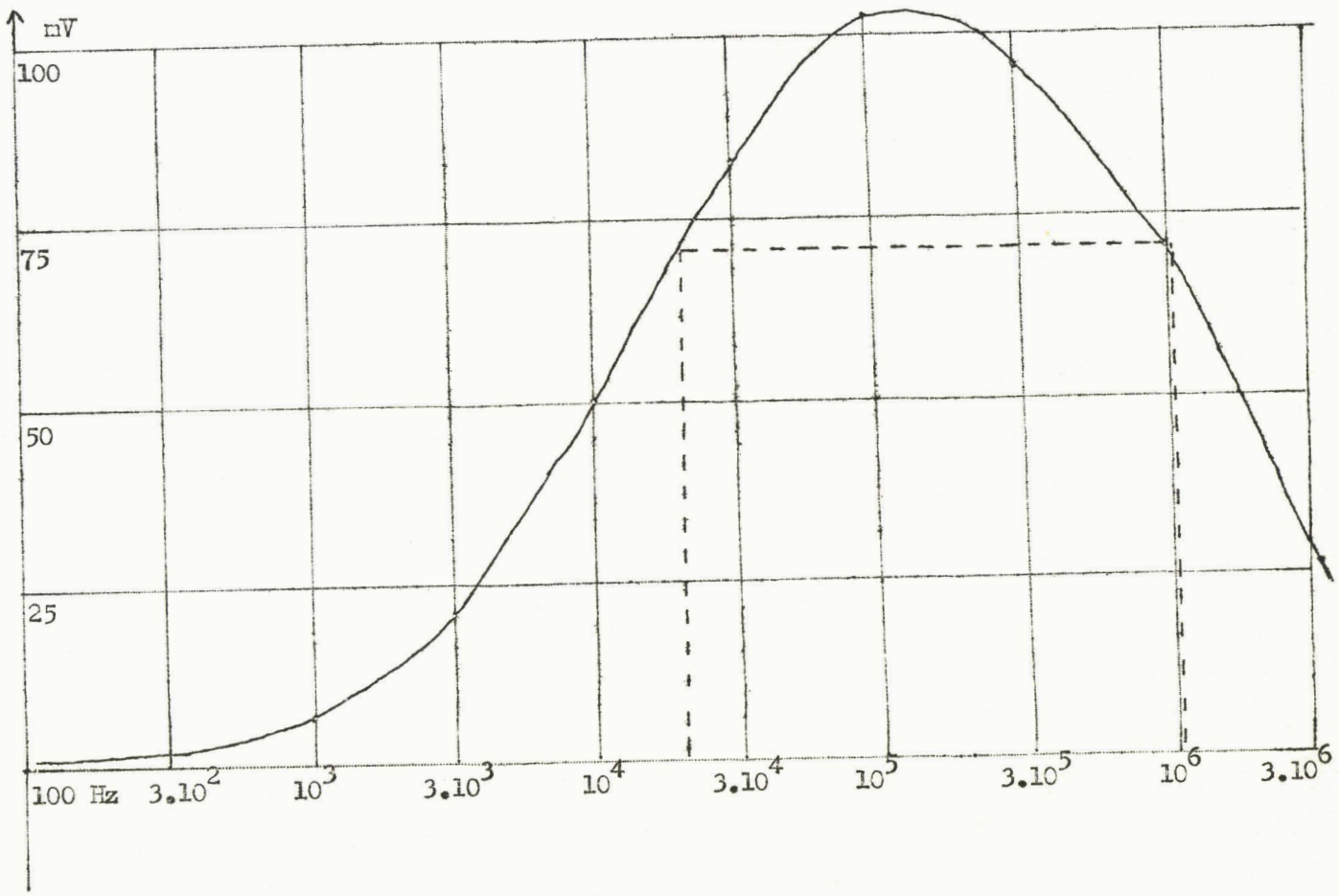
Le transformateur ainsi monté présentait une résonance aux environs de 100 kilocycles. Pour amortir cette dernière et élargir la bande passante, nous avons disposé aux bornes extrêmes des deux secondaires, une résistance de 33 KΩ.

Nous avons pu alors relever la courbe de réponse du transformateur. (Voir courbe page 102).



Ces caractéristiques conviennent parfaitement au rôle que doit jouer le transformateur d'entrée. Les deux diodes sont montées de façon à ne laisser passer que les impulsions négatives. La raison de ce montage est que, après l'amplification en classe A, on procède tout de suite à la discrimination des amplitudes et qu'à l'entrée de ce circuit, les impulsions doivent être positives.

BU LILLE



Tension à la sortie pour 5 millivolts à l'entrée.
La bande passante à trois décibels va de 20 kHz
à 1 mégahertz.

L'AMPLIFICATEUR D'ENTREE

Les impulsions sur le secondaire ont une amplitude maximum de 1 volt environ. On ne peut faire de discrimination d'amplitude avec un niveau aussi bas. Aussi commencerons-nous par amplifier fortement le signal. Comme nous n'avons pas à tenir compte du bruit de fond et des parasites qui seront éliminés par la suite, comme l'amplitude du signal sur la grille est relativement importante, nous pouvons utiliser un tube à fort courant et qui, surtout, présente une pente importante. Nous avons pris le tube 63 64 qui présente une pente de 6 à 7 milliampères par volt.

Comme le tube fonctionne en classe A et que nous voulons limiter au maximum le nombre de tensions à fournir à l'amplificateur, comme, par ailleurs, la fréquence des signaux est assez élevée, on peut faire un montage à polarisation par la cathode avec une capacité suffisamment faible pour ne pas devoir employer un condensateur électrolytique.

Pour obtenir un seuil précis, nous avons avantage à amplifier fortement l'impulsion. Nous choisirons donc une haute tension d'anode importante et une résistance de plaque importante.

La haute tension la plus élevée est le + 250 volts. Si nous voulons une amplitude de l'ordre de 50 à 60 volts sur l'anode du tube, il faut une résistance R_p telle que :

$$R_p = \frac{1}{s} \cdot \frac{V_s}{V_e}$$

On trouve que R_p doit être de l'ordre de 20 kiloohms. Nous avons pris 24 K.

La résistance de polarisation de cathode, pour obtenir un point de fonctionnement convenable, peut se déterminer sur les caractéristiques du tube et sa droite de charge.

On prendra, pour une tension grille-cathode de 2 volts,

$$R_k = 180 \text{ ohms.}$$

La capacité de découplage de cette résistance doit être de l'ordre de 1 microfarad.

LE CIRCUIT DISCRIMINATEUR DE NIVEAU

La façon la plus simple de disposer d'un seuil de tension est d'employer un tube fonctionnant de part et d'autre de son cut off.

Les impulsions en provenance du premier étage ont une amplitude qui est déjà importante et qui, en gros, est de 50 volts pour les impulsions utiles et de 20 volts au maximum pour les impulsions parasites.

C'est sur cette base de 20 volts que nous avons déterminé le seuil.

L'autre triode du tube 64 63 servira à faire la discrimination.

Pour une haute tension de 250 volts, le cut off du tube 64 63 se trouve aux environs de - 17 volts. Nous polariserons donc la grille de ce tube à - 37 volts, à travers une résistance importante et ainsi seules les impulsions dont le niveau dépasse 20 volts pourront débloquer le tube.

Comme le signal ainsi défini doit sortir sous forme d'une impulsion négative, nous le prendrons sur l'anode du tube. Une résistance de 10 K dans cette anode devrait suffire à donner une amplitude suffisante de sortie.

Il nous faut encore prévoir un gate qui n'autorise le passage de l'impulsion lue qu'au moment de la lecture, faute de quoi les impulsions dues aux basculements au moment de l'écriture seront amplifiées au même titre que les autres et viendront basculer à contre-temps les Eccles-Jordan de l'additionneur.

Nous avions pensé employer un montage analogue à celui auquel nous avons fait appel dans les circuits de l'horloge, c'est-à-dire commander la polarisation d'une grille par le signal de contrôle et n'autoriser le dépassement du cut off par l'impulsion de lecture que si la commande de contrôle est haute. L'amplitude dont il aurait fallu disposer sur le signal de contrôle aurait dû être d'au moins 60 volts. Nous ne pouvions, d'autre part, disposer ce contrôle en série avec le seuil en décalant ce dernier

vers le bas de la valeur convenable, car l'amplitude du signal de contrôle est susceptible de varier et le seuil n'aurait plus été aussi précis.

Comme, d'autre part, l'amplificateur se trouve assez loin de l'additionneur - car nous avons préféré le disposer aussi près de la matrice que possible - nous avons avantage à le sortir de l'amplificateur sous une impédance faible. Nous disposerons donc un dernier étage qui jouera, à la fois, le rôle d'amplificateur de puissance en fonctionnant en cathod follower et qui servira de circuit de gate.

Remarquons, pour cela, qu'en algèbre de Boole, nous pouvons écrire la relation :

$$\overline{A} + \overline{B} = \overline{A \cdot B}$$

c'est-à-dire qu'un circuit "ou" fonctionnant en sens inverse donne un circuit "et".

Or, nous fonctionnons bien, ici, en inverse, puisque les impulsions de contrôle comme de lecture sont des impulsions négatives.

Si donc nous attaquons les deux grilles de deux tubes qui portent une résistance commune dans leur cathode, la tension sur cette cathode ne baissera que si celles des deux grilles baissent simultanément.

L'impulsion de contrôle dont nous avons parlé est, en fait, l'impulsion de commande des amplificateurs de lecture que nous avons inversés.

Nous pouvons alors disposer de l'impulsion lue dans les tores dans les conditions que nous désirons et avec les sécurités qui valident sa présence sur la sortie.

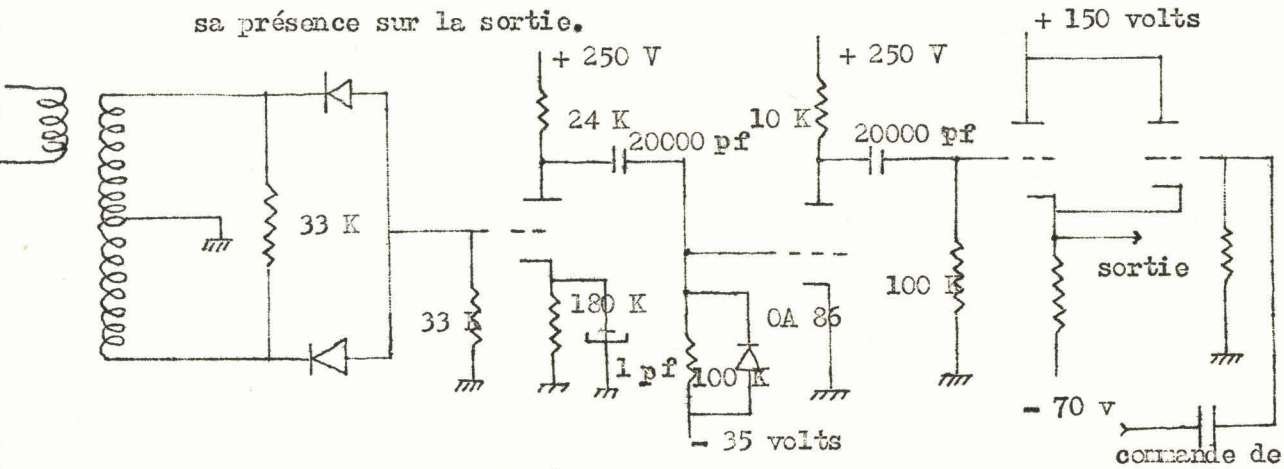


Schéma de l'amplificateur de lecture

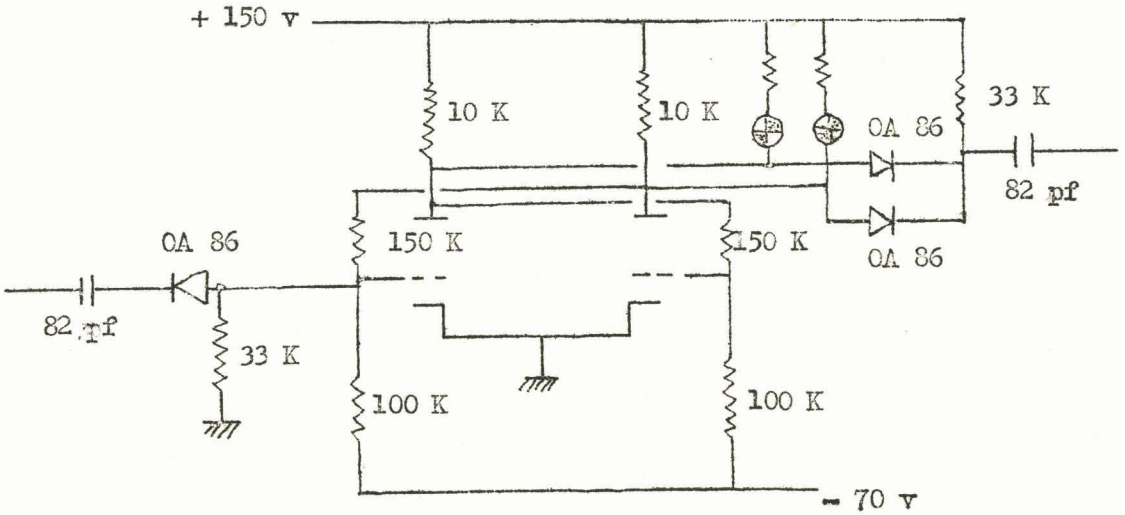
L'ADDITIONNEUR BINAIRE

L'additionneur se compose presque exclusivement d'éléments dont nous avons déjà fait l'étude. Nous avons, en effet, deux bascules montées en compteur binaire et d'un gate à impulsions.

La première bascule, qui doit avoir une sortie de puissance pour commander le gate, sera identique à celles qui entrent dans les circuits de l'horloge. La seconde, qui ne doit pas comporter de sorties de puissance, mais une sortie par condensateur, pour attaquer la première bascule, sera le seul élément nouveau de cette partie du montage.

Comme le basculement ne doit pas être très rapide et que nous ne demandons aucune puissance sur les sorties, nous avons calculé une bascule du type le plus classique.

L'attaque de la bascule se fait par les anodes et la remise à zéro par les grilles.

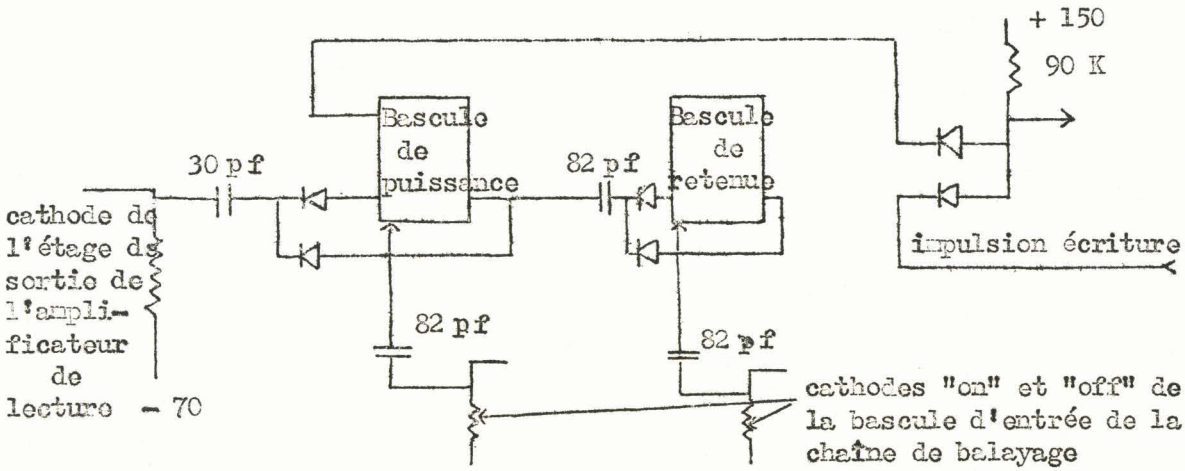


Tube ECC 180

Le circuit de gate se comporte exactement comme les circuits qui se trouvent à l'entrée des amplificateurs de puissances commandant les tores. Il joue exactement le même rôle et les signaux qui se présentent sur ses entrées sont identiques : l'un est la tension continue qui se trouve

sur la cathode de la bascule, l'autre une impulsion de commande qui est la même que l'impulsion commandant l'écriture.

Nous aurons donc, pour l'additionneur, le schéma suivant.



Ce schéma est, cependant, incomplet, car il faut ajouter à l'additionneur des possibilités d'inscription manuelle des digits binaires. Comme pour l'instant, cette inscription initiale ne peut se faire qu'à la main, il suffit, à l'aide d'un contacteur, de déterminer la position de la première bascule de l'additionneur qui commande la réinscription des digits dans les tores.

Comme cette inscription peut se faire manuellement, il suffit de prévoir deux contacteurs qui permettent de mettre, pendant un instant, chacune des deux anodes à la masse imposant ainsi l'état désiré à la bascule.

Remarquons que si, ultérieurement, nous voulons connecter la mémoire à un organe qui puisse le commander à fréquence plus rapide, il est simple de faire cette liaison puisqu'il suffit de prévoir l'entrée de deux impulsions sur la bascule qui commande l'inhibition, l'une représentant un zéro, l'autre un 1.

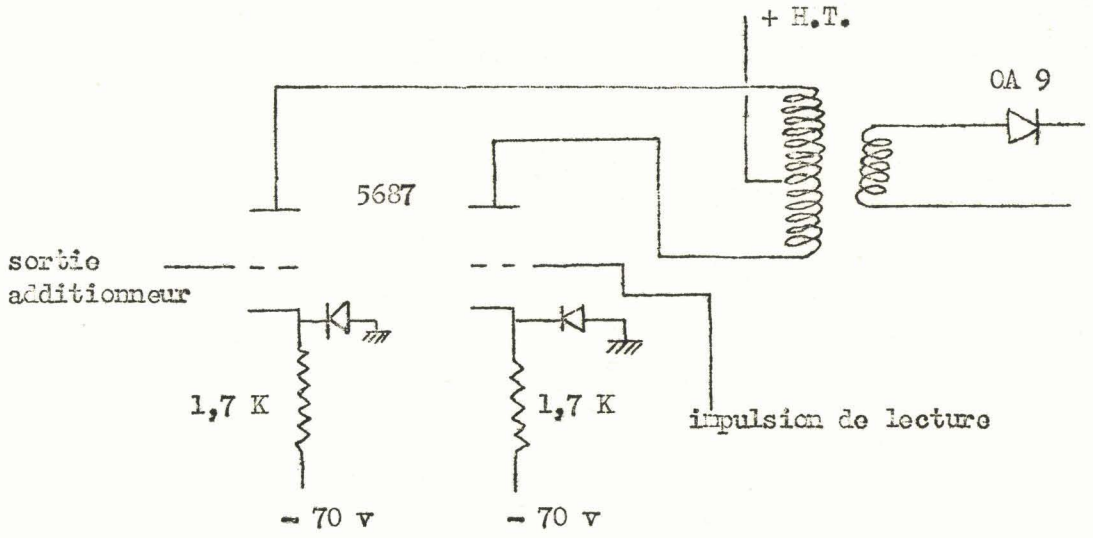
L'AMPLIFICATEUR D'INHIBITION

Comme cet amplificateur est contrôlé par la sortie "off" de la première bascule de l'additionneur, il ne fonctionnera que lorsqu'il faudra inscrire un zéro en mémoire.

La difficulté que nous avons rencontrée lors de la restitution de l'état initial des transformateurs d'impulsions se présente à nouveau. Il faut, en effet, pour que le transformateur à cycle carré qui contrôle le fil d'inhibition puisse fonctionner normalement à chaque cycle, qu'on le remette dans son état initial après qu'il ait basculé. Si nous voulons ne pas compliquer le cycle de l'horloge, la seule solution est d'utiliser pour cela l'impulsion de lecture. Pour empêcher le courant de basculement du transformateur de perturber l'opération, il faut mettre une diode.

Nous avons mis une OA 9, à cause de sa très faible résistance directe et du courant important qu'elle peut supporter. Il faut alors diminuer légèrement la résistance qui se trouve en série avec le fil de commande.

On trouve, sur les caractéristiques de la diode que, pour un courant de 400 milliampères, la diode présente à ses bornes une différence de potentiel de 0,7 volts, ce qui correspond à une résistance de 1,75 ohms.



TROISIEME PARTIE

POSSIBILITES D'EXTENSION ULTERIEURE DE LA MACHINE

Nous avons vu que la capacité actuelle de la machine se trouve réduite à 100 digits binaires, ce qui est extrêmement peu.

D'autre part, la lecture des mots se fait en série, c'est-à-dire bit par bit, ce qui limite la vitesse de la mémoire et la réduit proportionnellement à la longueur des mots inscrits ou à inscrire.

La chaîne de balayage, enfin, telle qu'elle est conçue, actuellement, entraîne l'obligation de parcourir un cycle complet d'exploration de la mémoire avant de pouvoir se retrouver sur une adresse déterminée.

Il faut remarquer, cependant, qu'une mémoire de ce type est normalement conçue pour être réunie à un organe de calcul et un organe de traitement, qui est seul à pouvoir utiliser les circuits à leur vitesse normale et à pouvoir les commander en fonction de ses besoins. En l'absence de ces organes indispensables, la mémoire ne pouvait fonctionner que sous la commande d'un circuit interne de programme. Nous avons choisi le plus simple en même temps que le plus logique, le programme séquentiel qui consiste à lire les mémoires les unes après les autres.

L'organe de calcul que nous avons adjoint et qui n'est, en fait, qu'un additionneur, ne pouvait être développé beaucoup plus sans

adjoindre à la mémoire un programme de sélection d'adresses plus complexe et qui n'aurait été qu'un cas particulier, aucun ordre ne venant de l'extérieur pour le modifier et le diriger.

Nous avons fait ces remarques pour montrer que, dans un ensemble de calcul aussi bien électronique que mécanique, les deux fonctions de mémoire d'une part et de traitement et de programme d'autre part sont intimement liées l'une à l'autre et qu'elles ne peuvent fonctionner l'une sans l'autre. Ceci est d'autant plus vrai que la mémoire est plus rapide et que les ordres qui lui sont donnés doivent, pour lui assurer un fonctionnement normal, lui parvenir à un rythme qui dépasse les possibilités manuelles d'un opérateur. Il serait illusoire, en effet, de vouloir remplacer l'organe de calcul et l'organe de programme par une série de commutateurs et de boutons. La grande rapidité de l'organe de mémoire serait alors annihilée par les pertes de temps dues aux entrées et aux sorties des ordres et des données.

Nous allons montrer que cette mémoire peut, cependant, en dépit de ses faibles possibilités en fonctionnement autonome, être améliorée et qu'elle représente les bases d'une mémoire de beaucoup plus grande capacité pouvant être connectée utilement à un organe de calcul.

CONDITION DE FONCTIONNEMENT D'UNE MEMOIRE RAPIDE CONNECTEE A UN CALCULATEUR

Les caractéristiques d'une mémoire sont sa capacité et son temps d'accès.

A partir d'un ordre envoyé par l'organe de programme qui définit l'adresse d'une donnée, la mémoire doit fournir cette donnée qui peut être soit un nombre soit un ordre. Ce contenu d'une adresse s'appelle soit un mot soit un catène. Il comporte, en général, un nombre important de digits binaires. Dans les calculatrices, en fonction à l'heure actuelle, ce nombre va de 10 à 50 digits binaires.

Si nous supposons, pour prendre une valeur moyenne, que les mots que nous aurons à employer comporteront 25 digits binaires ou bits, la capacité de la mémoire est réduite à quatre mots. Comme, par ailleurs, la lecture du mot en question se fait bit par bit, il faudra 25 cycles de lecture-écriture pour que le mot entier soit utilisable dans les organes de traitement. Encore faut-il remarquer que ce temps ne comporte pas les cycles de formation de l'adresse du premier tore à interroger et qui peuvent être au nombre de 75 si le mot se trouve en dernière position de la chaîne de balayage.

L'utilisation, telle quelle, de la mémoire avec un organe de calcul est donc extrêmement limitée, pour ne pas dire impensable.

La majorité des mémoires à tores magnétiques sont des mémoires à trois dimensions et non pas à deux comme celle que nous avons réalisée. Le principe de sélection par courants coïncidents continue d'être appliqué mais sous une forme différente. C'est ce principe que nous allons examiner en montrant qu'il est applicable au cas présent.

MEMOIRES A TROIS DIMENSIONS

Une mémoire à trois dimensions est constituée par une série de matrices superposées dont le câblage ne diffère pas de la matrice que nous employons.

Un tore est alors représenté par trois indices X, Y et Z. La sélection d'adresse ne se fait plus pour un seul tore mais directement pour le mot que l'on désire lire dans la mémoire.

Supposons, par exemple, que tous les digits qui constituent le mot A portent un indice qui rappelle la puissance de deux qu'ils représentent. Nous aurons A_1, A_2, A_3,.... A_p.

Si nous rangeons chacun de ces bits dans les tores qui ont pour adresse :

(X_n, Y_n, Z_1) pour A_1,

(X_n, Y_n, Z_2) pour A_2,

.....

(X_n, Y_n, Z_p) pour A_p,

les bits qui constituent le mot A se trouveront sur une même colonne de tores pour laquelle les parties de l'adresse qui représentent X et Y seront constantes. Si nous rangeons ainsi un mot par colonne, nous voyons que les données X et Y suffisent à définir l'adresse du mot recherché.

La figure de la page 113 illustre cette application.

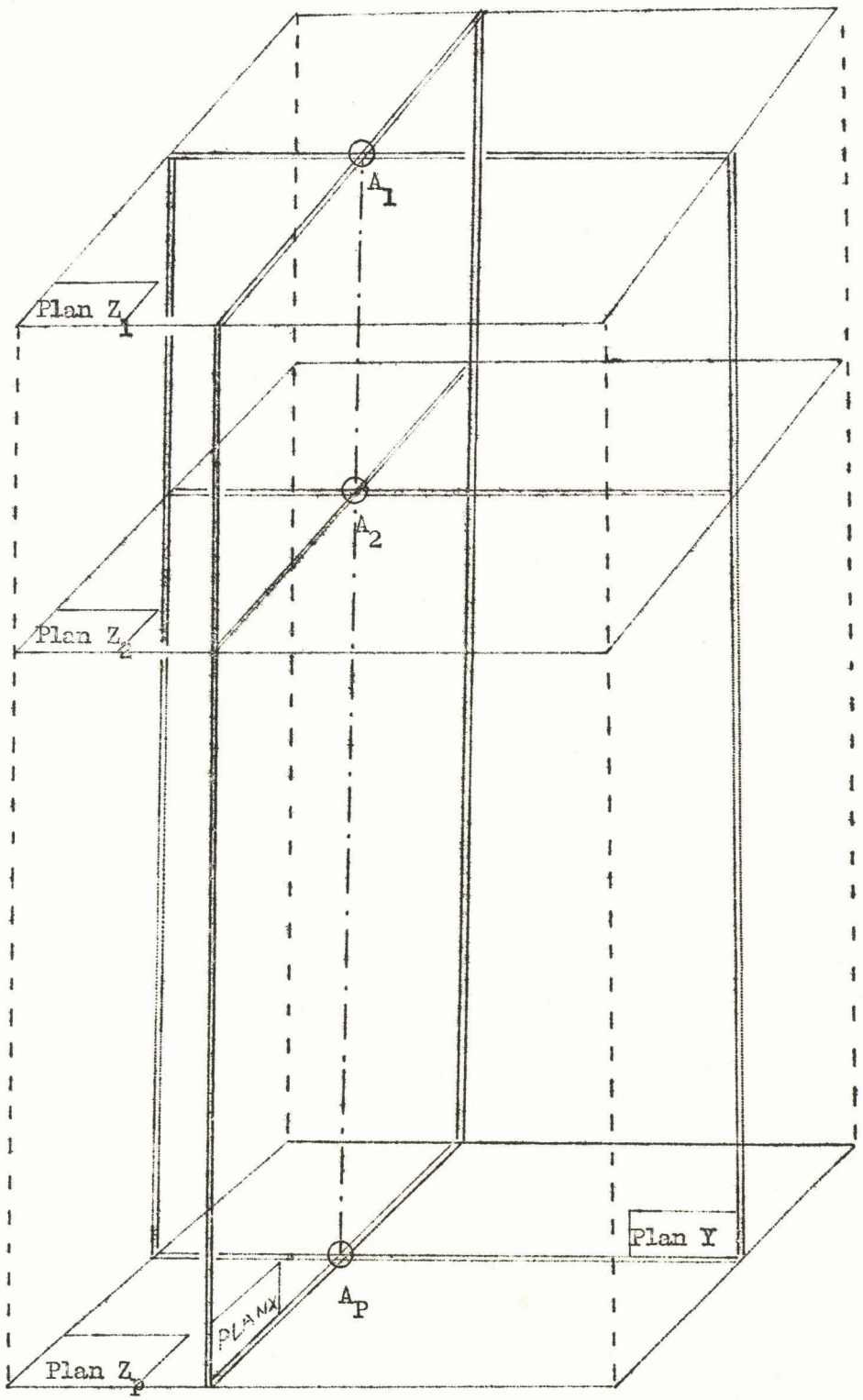
C'est une disposition du type que nous avons décrit que nous voulons adopter ppur la mémoire. Un tel changement, qui entraîne une augmentation importante de la capacité de la mémoire ne change pas les organes fondamentaux qui s'y trouvent déjà et peut se faire au prix de quelques adjonctions simples à réaliser.

La transformation consiste à remplacer une position binaire par un mot entier. Si nous disposons, les unes au-dessus des autres, un certain nombre de matrices de tores identiques à celle que nous avons déjà réalisée, nous aurons constitué les plans Z qui doivent contenir ces bits représentant la même puissance de deux de chaque mot.

Pour procéder à la lecture ou à l'écriture dans la mémoire d'un mot, il nous faut attaquer en même temps tous les fils qui correspondent, dans chaque plan, à une même valeur de X et de Y.

Il suffira de relier les uns à la suite des autres tous les fils de chaque plan Z qui correspondent à une même valeur de X et de Y. Les demi-courants que nous produirons alors ne définiront plus alors une ligne mais un plan et les seuls tores qui se trouveront à l'intersection de ces deux plans se trouveront sélectés. Ces tores seront, en fait, les positions des bits A_1, A_2, ..., A_p du mot A.

Comme nous avons branché en série les fils de commande de chaque ligne X et Y, ce seront les amplificateurs, qui servaient pour commander la matrice plane, qui commanderont la mémoire à trois dimensions. Il ne sera pas nécessaire d'en ajouter de nouveaux.



BU LILLE

Principe de la sélection des mots
dans les mémoires à trois dimensions

Il faut, cependant, remarquer qu'on ne pourra les appliquer tels quels car les impédances apparentes, ramenées au primaire par le basculement des tores augmenteront. Il suffira, en fait, de diminuer les résistances qui sont montées en série avec les fils de lecture et d'écriture pour corriger ce défaut.

Par contre, alors que les amplificateurs de commande ne devaient pas subir de transformations importantes, les amplificateurs de lecture doivent être multipliés. En effet, comme on procède à la lecture d'un bit dans chaque plan Z et que toutes ces lectures sont simultanées, il faut doter le fil de lecture de chaque plan d'un amplificateur qui lui est propre. Ces amplificateurs sont exactement identiques à celui qui existe déjà puisqu'ils doivent jouer le même rôle. Un registre de bascules sera disposé derrière ces amplificateurs pour recevoir les données et les transmettre au moment voulu aux organes de traitement.

SELECTION DES ADRESSES DE LEMOIRE

Avant de montrer comment pourra se faire la sélection des adresses sur la mémoire, nous ferons un bref rappel du code biquinaire.

Dans beaucoup de machines, le fonctionnement en binaire, du point de vue électrique, c'est-à-dire le fonctionnement par tout ou rien, simule, pour des questions de commodité d'emploi, un code décimal.

Comme, dans tous les cas, les entrées et les sorties de la machine doivent se faire en décimal, il est souvent plus pratique de faire appel dans les organes de traitement à des codes truqués qui simulent le système décimal.

Parmi ces derniers, l'un des plus employés est le code biquinaire. Un digit ne représente plus, alors, une quantité binaire, mais une quantité décimale. Il est bien évident que la transmission d'un chiffre décimal ne peut plus se faire sur une seule voie.

Le code biquinaire utilise 7 voies sur lesquelles se trouvent en parallèle, à un instant donné, des positions binaires qui représentent

un chiffre décimal. Deux voies représentent la parité du nombre considéré. On les nomme souvent B_0 et B_1. Si le nombre est pair, B_0 sera "on" et B_1 "off". Si le nombre est impair, ce sera l'inverse. Les cinq autres voies indiquent dans quelle paire de nombres se trouve le nombre en question. Ces voies sont appelées Q_0, Q_2, Q_4, Q_6, Q_8. Si le nombre est dans la paire (0, 1), Q_0 sera "on" et les autres "off" ; sille nombre est dans la paire (2, 3), Q_2 sera "on" et les autres "off", etc...

Nombre décimal	Codage de ce nombre en biquinaire						
	B_0	B_1	Q_0	Q_2	Q_4	Q_6	Q_8
1	0	1	1	0	0	0	0
2	1	0	0	1	0	0	0
3	0	1	0	1	0	0	0
4	1	0	0	0	1	0	0
5	0	1	0	0	1	0	0
6	1	0	0	0	0	1	0
7	0	1	0	0	0	1	0
8	1	0	0	0	0	0	1
9	0	1	0	0	0	0	1
0	1	0	1	0	0	0	0

Tableau du codage du décimal en biquinaire

Le choix de ce code est dû à deux raisons principales. La première est qu'il est facile de faire contrôle d'erreurs. Il doit y avoir en effet deux des voies qui doivent être hautes simultanément, l'une binaire, l'autre quinaire. Il suffit donc de disposer d'un contrôleur de parité pour relever les erreurs possibles. Cet avantage se paye, il est vrai, par une redondance importante qui entraîne la nécessité de disposer de 7 canaux pour transférer une information.

Le second avantage de ce code est de permettre de disposer immédiatement du complément à 9 d'un digit. Sur une bascule, par exemple, il suffira de prendre les sorties en sens inverse pour obtenir ce complément à 9 d'un digit. Le complément à 9 est employé pour les soustractions et les divisions.

Ce code est directement utilisable sur la chaîne de balayage d'adresses des tores. Cette dernière, aussi bien pour la sélection verti-

cale qu'horizontale, se compose d'une bascule binaire qui détermine la parité de l'adresse et de cinq bascules dont une seule peut être "on" à la fois et qui détermine la paire dans laquelle se trouve l'adresse du tore sélecté. Avec les circuits "et" convenables, on définit l'adresse d'une ligne verticale. Une chaîne identique donne une adresse horizontale.

Il suffira donc de deux chiffres décimaux codés en biquinaires pour définir l'adresse d'un mot dans la mémoire. Un dispositif de remise à zéro de la chaîne de balayage est à prévoir entre chaque cycle de lecture-écriture.

CARACTERISTIQUES DE LA MEMOIRE AINSI TRANSFORMEE

Les possibilités de la mémoire après ces transformations sont de beaucoup supérieures à celles dont elle dispose actuellement.

Les améliorations portent sur deux points : la capacité et la rapidité.

La capacité

Une fois définie la longueur des mots qui seront inscrits dans la mémoire, on peut adjoindre à la matrice actuelle autant de matrices identiques qu'il y aura de bits par mots.

Quelle que soit la longueur des mots, nous aurons une capacité de 100 mots, ce qui est déjà une valeur intéressante. Supposons, en effet, que cette mémoire serve à contenir un programme. Nous pourrons disposer de 100 ordres élémentaires. Ce nombre est du même ordre que le programme dont on peut disposer sur les machines à programme par tableau de connexions et il est beaucoup plus souple, car il est susceptible de modifications en cours de calcul, par transformation des ordres dans l'organe de traitement. Il est, par ailleurs, plus simple à établir.

Si nous faisons de cette mémoire un organe de stockage de données, nous pouvons effectuer des calculs assez importants sans dépasser la capacité de la mémoire.

La rapidité ou temps d'accès de la mémoire

Contrairement à ce qui se passe actuellement, où chaque bit d'un mot sort de la mémoire en séquence, dans cette nouvelle forme de la mémoire, tous les bits d'un mot sont lus en même temps.

Compte tenu alors du temps de sélection de l'adresse, nous pourrions parvenir à un temps d'accès de l'ordre de 20 microsecondes. Il faut alors remarquer qu'alors le temps d'accès ne dépend plus de la longueur des mots.

INTERET DE CES TRANSFORMATIONS

Ces transformations ne prendraient tout leur intérêt que si la mémoire était connectée à un organe de programme qui puisse la diriger et à un organe de traitement qui puisse l'utiliser.

Mais alors, on voit le gain que l'on a pu réaliser : en supposant toujours que les mots employés comportent 25 bits, la capacité de la mémoire a été multipliée par 25, le temps d'accès a été réduit dans la même proportion. Ces améliorations ont été obtenues en ajoutant simplement les supports des nouvelles positions de mémoires, c'est-à-dire les tores et en adjoignant à l'amplificateur de lecture autant d'amplificateurs identiques que les mots comportent de bits.

Remarquons aussi que les amplificateurs d'inhibition travaillant dans un plan donné Z, il en faut autant qu'il y a de plans.

PRESENTATION DE LA MACHINE

L'ensemble des circuits de la machine et des circuits d'alimentation est monté sur un châssis vertical de deux mètres de haut.

On remarque, en regardant de bas en haut :

- les organes d'alimentations diverses

- le tableau de commande et de contrôle des opérations
- le châssis contenant tous les circuits de la machine
- la matrice à tores proprement dite.

Dans la mesure du possible, les différents éléments de la machine sont reliés les uns aux autres, par des connexions sans soudure, de façon à pouvoir les retirer facilement.

On a cherché, de plus, à limiter les longueurs des liaisons entre les éléments qui travaillent à des fréquences importantes ou qui se trouvent présenter des grandes impédances. C'est le cas, en particulier, de l'amplificateur de lecture, qui n'a pas été monté avec les autres circuits mais sur l'unité des transformateurs d'impulsions de façon à se trouver le plus près possible de la matrice.

Les alimentations sont groupées dans le bas du châssis, de façon à ne pas introduire de tensions parasites dans les circuits.

SPECIFICATIONS TECHNOLOGIQUES DES ELEMENTS EMPLOYES

Le châssis des circuits de commande

Ce châssis est une porte de calculatrice IBM, comportant 19 lignes de 7 culots chacune. Ces culots sont, à la fois, les supports des unités enfichables et constituent les liaisons électriques entre les unités enfichables. Ils comportent dix broches numérotées de 1 à 10.

Les broches 1 et 2 servent toujours à former la masse et à amener la tension de chauffage des filaments. L'usage des autres broches dépend de la nature des unités.

Ce châssis comporte, en bas et en haut, des plaquettes de liaisons qui permettent de relier les circuits électroniques aux organes extérieurs. Grâce à ces plaquettes, la porte est facilement amovible et son démontage ne prend que quelques secondes.

Les unités enfichables constituent, en principe, chacune une fonction distincte ; les pièces telles que résistances, capacités, diodes, sont câblées sur les supports des tubes.

Ces unités sont disposées sur la porte, par groupe de fonctions, de façon à se trouver le plus près des organes extérieurs avec lesquels elles travaillent.

Les alimentations

Nous avons arrêté les tensions à utiliser au nombre de 4. Ces dernières sont fournies par des alimentations situées dans le bas du châssis.

Les valeurs de ces tensions ont été choisies de façon à pouvoir correspondre aux besoins de tous les montages électroniques employés.

Les tensions positives sont au nombre de deux : + 250 volts et + 150 volts, pour alimenter les anodes des tubes. L'une ou l'autre seront choisies selon le cas, mais dans la mesure du possible, la tension de + 150 volts sera retenue pour les étages basculeurs, de façon à réduire l'amplitude du basculement et ainsi à limiter le "recovery time", toutes choses étant égales par ailleurs.

La tension de + 250 volts sert, en particulier, à alimenter les amplificateurs de puissance qui attaquent les transformateurs d'impulsions commandant les ferrites.

Ces tensions sont fournies par des alimentations du type classique, qui sont reliées au secteur.

La tension négative de - 70 volts s'est avérée nécessaire pour fixer le retour de la résistance des montages en cathod follower. Un bilan approximatif du courant à prévoir pour cette alimentation nous a montré qu'un courant de 2 à 3 ampères serait nécessaire;aussi avons-nous fait appel à un redressement par tubes à gaz sur le secteur triphasé.

La tension de - 250 volts, enfin, sert à assurer le retour des diviseurs de tension qui existent sur différents circuits, en particulier sur les basculeurs et sur les liaisons continues entre étages.

Comme ces alimentations se caractérisent par un débit important vu le nombre de tubes qu'elles ont à polariser, il nous a paru très difficile de les stabiliser et de les réguler.

Il aurait, en effet, fallu employer un nombre de tubes de puissance très important et la puissance absorbée par la machine aurait augmenté dans de larges proportions.

Nous avons jugé qu'il serait plus simple de prévoir une possibilité d'ajuster manuellement les valeurs des tensions désirées à l'aide d'un voltmètre. La nécessité d'une régulation des différentes sources de tensions semble d'autant moins évidente que, compte tenu du grand nombre de tubes, le courant débité par chaque alimentation est statistiquement constant et indépendant de la phase de fonctionnement de l'ensemble.

Nous avons cependant prévu des constantes de temps importantes sur les circuits de filtrage, dans le but d'éviter que des impulsions importantes de courant ne se retrouvent, par l'intermédiaire des lignes d'alimentation, dans des parties du montage où elles seraient indésirables et ne viennent perturber le fonctionnement de la machine.

CONCLUSION

La mémoire magnétique présente, par rapport à d'autres types de mémoires pour calculatrices digitales, l'intérêt d'être extrêmement rapide et de pouvoir fournir aux organes de traitement électroniques les données dont ils ont besoin en un temps qui se trouve être du même ordre que le cycle élémentaire de ces mêmes organes.

Elle présente, par contre, l'inconvénient de n'avoir qu'une capacité de stockage limitée tout en réclamant des circuits importants et complexes.

Ce sont cette complexité et les difficultés d'organisation générale qui nous ont incité à entreprendre une étude sur ce procédé de mémoire en accord avec Monsieur Norbert SEGARD.

Les problèmes rencontrés lors de cette étude présentent une grande diversité, allant de la réalisation d'alimentations à très gros débit à l'étude de circuits travaillant à des niveaux de tensions de l'ordre du millivolt, comme l'amplificateur de lecture des tores, sans oublier les problèmes purement logiques qui doivent définir l'organisation et le déroulement dans le temps des différentes fonctions et opérations nécessaires.

La maquette qui a été réalisée, constitue une unité complète de mémoire dont les possibilités relativement restreintes pour l'instant,

pourront être facilement accrues, comme nous l'avons montré à la fin de ce travail. Elle pourra alors entrer utilement dans un petit ensemble de calcul digital dont elle constituera la mémoire centrale.

***

BIBLIOTHEQUE INTERUNIVERSITAIRE
SECTION DE SCIENCES
LILLE

BIBLIOGRAPHIE

CALCULATEURS NUMERIQUES.- Eléments et circuits. R.K. RICHARDS.

DISPOSITIFS DE MEMOIRE PERMANENTE A GRANDE VITESSE. J.J.M. WIER. I.R.E. Transactions on electronic computers. Mars 1955.

SYSTEMES DE SELECTION POUR MEMOIRES A PLUSIEURS DIMENSIONS. M.K. HAYNES. I.R.E. Transactions on electronic computers. Décembre 1952.

LA MEMOIRE MAGNETIQUE A NOYAUX DU M.I.T. W.N. PAPIAN. Proceeding of the Western Joint Computer Conference. Décembre 1953.

NOUVELLE MEMOIRE MAGNETIQUE UTILISANT DES TRANSFORMATEURS D'IMPULSIONS. W.N. PAPIAN, Electronics. Mars 1955.

REPONSES IMPULSIONNELLES DES NOYAUX DE FERRITE POUR MEMOIRES. J.R. FREEMAN. Proceeding of the Western Computer Sessions. Août 1954.

SYSTEMES DE MEMOIRES MAGNETIQUES A COINCIDENCES MULTIPLES. R.C. MINNICK et R.L. ASHENHURST. Journal of Applied Physics. Mai 1955.

UNE PETITE MEMOIRE MAGNETIQUE A COURANTS COINCIDENTS. W.J. BARTICK et T.H. BONN. I.R.E. Transactions on Electronic Computers. Juin 1956.

CALCULATEURS NUMERIQUES RAPIDES A FERRITES. D.R. BROWN et E.ALBERSSHOENBERG. Electronics. Avril 1953.

⁂

TABLE DES MATIERES

Pages

INTRODUCTION

Présentation du sujet 2
Principes généraux de fonctionnement 5
Principaux organes de la machine 12

PREMIERE PARTIE - ETUDE DE LA LOGIQUE

Généralités 15
Les circuits d'horloge 16
La chaîne de balayage d'adresses 27
Circuits de sélection d'adresse 32
Amplificateur de puissance 34
L'additionneur 35

SECONDE PARTIE - ETUDE ELECTRONIQUE

L'horloge 48

Le maître oscillateur 58
La sélection des fonctions 69
Les générateurs d'impulsion 77

La chaîne de balayage 80b

Les amplificateurs de lecture et d'écriture 84
L'amplificateur de sortie 97
L'additionneur binaire 106
L'amplificateur d'inhibition 108

TROISIEME PARTIE

Possibilités d'extension ultérieure 109
Augmentation de la capacité 111
Augmentation de la rapidité 114

Spécifications technologiques diverses 117

CONCLUSION 121

BIBLIOGRAPHIE 123