

200
T1

DEPARTEMENT D'ELECTRICITE .
FILIERE D'INGENIEURS EN ELECTRONIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES



COMMANDE AUTOMATIQUE ET SEQUENTIELLE
DE
PLUSIEURS MOTEURS PAS A PAS.
APPLICATION : AUTOMATISATION PARTIELLE
DU VAN DE GRAAFF.

TOME 1 : CONCEPTION.

Proposé par:
Mme Georgette MONDON
Dirigé par:
M. Yves FLAMANT

Etudié par:
Dalila DRAIDI
Aïcha HELIFA
Saâd BELKHIAT
Kaled DJAOU





DEPARTEMENT D'ELECTRICITE
FILIERE D'INGENIEURS EN ELECTRONIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

COMMANDE AUTOMATIQUE ET SEQUENTIELLE
DE
PLUSIEURS MOTEURS PAS A PAS.

APPLICATION : AUTOMATISATION PARTIELLE
DU VAN DE GRAAFF.

TOME 1 : CONCEPTION.

Proposé par:
Mme Georgette MONDON
Dirigé par:
M. Yves FLAMANT

Etudié par:
Dalila DRAIDI
Aïcha HELIFA
Saâd BELKHIAT
Kaled DJAOU

REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé au centre des sciences et de la technologie nucléaire(C.S.T.N).

Nous remercions monsieur Bendjaballah, chef de la division physique nucléaire expérimentale de nous avoir accueillis dans ce service.

Nous tenons à remercier vivement monsieur Yves Flamant, docteur es-sciences, professeur à l'université de Bab-Ezzouar, pour ses critiques pertinentes et pour nous avoir encouragés et guidés avec attention et compétence tout au long de notre travail.

Nos remerciements vont également à Mme Mondon, docteur-ingénieur, chargée de cours à l'école polytechnique pour ses conseils et encouragements ainsi que Mr. Trent Tien qui avoulu accepté de faire partie de notre jurie.

A tous ceux qui ont eu l'aimabilité de nous aider dans la réalisation de notre travail, nous exprimons notre Profonde gratitude, nos remerciements vont principalement à:

Mr Colinet

Messieurs Allabert, Herry et Juillard, ingénieurs au C.S.T.N, pour leurs judicieux conseils.

Messieurs Lahmar et Figuières, chefs d'équipes à l'atelier de mécanique, ainsi que le personnel du laboratoire photo pour leur assistance technique.

Pour terminer nous remercions particulièrement Mrs Ganibardi, Benyoucef, EL-Maouhab, Ourari Mahmoud, Merouane Aïcha, Berrichi Djilali, Khababa Amar qui nous ont apporté un précieux concours dans la réalisation matérielle de ce document.

DEDICACES/

A mes parents
A mes freres et soeurs et leurs enfants
A mon amie Arifa.

DALILA

A mes parents
A mes freres et soeurs
A mon petit neveu Mohamed

AICHA

A toute la famille

SA'AD

A mes parents
A mes freres et soeurs.

KHALED

CHAPITRE I: LE VAN DE GRAAFF

I- Introduction	2
II-Principe de fonctionnement du Van de Graaff	3
II-1 Source de tension du Van de Graaff	3
II-2 production et accélération des ions positifs	4
II-3 mesure et régulation de l'énergie du faisceau d'ions	4
III Principe des selsyns	9
III-1 Description des selsyns	9
III-2 Rôle des selsyns	12
IV Fonctionnement des appareils de commande et de contrôle du Van de Graaff	14
IV-1 Condition pour le vide	15
V Mise en marche du Van de Graaff	17
V-1 Sécurités Préliminaires	17
V-2 Mise en marche	18
V-3 Redémarrage après un temps court	20
V-4 Fermeture	20
VI But de la commande automatique	22

CHAPITRE II: LES MOTEURS PAS À PAS

I-Introduction	23
II-Description des moteurs pas à pas	24
II-1 Caractéristiques	24
II-2 Principe de fonctionnement des différents types de moteurs pas à pas	28
III-Performances des moteurs pas à pas	35
III-1 Performances limites	35
III-2 Amélioration des performances	37
IV-Applications des moteurs pas à pas	38
V-Avantages des moteurs pas à pas	40
VI-Choix des moteurs pas à pas	41

CHAPITRE III: DESCRIPTION DU MONTAGE À RETENIR

I-Introduction	43bis
I-1 Paramètre à commander	43bis
I-2 Séquence de réglage des paramètres	44
I-3 Précision sur les réglages	44
I-4 Solution apportée par les moteurs pas à pas	45
II-Etude générale de la commande des moteurs pas à pas	47
II-1 Recherche d'une technique d'asservissement améliorée	47
III-Amélioration par la conception de la commande	49
IV- Schéma retenu	

CHAPITRE IV: ETUDE DE LA SOLUTION RETENUE

I-Etude du driver	52
I-1 Principe de l'alimentation à 2 niveaux	52
I-2 Alimentation chopper	53
II- séquenceur	
II-1 Freinage	54
II-2 Translateur	54
III Commutation des moteurs	55
IV- Indexeur	

CHAPITRE V: SECURITE

I- affichage et préaffichage	57
II- Arrêt automatique	57
III- Arrêt d'urgence	57
IV- Fréquence de rotation	57
V- Commutation des moteurs	58
VI- Préaffichage du moteur en fonctionnement	59
VII- Sécurité de correspondance entre fréquence et le moteur en marche	59
VIII- R.A.Z partiel du préaffichage	59
IX- Protection du contenu du préaffichage	
X- Sécurité des touches (+, -, C+, C-)	59
XI- Remise à zéro de tous les moteurs	59
XII- R.A.Z total	60
XIII- Sens de rotation des moteurs	60
XIV- Possibilité d'entraînement manuel des moteurs	-60
CONCLUSION	62

INTRODUCTION

Dans le cadre de la mise au point d'appareils susceptibles de faire partie de l'équipement du futur laboratoire d'automatisme, l'institut d'électronique encourage toutes les initiatives allant dans ce sens.

C'est ainsi que l'idée de la conception d'une commande commune de plusieurs moteurs pas à pas trouva l'aide nécessaire à sa réalisation.

Par ailleurs, une possibilité d'application pratique de cette commande fut offerte par les responsables du service de maintenance de l'accélérateur de particules (van de Graaff du centre des sciences et de la technologie nucléaire (C.S.T.N)).

Le concours de ces deux utilités a suggéré l'idée de proposer un projet ayant un double aspect et qui a sollicité notre intérêt.

Le premier aspect de ce projet a un intérêt pédagogique car il consiste à présenter et étudier les différents moteurs pas à pas, encore mal connus, ainsi que leur électronique de commande.

Le deuxième aspect de ce projet consiste en l'étude et la réalisation d'une commande automatique du Van de Graaff.

Nous présentons notre travail en deux parties :

- une première partie comprenant l'analyse du problème de la commande du Van de Graaff, les solutions possibles, la confrontation de ces solutions, et enfin la solution retenue.
- une deuxième partie comprenant l'établissement des schémas détaillés, le calcul et la détermination des composants nécessaires.

Nous exposons ici le résumé de la première partie.

L'accélérateur de particules étant un appareil professionnel complexe; nous avons cru nécessaire de consacrer un chapitre entier à l'exposé de son fonctionnement afin de permettre au lecteur de saisir les critères qui ont déterminé les différentes solutions.

Les chapitres suivants comprendront l'étude du fonctionnement des principaux types de moteurs pas à pas, la détermination de leur caractéristiques, la comparaison de ces types de moteurs leur applications préférentielles, le choix des moteurs destinés à notre application et enfin la liste des différents moteurs pas à pas existant sur le marché.

Enfin nous avons exposé dans les trois derniers chapitres l'analyse du problème de la commande du Van de Graaff, la commande électronique des moteurs pas à pas et les différentes solutions possibles avec leur avantages et inconvénients. La logique de contrôle proposée par les constructeurs, l'étude détaillée de la solution retenue et de la logique destinée à contrôler simultanément les commandes des différents moteurs régissant les paramètres de l'accélérateur seront enfin décrits avec les sécurités appropriées.

LE VAN DE GRAAFF

I -- INTRODUCTION

L'accélérateur à haute énergie (du type van de graaff) est destiné à produire des particules d'ions d'énergie allant de 1 à 3 MeV.

Il est destiné à produire un faisceau d'ions positifs de courant variant entre 1 et 200 A = 10%.

Ce faisceau est focalisé de telle sorte qu'à la sortie, il présente une section circulaire d'environ 1cm.

Avant d'être exploité par le physicien, ce faisceau est analysé en énergie et en masse à travers une fente après avoir été dévié par un aimant.

On sélectionne ainsi les particules ayant exactement la même énergie;elles constitueront le faisceau total d'ions de 25 A environ.

Le faisceau ainsi obtenu est alors utilisable par les physiciens pour une expérience nucléaire.

Pour délivrer ce faisceau, le Van de Graaff se compose essentiellement de:

- Une courroie mobile.
- Un générateur de charge de la courroie.
- Un terminal (en forme de dôme) de haute tension.
- Une colonne (constituée de 68 plans métalliques circulaires alternées avec des isolateurs en verre) .
- Une source d'ions positifs.
- Un tube accélérateur.
- Une fente de sortie du faisceau.

Pour comprendre les explications des paragraphes qui suivent on se reportera au schéma global décrivant le Van de Graaff (fig I -- 1).

II - Principe de fonctionnement du Van de Graaff:

Le fonctionnement de l'accélérateur comporte 3 étapes importantes:

- Génération d'une haute tension continue.
- Production et accélération du faisceau d'ions positifs.
- Mesure et régulation de l'énergie du faisceau.

II - 1 Source de tension du Van de Graaff:

La charge électrique est répartie par un système, appelé système Corona de décharge, sur une courroie en matière isolante à mouvement rapide,

Cette décharge permanente est générée à partir d'une alimentation de tension continue de la haute tension (50 K V) qui se trouve à la base du générateur.

Les charges positives sont réparties sur la courroie à partir d'un dispositif appelé peigne ou collecteur de charges.

La courroie semi conductrice transporte mécaniquement les charges sur un terminal hémisphérique de haute tension.

A l'intérieur du terminal les charges sont automatiquement transférées de la courroie au terminal par l'intermédiaire d'un collecteur de charges.

Avec un certain rendement, ces charges servent à maintenir le potentiel du terminal à un niveau déterminé.

La haute tension continue est établie et maintenue par une charge ramenée continuellement à la masse à travers un diviseur de tension de grande résistance (formée par un ensemble de résistances de 40 M chacune, connectées aux plans successifs constituant la colonne).

Le terminal de haute tension est isolé de l'enceinte entourant le générateur par de l'azote et du gaz carbonique pour prévenir une étincelle (ou décharge).

En faisant varier la circulation des charges électriques jusqu'au terminal, la tension du générateur peut varier d'une manière correspondante.

Le réglage de montée de charge se fait à distance (sur le pupitre de commande) en actionnant manuellement une manivelle qui fait tourner un "arbre électrique" appelé selsyn.

II - 2 Production et accélération des ions positifs:

Le gaz (hydrogène, deutérium, hélium) emmagasiné dans un cylindre est introduit dans une source d'ionisation par une microfuite contrôlée à distance.

La circulation du gaz du cylindre à la source d'ions se fait à travers un tube en palladium qui, chauffé plus ou moins, laisse passer à travers ses pores, les molécules de gaz (fig I - 3a).

Pour l'hélium, on utilise un moyen de fuite de gaz autre que le palladium. On utilise un système de fuite à bille maintenue par 2 ressorts de chaque côté dans un tube dont le coefficient de dilatation est plus grand que celui de la bille. Ainsi au chauffage, le tube se dilate plus que la bille et les molécules de gaz pourront passer à travers l'espace ainsi créé entre le tube et la bille (voir fig I - 3b).

Une fois, les molécules de gaz dans la source d'ions, un oscillateur H F (100 MHz) fournit l'énergie nécessaire pour ioniser le gaz dans la source d'ions.

Le réglage de la température, donc de la fuite de gaz, se fait par action manuelle sur un selsyn.

Une tension positive est appliquée à l'électrode d'éjection de la source, provoquant l'extraction des ions positifs du plasma au tube d'accélération.

Cette extraction est commandée au niveau du pupitre de commande par un "selsyn" également.

Les ions positifs sont alors émis dans le tube accélérateur. Ils sont accélérés au moyen d'un champ électrique tout au long de ce tube par la tension du générateur à une énergie qui correspond au potentiel du terminal.

Pour ne pas provoquer de collisions entre les ions ainsi accélérés et les molécules d'air du tube, on entretient en permanence un vide poussé dans le tube.

Chaque électrode métallique du tube est connectée à un plan equipotentiel, dont le potentiel continu est maintenu par un diviseur de tension.

Le tube accélérateur a 2 fonctions importantes: il focalise les ions du faisceau et les accélère.

Le système de la commande de la focalisation peut être optimisé de la même manière que la montée de charge, l'injection du gaz dans la source d'ions et l'extraction du faisceau d'ions.

Les particules dans le faisceau sont pratiquement homogènes en énergie à chaque instant parce que le potentiel est continu.

Le courant du faisceau d'ions peut être réglé par un contrôle à distance, par régulation du potentiel de la source et la circulation du gaz jusqu'à la source d'ions.

D'autres gaz peuvent être introduits soit en changeant les réserves de gaz, soit par commutation à distance sur une autre source de gaz (ceci se faisant par un commutateur "selecteur de gaz").

II - 3 Mesure et régulation de l'énergie du faisceau d'ions:

Pour une mesure précise et un contrôle de l'énergie du faisceau d'ions le faisceau est dévié par un champ magnétique dont l'intensité est maintenue constante par une alimentation d'intensité contrôlée électroniquement.

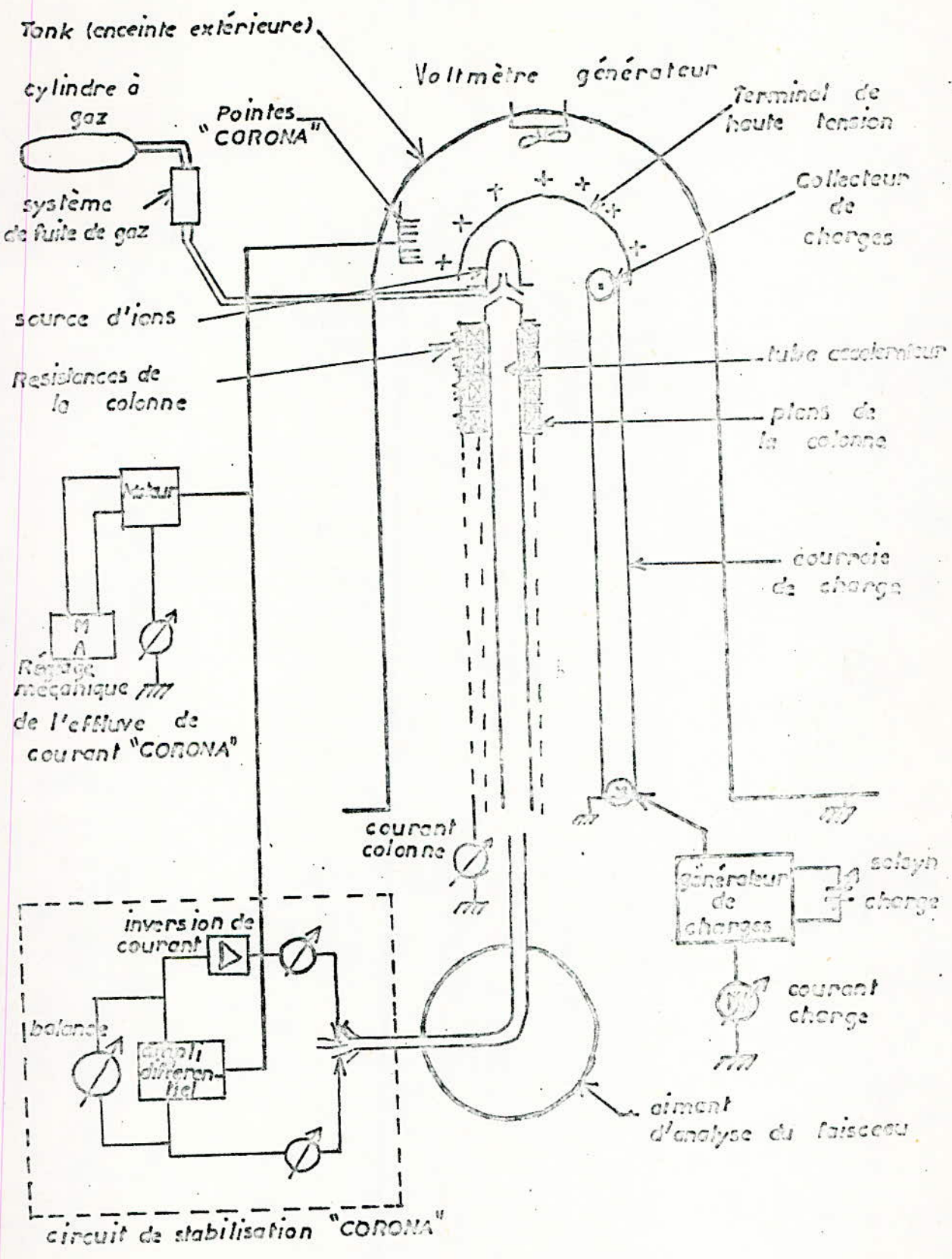
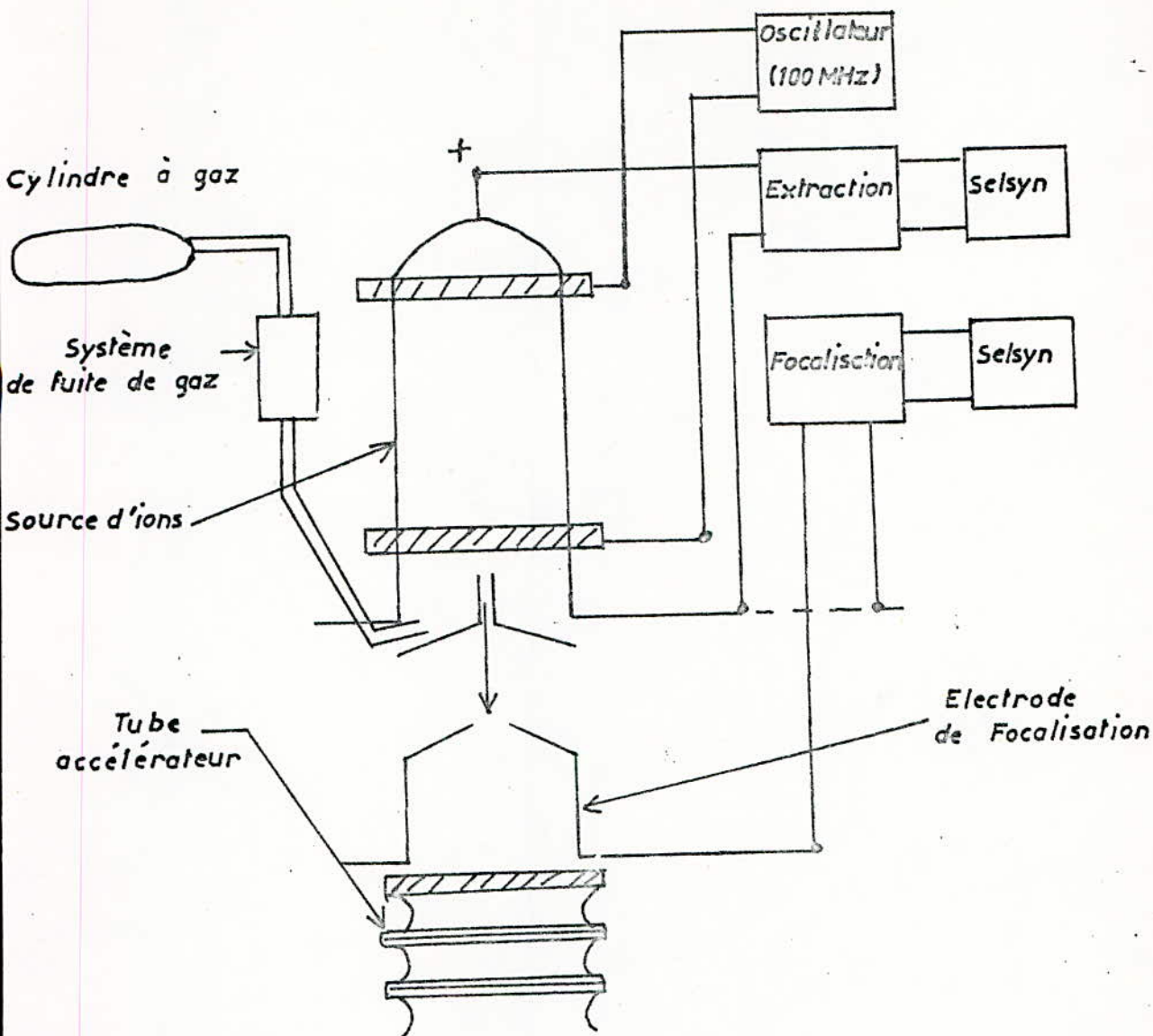


Fig I-1 Schéma global de l'accélérateur nucléaire



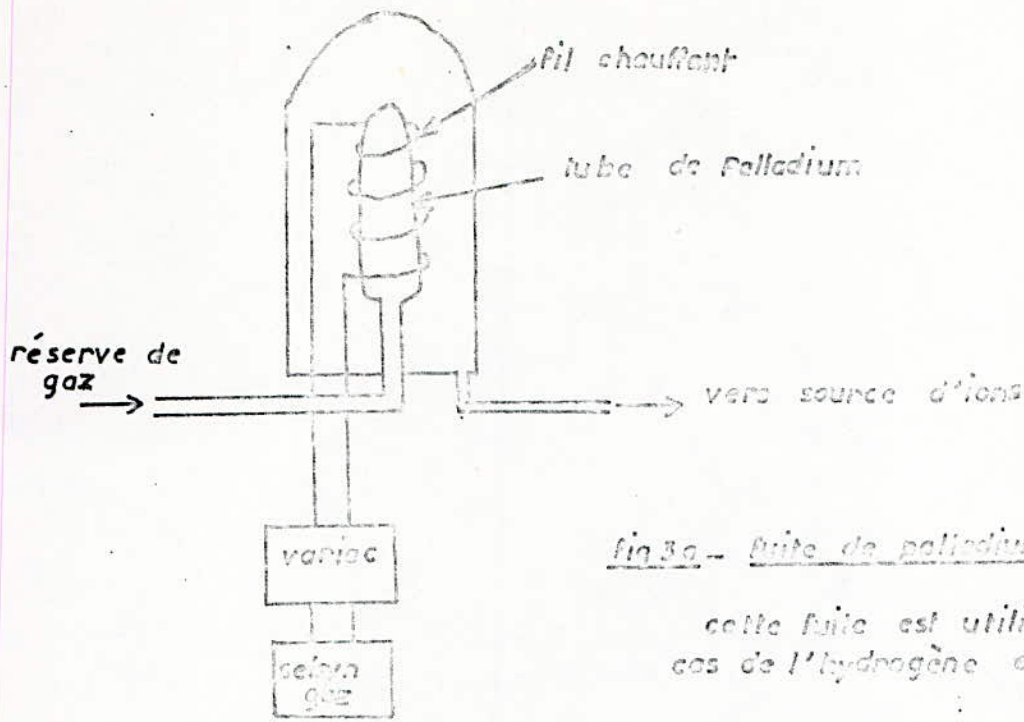
FigI-2 Source d'ionisation

Les ions sont produits dans une source d'ions par une ionisation HF d'un gaz tel que l'hydrogène par exemple.

Ces ions positifs sont entraînés dans le tube accélérateur où ils sont accélérés, après focalisation, par la tension du générateur.

L'extraction du faisceau d'ions est obtenue en faisant varier le potentiel de l'anode de la source d'ions. On règle ainsi le courant de faisceau.

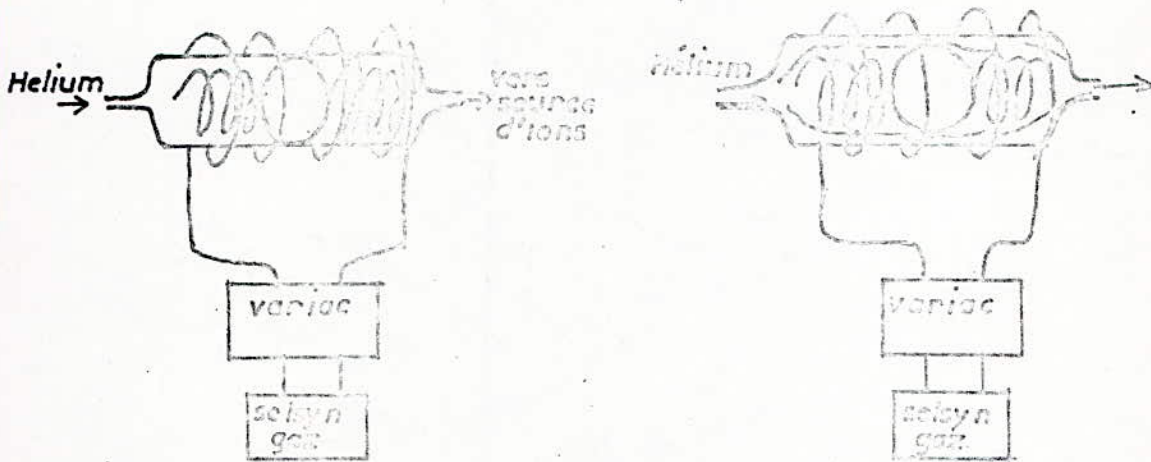
La géométrie électrostatique du tube accélérateur focalise les ions dans un faisceau bien aligné.

Fig 3a. - fuite de palladium

cette fuite est utilisée dans le cas de l'hydrogène et du deutérium

Fig 3b - fuite thermomécanique: fuite à bille

Ce système est utilisé dans le cas de l'hélium. Les molécules d'hélium étant plus grosses que celles de l'hydrogène et du deutérium, le système de palladium ne peut être utilisé.



① Avant chauffage :
la bille est en contact avec les parois du tube l'hélium ne passe pas.

② Après chauffage :
le tube et la bille se dilatent mais pas dans les mêmes proportions ce qui laisse un espace pour la fuite des molécules d'hélium entre les 2.

A la sortie de l'aimant, on aura sélectionner des ions d'un certain produit masse-énergie. Ils constitueront un faisceau qui traversera alors une fente de sortie pour servir à une expérience nucléaire.

La quantité relative du faisceau d'ions qui ne traverse pas la fente correspond à la mesure de la variation d'énergie dans le faisceau.

Ce courant est utilisé comme signal de correction de la tension du terminal. Un courant entre un ensemble de pointes "corona" et le terminal de haute tension est contrôlé par le signal de correction de la fente à la sortie de l'aimant.

Les pointes "corona" sont connectées à la plaque du tube de haute tension. La grille de chaque pointe est connectée à l'amplificateur du système de fente.

Ce type de contrôle "Corona" stabilise la tension du Van de Graaff jusqu'à ce qu'une grande fraction du faisceau d'ions accélérés sorte de l'aimant avec une homogénéité de 1/1000.

III - Principe des selsyns:

III - 1 Description des selsyns:

Le réglage de la charge (montée en tension jusqu'à 3Mev), l'injection du gaz dans la source d'ions, la focalisation et l'extraction du faisceau d'ions; tous ces contrôles se font à distance au moyen "d'arbres électriques" appelés "Selsyns".

Ils sont utilisés pour indiquer la position de valves, régulateurs, etc... Ils sont pratiquement les seuls à être utilisés pour la télécommande des paramètres du Van de Graaff à cause de la conception particulière d'un accélérateur de particules.

Les selsyns sont assimilés à des moteurs à induction 3 - phases mais ils ont 2 pôles inducteurs dont les enroulements sont connectés à une source d'excitation de courant alternatif monophasé.

2 Selsyns sont utilisés ensemble et forment un seul système: l'un travaillant au point d'émission comme un générateur et est appelé transmetteur, l'autre travaillant au point de réception comme un moteur et est appelé récepteur.

Les enroulements secondaires du transmetteur sont connectés à ceux du récepteur.

Quand le circuit d'excitation du primaire est fermé, une tension de courant alternatif est appliquée en même temps au primaire du transmetteur et du récepteur.

Aussitôt que le rotor du récepteur est libre de tourner, il adopte une position identique à celle du rotor du transmetteur.

Quand le transmetteur tourne (soit manuellement soit mécaniquement) le rotor du récepteur suit à la même vitesse et dans la même direction.

Cette propriété de synchronisation automatique est due au fait que le courant monophasé dans le primaire induit les tensions dans les 3 branches de chaque secondaire. Ces 3 tensions ne sont pas égales mais varient avec la position du rotor.

Quand il y a concordance entre les positions des 2 rotors, les tensions induites dans le secondaire du transmetteur sont égales et opposé à celle induites dans le secondaire du récepteur. Les 2 rotors sont alors équilibrés et aucun courant ne circule plus dans les enroulements secondaires.

Si le rotor du transmetteur est déplacé de sa position initiale, les tension induites ne sont plus égales et opposés, un courant circule alors dans les enroulements secondaires.

Ce courant établit un couple qui tend à faire tourner le rotor du récepteur pour le ramener en concordance avec la position du rotor du transmetteur.

Le rotor du récepteur suit donc en permanence et de façon synchrone les variations de position du rotor du transmetteur.

Ainsi, si le rotor du transmetteur, est déplacé, soit mécaniquement (par un appareil par exemple) soit manuellement par un opérateur (pour un contrôle) le récepteur adopte immédiatement une position identique.

III-2 RÔLE ET FONCTIONNEMENT DES SELSYNS:

Dans le fonctionnement du Van de graaff , les selsyns actionnés manuellement par l'opérateur à partir de la cabine de contrôle servent à commander des "variacs"(figI-5).

Ces varacs qui ne sont rien d'autre que des auto-transfor-
-mateurs variables auront une tension de secondaire variable du fait de la commande par selsyns de la tension de primaire.

Cette tension variable réglera donc la tension de la source d'alimentation dans le cas de la montée de charge.

La tension de sortie du variac, correspondant au selsyn de réglage de gaz, fera chauffer le fil entourant le tube de fuite de palladium dans le cas de l'hydrogène et du deutérium ou le tube de fuite à bille dans le cas de l'hélium.

Le variac correspondant au réglage de la focalisa-
tion commandera la tension de focalisation.

De même, le variac de l'extraction réglera la tension de l'électrode de la source d'ions.

Tous ces réglages se font au départ dans un certain ordre pour atteindre les valeurs approximatives deman-
dées:

... pour le réglage fin ensuite, on passera d'un moteur à l'autre jusqu'à ce que l'on obtienne les valeurs optimales désirées.

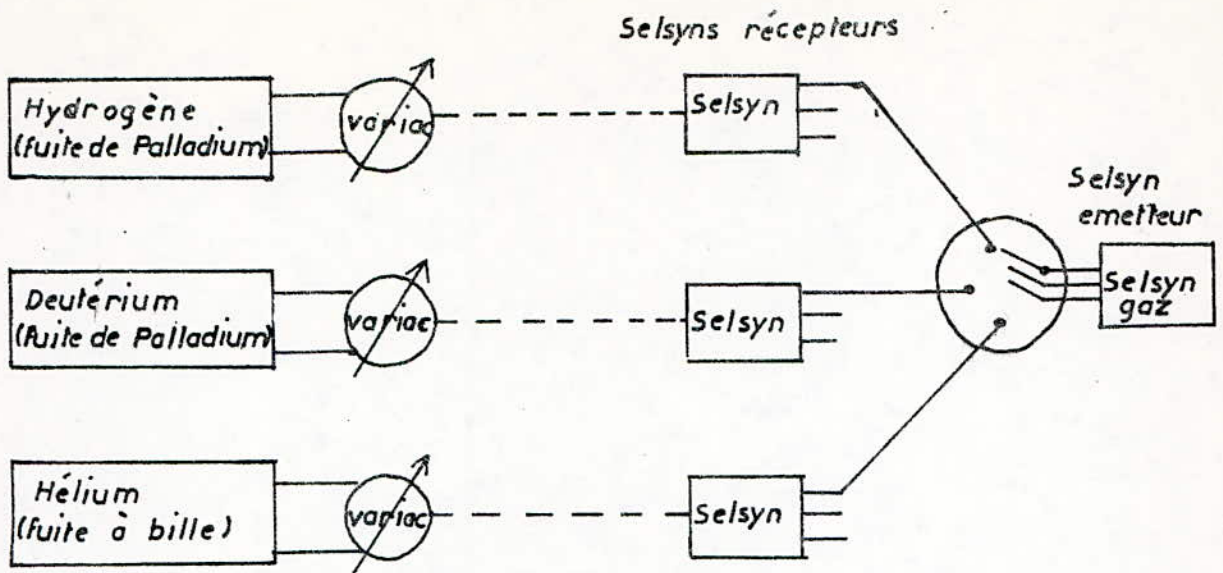


Fig I-4 Sélecteur de gaz : Le selsyn émetteur est branché à l'un des 3 selsyns récepteurs suivant le gaz désiré

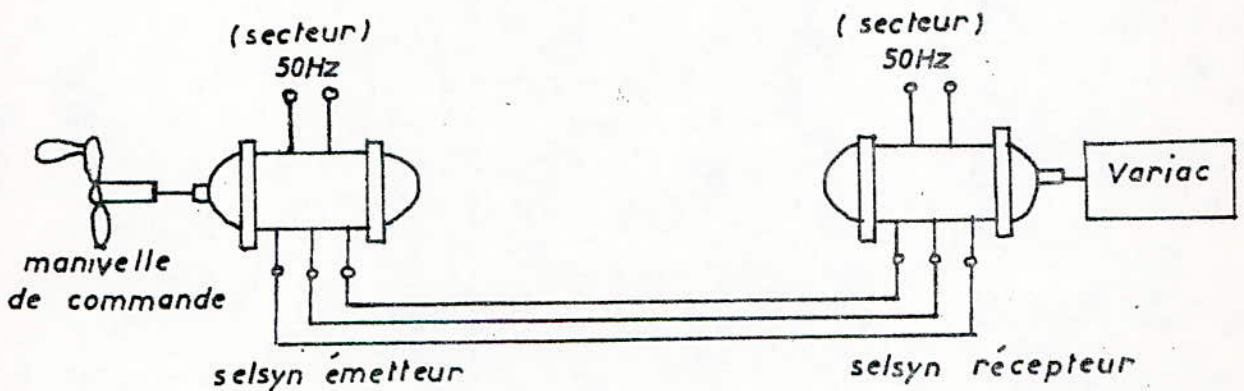


Fig I-5 Télécommande par selsyns :

Le rotor du premier selsyn est connecté au secteur. Les stators des deux selsyns sont reliés par 3 fils. Le rotor du deuxième selsyn, mécaniquement relié à l'axe dont il contrôle la rotation, fournit alors une tension proportionnelle à "l'angle d'erreur" c'est à dire à l'angle de décalage entre les 2 rotors. Cette tension est en phase avec la tension alimentant le rotor du premier selsyn (ou déphasé de 180° suivant que le décalage angulaire entre les rotors est dans un sens ou dans l'autre

Le constructeur du Van de Graaff nous fournit un mode opératoire pour la mise en marche et l'arrêt de l'accélérateur d'ions positifs.

Pour la réalisation de notre commande automatique des 4 selsyns nous serons donc appelés à suivre ce mode opératoire aussi bien pour la mise en marche que pour l'arrêt pour éviter toutes fausses manoeuvres.

Nous détaillerons, dans le chapitre suivant, l'intégrité de ce mode opératoire proposé par le constructeur.

IV - Fonctionnement des appareils de commande et de contrôle du Van de Graaff:

Les commandes du fonctionnement de l'accélérateur nucléaire Van de Graaff sont centralisées dans un meuble de commande.

Les panneaux de contrôle et la salle de commande sont aménagés à l'usage du conducteur.

Un panneau est équipé avec des appareils de mesure, des voyants lumineux, des interrupteurs et des boutons de réglage.

Deux compteurs horaires sont montés derrière le panneau de contrôle du vide.

Le premier enregistre le temps de fonctionnement du générateur de charge de la courroie, l'autre celui du tube accélérateur.

Un panneau de fusibles est monté à l'intérieur du meuble de commande. Différents circuits sont également montés dans le meuble de commande. Ces circuits sont hors de la vue du conducteur et devront être entretenus par le personnel de maintenance.

IV - 1 Condition pour le vide:

Le vide dans le tube accélérateur et ses accessoires est entretenu par un système de pompage comprend 2 pompes 1 pompe primaire mécanique et une pompe secondaire à diffusion. Ces 2 pompes sont en série.

La première pompe crée le vide dans la deuxième. Chaque pompe est équipée d'un piège à réfrigérant pour condenser les vapeurs.

Ces vapeurs limiteraient fortement la pression minimum dans le tube celle ci doit être maintenue au dessous de $3 \cdot 10^{-5}$ mmHg.

Le système pompage du vide est destiné à fonctionner sans interruption jusqu'à ce que le générateur soit démonté pour réparation ou vérification. En cas de panne, donc de remonter de pression, un système de sécurité arrête le fonctionnement du Van de Graaff.

IV - 2 Alimentation:

L'Alimentation électrique du générateur, à l'exclusion du système de pompe, de réfrigération, etc..., est commandé par 3 interrupteurs:

Un pour l'alimentation principale, un pour le moteur d'entraînement et un pour la charge de la courroie.

IV - 3 Générateur de tension:

Il est commandé comme suit:

Le variac de la courroie de charge commande les charges des pointes (dents du peigne, collecteur de charge).

La différence entre les charges entrant et sortant du dôme fixe la tension du générateur.

La tension peut être réglée dans une gamme limitée par le réglage de la distance entre les pointes corona et le dôme. Ceci est réalisé par un bouton poussoir d'augmentation ou de diminution de cette distance.

La tension du dôme est indiquée sur un voltmètre de 0 à 4 MV.

La charge totale appliquée à la courroie est indiquée sur un milliampèremètre (0 à 1,5mA).

Le courant de faisceau dépend des facteurs suivants:

- Tension d'électrode de la source.
- Puissance H F de source.
- Pression du gaz de la source.
- Champ magnétique autour de la source.
- Diamètre de l'électrode.

Le champ magnétique et le canal de l'électrode sont déterminés par construction. Tandis que la puissance H F et la pression du gaz peuvent varier selon la commande de l'opérateur qui agit ainsi sur le courant de faisceau.

Le courant faisceau maximum est atteint pour un réglage optimum de la tension de l'électrode et de la pression du gaz.

Pour une valeur particulière de la pression du gaz, il existe une valeur optimum de la tension de l'électrode au delà de laquelle, le courant faisceau décroît, alors que le courant de l'électrode augmente.

Si une tension électrode trop forte est appliquée à cette pression particulière du gaz, une surcharge peut arriver à détériorer l'alimentation de la source.

Ainsi pour chaque valeur de tension électrode, il y a une pression de gaz qui donne un courant faisceau maximum et toutes les autres pressions donnent un courant faisceau inférieur.

Pour régler la valeur du courant faisceau on agit sur un selsyn qui par l'intermédiaire d'une tige isolante, commande un variac à la base du dôme. Le variac règle la tension d'entrée d'un transformateur dont la tension de sortie est appliquée à la source d'ions.

Quand l'appareil recevant le faisceau d'ions est directement branché à l'extrémité du tube accélérateur, le courant faisceau est indiqué par un milliampèremètre.

Si l'aimant analyseur est utilisé, le courant faisceau analysé est mesuré par un microampèremètre.

V - Mise en fonctionnement du Van de Graaff:

V-1 Sécurités préliminaires:

- 1°) Pour un fonctionnement à 3 MeV, la pression du tank ne doit pas tomber au-dessous de $1,78 \times 10^{-5}$ mm²
- 2°) Le vide du tube accélérateur doit être à $3 \cdot 10^{-5}$ mm de Hg au moins.
- 3°) Les contacteurs (sur le panneau d'alimentation) de tous les circuits qui devront être mis en service pendant le fonctionnement doivent être fermés.

- 4°) Les interrupteurs d'alimentation principale et de vide dvront toujours être fermés.
- 5°) La salle du générateur et la salle d'irradiation doivent être évacuer avant le démarrage.

V - 2 Mise en marche:

- 1°) Introduire la clé dans l'interrupteur correspondant au meuble de contrôle et tourner complètement à droite. Ceci met en service le circuit d'alimentation.
- 2°) Mettre en marche le moteur d'entraînement(en appuyant sur un bouton "On" correspondant.
- 3°) Mettre en marche la courroie de charge (de la même manière).
- 4°) Tourner le selsyn de courroie de charge jusqu'à ce qu'une certaine tension positive soit indiquée par le volmètre indiquant la tension du dôme. S'assurer que la tension est positive par le contrôle du microampere-mètre indiquant le courant de la colonne. S'il indique un courant (déviaton vers la droite) la tension est positive.
- 5°) Tourner le commutateur "selecteur de gaz" pour admettre le gaz choisi.
- 6°) Tourner le selsyn de réglage de gaz jusqu'à ce que le gaz entre dans le tube accélérateur. Tourner la commande d'ouverture de la vanne de la reserve de gaz de 4 ou 5 tours (sens des aiguilles d'une montre) et ensuite tourner dans le sens inverse des aiguilles d'une montre, jusqu'à ce que la quantité du gaz nécessaire soit admise dans la source.

Une présence de gaz dans le tube accélérateur peut être indiquée par une remontée du vide sur le micro-ampèremètre du vide.

- 7°) Tourner le selsyn de réglage du gaz pour avoir la plus grande valeur du courant faisceau déterminé par des essais préalables.
- 8°) Tourner le selsyn de focalisation dans le sens des aiguilles d'une montre (de l'expérience acquise par des essais précédents).
- 9°) Tourner le selsyn de courroie de charge dans le sens des aiguilles d'une montre jusqu'à ce que la tension voulue du dôme soit atteinte.

Appuyer sur le bouton d'augmentation de contrôle CORONA (l'effluve Corona entre le dôme et la cloche devra indiquer de 50 à 100 A

- 10°) Tourner le selsyn du courant de faisceau dans le sens des aiguilles d'une montre très lentement.
En attendant que le courant faisceau soit augmenté, le selsyn de focalisation et le selsyn de réglage de gaz devront nécessiter un réajustement. Ces 3 facteurs devront être réglés simultanément.
- 11°) Tourner le selsyn de courant faisceau jusqu'à ce que la valeur désirée soit obtenue.
- 12°) Tourner le selsyn de courroie de charge (dans le sens inverse des aiguilles d'une montre) jusqu'à ce que le fonctionnement soit stabilisé.
- 13°) Attendre environ 10 mn pour régler le contrôle de stabilisation Corona jusqu'à ce que le microampere-mètre "balance" indique Zéro.

V - 2 Fermeture de l'appareil (pour un temps court):

- 1°) Remettre à zéro le selsyn de courroie de charge.
- 2°) Remettre à zéro le selsyn de courant faisceau.
- 3°) Arrêter le mouvement de la corroie de charge (en appuyant sur le bouton "OFF" correspondant).
- 4°) Arrêter le moteur d'entraînement (de même manière).

V - 3 Redemarrage après un temps court:

- 1°) Mettre en marche le moteur d'entraînement.
- 2°) Mettre en marche la courroie de charge.
- 3°) Régler la focalisation par le selsyn correspondant.
- 4°) Tourner le selsyn de courant faisceau (dans le même sens)

V - 4 Fermeture (pour un temps long):

- 1°) Fermer les accessoires (vannes, etc...).
- 2°) Remettre à zéro le selsyn de courroie de charge
- 3°) Remettre à zéro le selsyn de courant faisceau.
- 4°) Remettre à zéro le selsyn de réglage du gaz.
- 5°) Appuyer sur le bouton d'arrêt de la courroie de charge .
- 6°) Remettre à zéro le selsyn de la focalisation.
- 7°) Appuyer sur le bouton d'arrêt du moteur d'entraînement .
- 8°) Appuyer sur le bouton diminution de contrôle de charge corona.
- 9°) Remettre complètement à zéro tous les contrôles restants.
- 10°) Tourner la clé de contrôle de puissance sur "OFF"
- 11°) Ouvrir la porte de la cabine.
- 12°) Arrêter immédiatement le refroidisseur à eau des unités autres que le système de vide. Si le tank devient froid, une condensation peut survenir.

Comme on vient de le voir , la mise en marche ou l'arrêt de l'accélérateur nécessite un certain nombre d'opérations que l'on doit effectuer dans un ordre bien déterminé et que l'on doit répéter à chaque expérience.

Ces différentes opérations par leur caractère systématique et reproductif se prêtent bien en théorie à une automatisation.

L'automatisation complète du Van de Graaff nécessiterait de gros moyens financiers.

Mais dans un premier temps, la simple commande automatique des 4 principaux selsyns avec une électronique unique a été envisagée et fait l'objet de ce présent travail.

V. But de la commande automatique:

L'évolution des techniques de pointe, au cours de ces dernières années, a permis de remplacer très souvent des opérations manuelles difficiles ou répétitives, par des automates.

Les qualités telles que rapidité, précision, fiabilité, sécurité se trouvent nettement améliorées et renforcent la confiance d'utilisation d'une commande automatique.

Dans le cadre de la commande des quatre principaux paramètres du van de graaff (V.D.G), l'automatisme peut prendre la relève de la commande manuelle et minimiser par la même, les risques d'erreurs de manipulation tout en augmentant la qualité des réglages.

La commande actuelle du V.D.G consiste en l'entraînement manuel des selsyns agissant sur les paramètres à régler.

Une fois les réglages optimums obtenus, l'opérateur consigne sur "un journal de marche", les positions de chaque selsyn pour pouvoir reprendre les mêmes valeurs des paramètres, lors d'une expérience identique.

Du point de vue sécurité, une seule est prévue pour protéger le V.D.G contre les anomalies du courant ou les erreurs de manipulation cette sécurité est constituée par un système de relais qui se déclenche en cas d'anomalie.

L'automatisation de la commande des selsyns peut être envisagée de différentes manières la solution la plus simple, consiste en l'utilisation de moteurs classiques associés à des tachymètres. Cette solution n'a pas été retenue dans la mesure où la précision sur le point de fonctionnement ne dépasse pas un tour.

Nous avons préféré substituer aux moteurs classiques, des moteurs pas à pas. Ceux-ci étant des convertisseurs analogiques-numériques très précis, s'adaptent parfaitement au réglage précis de la position des selsyns.

La précision courante des moteurs pas à pas étant de l'ordre de quinze degrés (un vingt-quatrième de tour), elle est amplement suffisante, compte tenu des possibilités de l'accélération.

L'électronique associée à la commande des moteurs pas à pas, permet très facilement de mémoriser et de visualiser en permanence la position des selsyns correspondant à chaque paramètre; et cette possibilité facilite beaucoup le contrôle visuel du conducteur de l'accélérateur.

L'affichage des différentes valeurs des paramètres s'effectuant à partir d'un clavier à touches, donne au réglage une certaine commodité.

L'automatisme apporte, en outre, certaines sécurités supplémentaires:

- Vitesses de variation des paramètres parfaitement prédéterminées et contrôlées.
- Sécurité de positionnement: la position des selsyns ne peut dépasser les seuils contenus dans le préaffichage.
- ~~Prévention~~ Prévention d'oublis ou d'étourderies inhérentes à la manipulation manuelle.

La commande automatique des quatre selsyns du V.D.G par quatre moteurs pas à pas possédant une seule électronique commune représente une première approche d'une automatisation plus poussée.

Il est certain qu'avec des moyens plus puissants (utilisation de microprocesseurs gérant par programme toutes les opérations et toutes les valeurs à ne pas dépasser), on arriverait à gérer en toute sécurité et de façon automatique la bonne marche de l'accélérateur.

CHAPITRE II

LES MOTEURS PAS A PAS:

I - Introduction:

Un moteur pas à pas est un moteur synchrone dont la caractéristique fondamentale est d'effectuer, à chaque commutation du courant dans les différents enroulements du stator, un déplacement angulaire bien précis, appelé pas (voir figure I - 1)

L'application technique des moteurs pas à pas est très récente, leur exploitation industrielle date à peine des environs de 1966.

Ils possèdent aujourd'hui un grand essor lié au développement des techniques digitales.

Il existe plusieurs types de moteurs pas à pas qui diffèrent par le principe de fonctionnement, les performances et les avantages qu'ils apportent aux différentes applications.

Les moteurs pas à pas sont utilisés dans plusieurs domaines comme:

- L'horlogerie domestique ou technique.
- Les machines - outils -
- Les systèmes de commande et de régulation automatiques.

Les moteurs pas à pas sont des éléments de liaison idéaux entre l'électronique et la mécanique. Leur vocation de convertisseurs de signaux digitaux en mouvement analogique proportionnel les font apparaître comme la meilleure solution à tous les problèmes de contrôle.

II - Description des moteurs pas à pas:

II - 1 Caractéristiques:

On distingue les caractéristiques statiques qui se rapportent au moteur en marche.

II - 1 - 1 Caractéristiques statiques:

a) Le pas: c'est l'angle de rotation du moteur lorsque, au moins, l'un des enroulements du stator est excité.

Cette caractéristique de construction dépend de la séquence d'alimentation et de la forme du rotor.

b) Le couple de décrochage(ou couple statique):
C'est le couple qu'on peut appliquer au moteur arrêté, mais alimenté sans provoquer de rotation. Les pôles du stator sont aimantés sous l'effet du courant continu et la force d'attraction qu'ils exercent sur le rotor tend à empêcher celui-ci de tourner.

c) Le couple d'immobilisation: C'est le couple qu'on peut appliquer au moteur arrêté et non alimenté sans provoquer de rotation. Ce couple est dû à l'aimant permanent, donc dans le cas d'un moteur à réluctance variable, ce couple est théoriquement nul.

d) Ecart ou angle de puissance: C'est l'angle de retard du rotor par rapport à l'axe du champ magnétique, provoqué par une charge extérieure.

II - 1 - 2 Caractéristiques dynamiques:

a) la fréquence maximale de marche à vide:

C'est le nombre d'impulsions par seconde permettant une alimentation correcte de marche à vide. Lorsqu'une impulsion se présente, du fait de l'inertie du rotor, le moteur se met en marche progressivement et ne s'arrête qu'après avoir oscillé autour de sa position d'équilibre. Ceci se reproduit à chaque impulsion. Si la fréquence des pas devient voisine de celle des oscillations, chaque nouvelle impulsion sera alors gênée par les oscillations. Ceci perturbe la marche du moteur qui peut soit changer de sens de rotation, soit s'arrêter ou même fonctionner à une vitesse différente qui est due à la composition des impulsions et des oscillations parasites.

b) la fréquence maximale de démarrage à vide: (ou réponse maximale). C'est la fréquence maximale des pas à laquelle un moteur non chargé peut démarrer sans perte de pas.

c) la fréquence maximale d'entraînement:

C'est la fréquence maximale des pas à laquelle un moteur non chargé peut être entraîné sans perte de pas.

d) Couple maximal dynamique:

C'est le couple maximal qui peut être recueilli sur l'arbre lorsque les enroulements sont excités les uns après les autres.

e) Couple au démarrage:

C'est le couple maximal disponible sur l'axe d'un moteur lors d'un démarrage à une fréquence donnée, sans perte de pas.

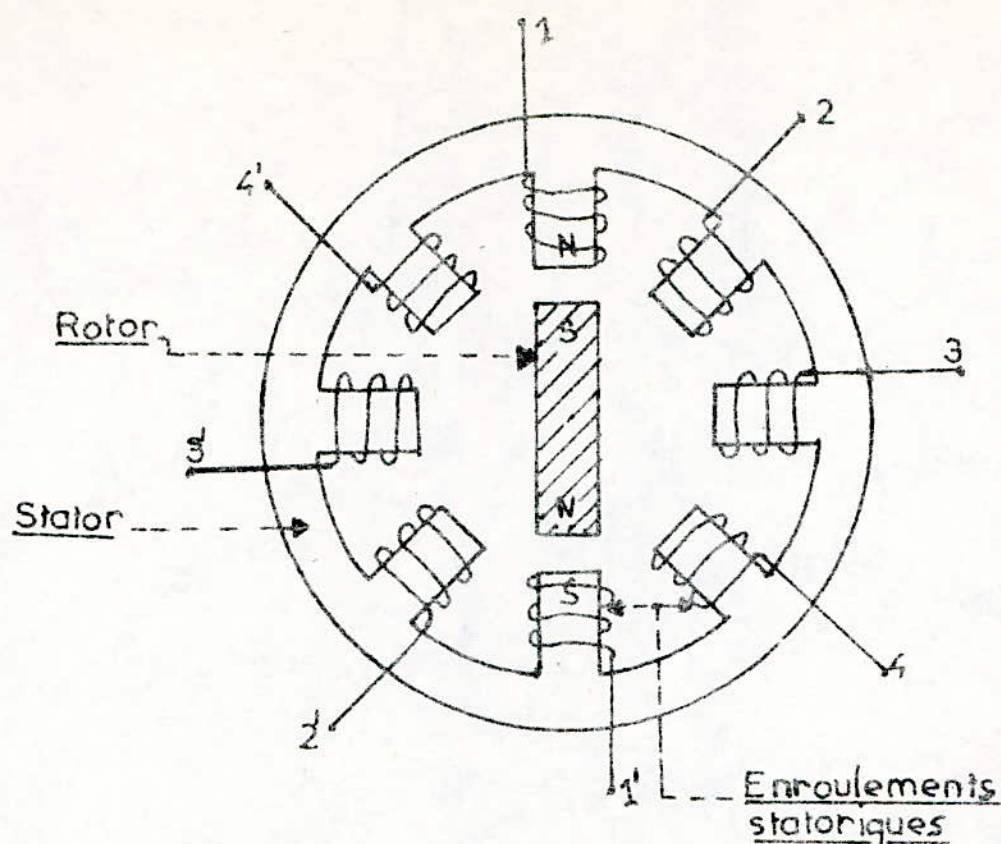


Figure II-1 : MOTEUR PAS A PAS { 4 phases
rotor bipolaire

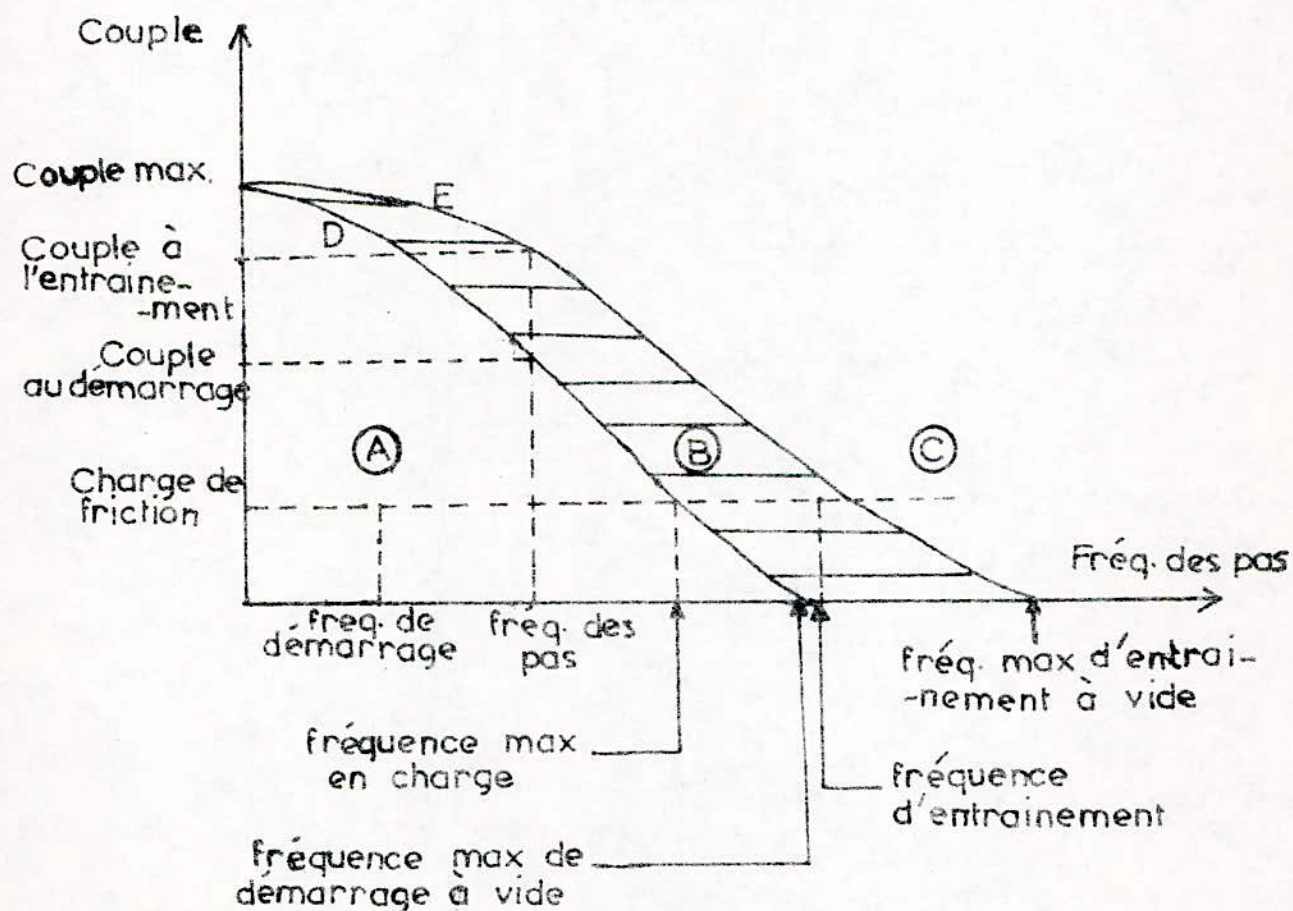


Figure II-2 : Courbes de couple en fonction de la fréquence des pas

f) Couple à l'entraînement:

C'est le couple maximal disponible sur l'axe d'un moteur entraîné à une fréquence donnée, sans perte de pas.

g) Angle d'avance d'un pas (pas angulaire):

C'est l'angle entre deux positions stables, les plus voisines.

$$M = \frac{2 II}{2 n p}$$

2 n = nombre de phase du stator.

P = nombre de paires de pôles du rotor.

h) Zône de survitesse:

C'est la zône d'utilisation à haute vitesse où le moteur pas à pas reste en synchronisme avec la commande, soit dans le sens direct, soit dans le sens inverse, mais unidirectionnellement.

Le moteur ne peut ni s'arrêter, se débrancher, ni changer de sens de rotation pour une fréquence d'impulsions comprise dans cette zône. Pour atteindre la zône de survitesse, la fréquence d'impulsion doit être accélérée progressivement, mais dans un temps extrêmement court depuis un point situé en dessous de la fréquence maximale de démarrage à vide. En cas de perte de synchronisme dans cette zône (par exemple sous l'effet d'un freinage excessif); le moteur s'arrêtera et ne se remettra en rotation que lorsque la fréquence d'impulsion sera réduite au dessous de la fréquence maximale de démarrage à vide.

Ces caractéristiques dynamiques dépendent de la conception du moteur et des caractéristiques électriques des bobinages et stator.

A partir des caractéristiques définies précédemment, nous pouvons tracer les courbes de fonctionnement du moteur pas à pas. Ces courbes représentent la variation du couple en fonction de la fréquence, elles délimitent les zones de fonctionnement du moteur. (fig II - 2).

La courbe (D) représente le couple maximal au démarrage.

La courbe (E) représente le couple maximal d'entraînement à vide. Il est nul à la fréquence maximale d'entraînement à vide.

Ces deux courbes nous limitent les trois zones de fonctionnement:

Zône (A) = (Zône de démarrage)

Le moteur peut démarrer, s'arrêter ou changer de sens en étant alimenté à une fréquence inférieure à la fréquence maximale de démarrage à vide.

Zône (C):

Le moteur ne peut pas fonctionner correctement sans perte de pas.

Zône (B):

Etant démarré à une fréquence inférieure à la fréquence maximale de démarrage à vide; il fonctionnera dans cette zone avec une fréquence comprise entre la fréquence maximale de démarrage à vide et la fréquence maximale d'entraînement à vide.

Remarque:

Même si la charge du moteur est faible, sous l'influence d'un couple résistant, il se produira à l'arrêt un décalage angulaire entre les dents du stator et celles du rotor; c'est ce décalage qui produit le couple statique qui vient équilibrer le couple résistant dû à la charge.

Lorsque le moteur entraîne une charge, la courbe de démarrage (D) (fig II - 2) est d'autant plus décalée vers l'axe des ordonnées que l'inertie de la charge est grande.

II - 2 Types de moteurs pas à pas et leurs principes de fonctionnement:

Il existe deux types de base de moteurs pas à pas:

Les moteurs à aimant permanent: Ils fonctionnent par la réaction entre un champ électromagnétique et un aimant permanent.

Les moteurs à réluctance variable: Ils fonctionnent par la réaction entre un champ électromagnétique et un rotor en fer doux. Il existe aussi des moteurs hybrides. Ce type de moteurs utilise une combinaison de l'effet d'un aimant permanent et d'une réluctance variable.

II - 2 - 1 Description et fonctionnement:

a) Le moteur à aimant permanent:

Le nombre de paires de pôles étant variables nous expliquerons ici le fonctionnement d'un moteur ayant deux paires de pôles (fig II - 3).

Le moteur est constitué d'un stator à quatre pôles saillants qui portent les enroulements diamétraux de commande. Le rotor est aimanté d'une façon uniforme.

Supposons que le sens des forces magnétomotrices et des flux engendrés aussi bien dans le stator que dans le rotor soit le même.

A chaque impulsion de commande appliquée à l'entrée du commutateur correspond une variation par échelons de la valeur ou de la polarité des tensions appliquées aux enroulements de commande se déplace suivant la circonférence du stator d'un angle fixe. Il apparaît alors un couple synchronisant qui tend à faire tourner le rotor de façon que celui-ci crée, avec les enroulements excités, le flux magnétique total maximum. Le rotor progresse d'un pas; c'est à dire qu'il tourne d'un angle fixe dont la valeur est égale au pas du vecteur du champ engendré dans le stator.

b) Le moteur à réluctance variable:

Le stator comme pour le moteur à aimant permanent est constitué de paires de pôles qui supportent les enroulements inducteurs. Le rotor est un arbre en acier spécial, à forte perméabilité et à faibles pertes par hystérésis et par courant de foucault. Il peut comporter le même nombre de paires de pôles que le stator (voir fig II - 4). La réluctance de ce moteur varie suivant la circonférence de l'entrefer. Le champ magnétique tournant n'est créé que sous l'effet de la force magnétomotrice du stator. Le couple électromagnétique apparaît à la suite de la variation de l'énergie dissipée par le champ magnétique dans l'entrefer en cas de non alignement axes du champ et du rotor.

Pour obtenir une position stable, le rotor doit se positionner dans la direction de réluctance magnétique minimale.

II - 2 - 2 Calcul du couple:

a) Cas du moteur hybride:

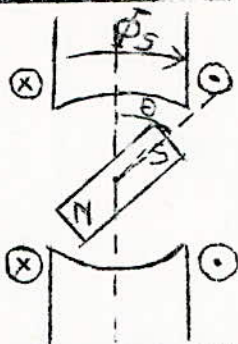


Fig II -5: Moteur hybride: Le rotor est constitué d'un aimant permanent à grande perméabilité.

L'énergie électrique fournie au moteur se retrouve soit:

- Sous forme e mécanique fournie par l'arbre à la charge soit sous la forme d'un couple produisant une rotation θ
- Sous forme magnétique présente dans le moteur: dW_m ,
- Sous forme calorifique (effet joule dans le stator)

$$(1) V_s I_s dt = C_e d\theta + R_s I_s dt.$$

L'indice (·) indique un paramètre se rapportant au stator.

W_m est fonction du courant I_s dans le stator et de la position angulaire θ du rotor.

Pour simplifier l'expression du couple de ce bilan d'énergie, nous devons utiliser l'expression de la tension V_s aux bornes de l'enroulement du stator:

$$(2) V_s = R_s I_s + d \frac{\phi_s}{dt}$$

où ϕ_s est le flux magnétique total lié à l'enroulement du stator.

En première approximation, ce flux peut être considéré comme le produit du flux total à travers un pôle du stator par le nombre total de spires.

ϕ_s est aussi fonction de I_s et de θ .

En remplaçant l'expression (2) dans l'expression

(1) on obtient:

$$(3) C_e = \frac{I_s \frac{d\phi_s}{d\theta}}{d\theta} - \frac{dW_m}{d\theta}$$

Les 2 termes de droite se rapportent au champ magnétique. Pour pouvoir conclure sur les diverses sortes de moteurs, régis par l'équation (3); nous devons séparer le flux ϕ_s lié à l'enroulement du stator ainsi que l'énergie magnétique W_s de la contribution du courant statorique, caractérisé par l'inductance L_s et la contribution du rotor.

Nous aurons alors:

$$(4) \phi_s = L_s I_s + \phi_{sv}(\theta)$$

$$(5) W_m = \frac{1}{2} L_s(\theta) I_s^2 + W_{mr}(\theta)$$

$$\text{avec: } \frac{1}{2} L_s(\theta) I_s^2 = W_s$$

En substituant les expressions (4) et (5) dans l'expression (3) on obtient:

$$C_e = \frac{I_s \frac{d\phi_{sr}}{d\theta}(\theta)}{d\theta} - \frac{dW_{mr}}{d\theta} - \frac{1}{2} I_s^2 \frac{dL_s(\theta)}{d\theta}$$

Le premier terme de ce couple correspond à un moteur à rotor cylindrique.

Le second terme se rapporte à la réluctance du rotor. Le troisième terme se rapporte à la réluctance du stator.

b) Cas du moteur à réluctance variable:

Dans le cas où le rotor n'est pas un aimant permanent, les quantités ϕ_{sr} et W_{mr} s'annulent et il reste seulement:

$$(7) C_e = \frac{1}{2} I_s^2 \frac{dL_s(\theta)}{d\theta}$$

En première approximation, si on s'intéresse à un rotor bipolaire, l'expression de l'inductance statorique en fonction de la position θ du rotor peut se mettre sous la forme de deux termes l'un constant L_1 , et l'autre dépendant de la position relative du rotor.

$$(8) L_s = L_1 + L_2 \cos 2\theta \quad L_s = L_1 + L_2 \cos 2\theta \quad (\text{avec généralement } L_1 > L_2) \text{ par conséquent.}$$

$$(9) C_e = \frac{1}{2} I_s^2 \frac{dL_s}{d\theta} = I_s^2 L_2 \sin 2\theta.$$

Le couple est nul pour quatre positions du rotor; les deux positions perpendiculaires au champ du stator ($\theta = \pi/2$ et $\theta = \frac{3\pi}{2}$) sont instables alors que les deux positions parallèles au champ ($\theta = 0$ et $\theta = \pi$) sont stables.

Quand l'enroulement du stator est alimenté, le rotor prend l'une des deux positions stables.

Dans le cas général où l'on a p paires de pôles le couple devient:

$$(10) \quad C_e = I_s^2 L_2 \sin 2p\theta$$

Pour $p = 2$ on obtient 8 positions stables:

$$C_e = I_s^2 L_2 \sin 4\theta$$

$$C_e = 0 \text{ pour: } 4\theta = K\pi \text{ d'où: } \theta = K \frac{\pi}{4}$$

$$\text{pour } K = 0 ; \theta = 0 \qquad \text{pour } K = 4 ; \theta = \pi$$

$$\text{pour } K = 1 ; \theta = \frac{\pi}{4} \qquad \text{pour } K = 5 ; \theta = \frac{5\pi}{4}$$

$$\text{pour } K = 2 ; \theta = \pi/2 \qquad \text{pour } K = 6 ; \theta = \frac{3\pi}{2}$$

$$\text{pour } K = 3 ; \theta = \frac{3\pi}{4} \qquad \text{pour } K = 7 ; \theta = \frac{7\pi}{4}$$

c) Cas du moteur à aimant permanent:

Dans ce cas, le calcul du couple peut se faire plus simplement.

Quand le courant circule dans l'une des bobines du stator, le champ magnétique du rotor exerce sur les bobines des forces de Laplace. L'ensemble de ces forces crée un couple sur chaque bobine.

Le couple de réaction créé sur le rotor est égal en amplitude, à la somme des couples créés sur les bobines mais de sens inverse. C'est la composante radiale du champ magnétique (qui traverse l'entrefer); qui constitue le couple. Soit I_s le courant circulant dans la bobine (1) (figure II-3); sur une longueur l de fil de cette bobine. La force de Laplace qui est exercée:

$$(11) F = I_s \cdot N_s \cdot l \cdot B$$

N_s = nombre de spires de la bobine.

B = induction dans l'entrefer.

θ_s = angle que fait le plan de la bobine considérée avec l'axe du stator.

θ_R = angle entre le plan de symétrie du rotor (N-S) et le point considéré.

L'amplitude du champ magnétique autour du rotor est:

$$(12) B = B_{\max} \cos \theta_R$$

L'amplitude du champ magnétique autour du stator est:

$$(13) B = B_{\max} \cos(\theta_s - \theta)$$

à $\theta_s = \frac{\pi}{2}$ on a: $F = I_s N_s l \cdot B_{\max} \sin \theta$

à $\theta_s = \frac{3\pi}{2}$ on a: $F = -I_s \cdot N_s l B_{\max} \sin \theta$

Le couple résultant de ces 2 forces sera:

$$(14) C = 2aF.$$

$2a$ = longueur de la bobine.

Le couple de réaction exercé sur le rotor est de signe inverse.

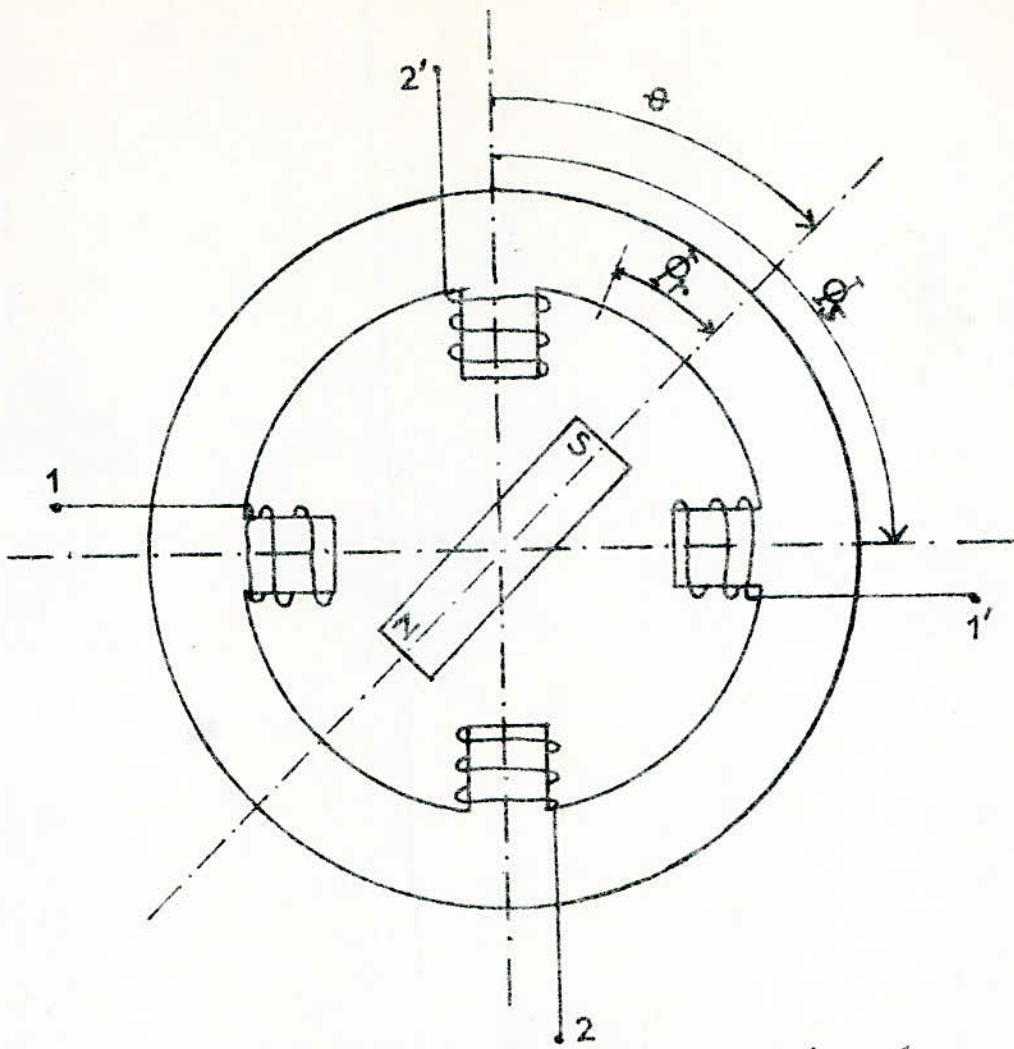


Figure II-3: Moteur à aimant permanent biphasé

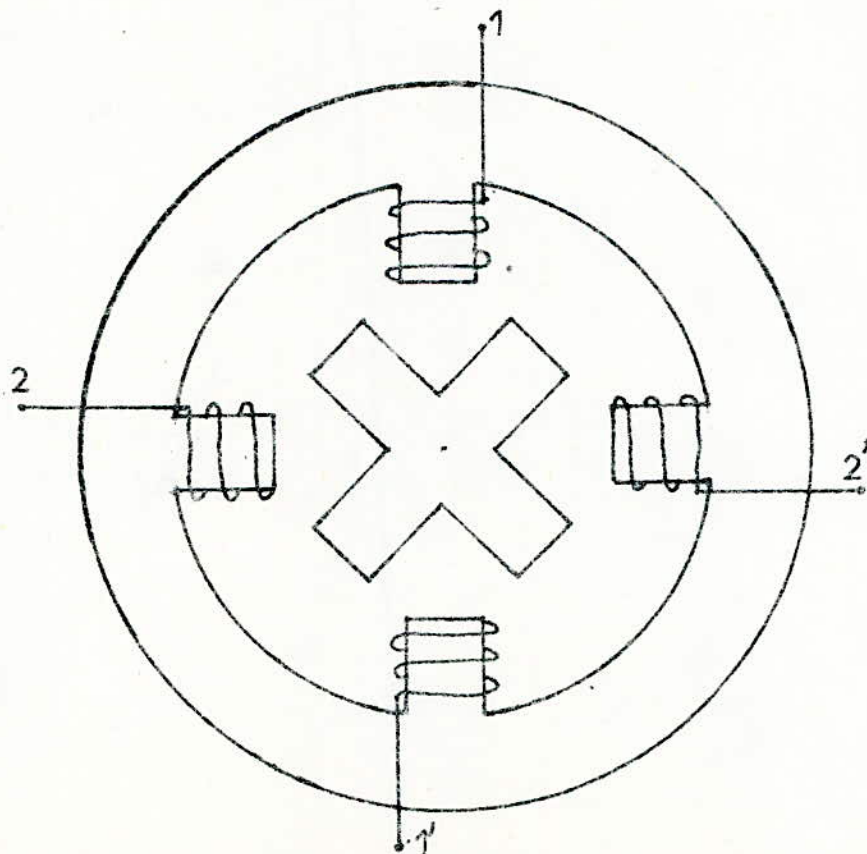


Figure II-4: Moteur à réluctance variable

(15) $C_{1,1R} = -2 a l I_s N_s B_{max} \sin \theta$ (couple de réaction dû à l'enroulement 1,1').

Le couple de réaction dû à l'enroulement (2,2') sera:

(16) $C_{2,2'R} = -2 a l I_s N_s B_{max} \cos \theta$ (car $\phi_s = 0$ d'où $\phi_s - \theta = \theta$).

De l'expression (15) on déduit que le couple est nul pour deux positions diamétralement opposées: $\theta = 0^\circ$ et $\theta = 180^\circ$ pour $\theta = 0$; l'équilibre est stable. Pour $\theta = 180^\circ$; l'équilibre est instable.

Pour la bobine (2,2'); nous avons aussi deux positions d'équilibre: $\theta = 90^\circ$ et $\theta = 270^\circ$ -

D'une façon générale nous pouvons dire que lorsque les bobines sont excitées successivement l'une après l'autre, quelque soit le nombre de pôles du stator, le couple sera:

(17) $C_R = -2 a l I_s N_s B_{max} \cos (\phi_s - \theta)$

Nous avons considéré le cas d'un moteur bipolaire, c'est à dire que le rotor comporte qu'une paire de pôles; mais il existe des moteurs pas à pas à aimant permanent dont le rotor comporte plusieurs paires de pôles.

Dans ce cas l'expression du couple de réaction devient:

(18) $C_R = -2 a l I_s N_s B_{max} \cos (\phi_s - p \theta)$

P = nombre de paires de pôles du rotor.

II - 2 - 3 Comparaison des moteurs à aimant permanent et à réluctance variable:

Les moteurs à aimant permanent ont, à taille égale:

- a) des couples plus élevés.
- b) des fréquences de travail plus faibles.
- c) des couples de maintien non négligeables (de l'ordre de 10% du couple statique), ce qui leur confère une certaine immobilité; même en cas de chocs et de vibrations, sans qu'il soit nécessaire de les alimenter.
- d) en général une plus grande énergtie propre, aux forces parasites extérieures. Leur temps de réponse en régime d'accélération est donc plus grand.
- e) un amortissement interne des oscillations plus important.
- l) des pas plus grands, qui peuvent être éventuellement réduits par un réducteur. Dans ce cas le réducteur réduit encore l'inertie ramenée sur le rotor, ce qui augmente l'avantage mentionné en (d).

On obtient en général des vitesses de rotation plus grandes avec les moteurs à réluctance variable. Leur pas plus petit peut, dans certains cas, être un avantage en donnant une bonne résolution de mouvement sans qu'il soit nécessaire d'adjoindre un réducteur au moteur.

III Performances des moteurs pas à pas:

III - 1 - Performances limites du moteur pas à pas:

Le diagramme de la figure II - 6 permet de caractériser les performances limites du couple d'un moteur, pour une enertie donnée:

.../...

pas à pas:

Il comporte en ordonnée le couple résistant et en abscisse le fréquence d'alimentation.

A très basse fréquence, ou lors d'un arrêt, le mouvement du moteur pas à pas est caractérisé par un phénomène d'oscillations amorties. Pour une fréquence d'alimentation d'un ordre de grandeur comparable à la fréquence d'oscillation, il peut se produire une instabilité dynamique. Celle ci est illustrée par la zone (2) de la fig. II - 6.

Dans la zone (1) et (3), le moteur peut démarrer et s'arrêter sur un pas, sans perte de synchronisme.

La frontière entre les zones (4) et (3) représente la fréquence limite de démarrage (ou d'arrêt) du système.

Le moteur peut atteindre la zone (4) à condition de démarrer dans la zone (3) et d'accélérer avec une rampe de fréquence adaptée.

Compte tenu de l'application envisagée, certaines de ces limites ou des particularités de fonctionnement doivent être améliorées.

Les problèmes types posés sont:

La suppression des oscillations à basse fréquence lors d'un arrêt, de façon à écarter le temps de transfert d'une position à l'autre.

- La suppression de la zone instable (2)
- l'augmentation de la fréquence limite de démarrage.
- l'augmentation du gradient de fréquence lors du passage de la zone (3) à la zone (4) (démarrage)

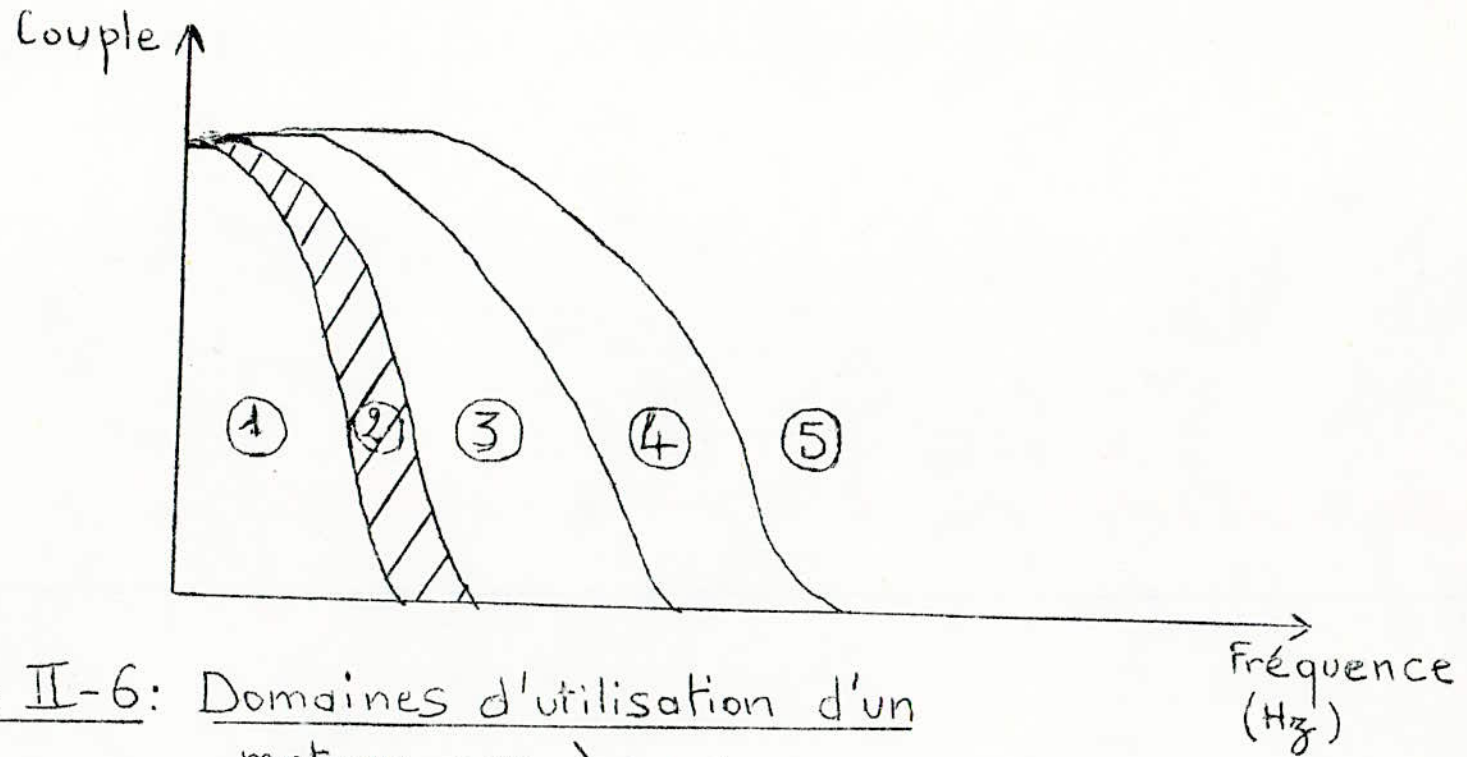


Figure II-6: Domaines d'utilisation d'un
moteur pas à pas.

- l'augmentation (en valeur absolue) du gradient de fréquence lors du passage de la zone 4 à la zone (5) (freinage).

- la suppression des instabilités dynamiques:

ceci correspond à un phénomène d'oscillation de la vitesse instantané du moteur autour de la vitesse synchrone. La fréquence d'oscillation est nettement plus faible que celle d'alimentation (10 à 300 fois plus faible).

III - 2 Améliorations des performances par la conception du moteur:

Les principales techniques relatives au moteur sont:

- La disposition relative des composants. L'aimant permanent joue un rôle déterminant.

- La géométrie des zones à réluctance variable

- L'intervention de zones saturables permettant d'accroître les variations de réluctance, donc couple.

- Le renforcement des mutuelles, permettant d'assurer le transfert de l'énergie magnétique d'une phase à l'autre.

Le recours à des amortisseurs électromagnétiques (spires en court - circuit) ou mécaniques (systèmes d'inertie à frottement visqueux).

Ces techniques ne peuvent être appliquées, pour la plupart, qu'à la conception du moteur. Elles peuvent difficilement être introduites en fonction d'une application. Il est cependant remarquable et regrettable que certaines de ces techniques, peu coûteuses, sont loin d'être introduites systématiquement.

IV - Application des moteurs pas à pas:

Les applications des moteurs pas à pas deviennent chaque jour plus nombreuses.

On distingue deux domaines principaux d'application: le positionnement et la régulation.

Dans le positionnement on trouve:

- l'indication à distance
- le positionnement à distance
- le comptage d'impulsions
- la commande des machines -outils
- l'avance des bandes perforées
- l'entraînement de cameras ou projecteurs etc...

Dans la régulation on trouve:

- la synchronisation des machines
- les compteurs, décompteurs
- les commutateurs à programmes
- les traceurs de courbes etc...

✱ Associé par l'intermédiaire ou non d'un réducteur à compteur mécanique, le moteur pas à pas assure le comptage à partir d'impulsions électriques.

✱ Incorporé dans un système de déroulement de bande perforée, il permet de faire avancer la bande trou par trou à chaque impulsion. Cette même disposition, appliquée à l'avance du film dans les machines de reproduction, remplace de plus en plus les dispositifs mécaniques d'entraînement.

✱ La conversion du mouvement de rotation en mouvement de rotation ou mouvement linéaire permet; par exemple à deux moteurs pas à pas de mettre en position en coordonnées cartésiennes la table d'une perceuse.

Le moteur pas à pas peut être utilisé comme un moteur plus classique comme le montre l'exemple suivant: Si l'on désire asservir la vitesse d'un moteur continu à celle d'un autre moteur, les deux machines peuvent être munies d'un capteur fournissant des impulsions. Un circuit de détection fournit une fréquence d'impulsions égale à la différence entre les fréquences d'impulsions fournies par les capteurs. Les impulsions ainsi obtenues commandent le moteur pas à pas qui agit sur le rhéostat de champ du moteur à contrôler.

Le moteur pas à pas peut être associé à un amplificateur hydraulique. Il commande le distributeur du moteur hydraulique en ouvrant l'alimentation en huile. Le mouvement de ce dernier remet le distributeur en position initiale en coupant l'alimentation en fluide. Un nouveau pas permet un nouveau fonctionnement de l'appareil.

Si les mouvements de rotation de deux appareils doivent rester en parfait synchronisme, leur entraînement par des moteurs pas à pas fournit une solution particulièrement simple. Les moteurs étant alimentés simultanément à partir de la même source auront, à tout instant, le même angle de rotation, même si la fréquence d'impulsions varie. La réalisation du même dispositif avec des moteurs classiques exigerait le montage sur chaque moteur d'un organe de détection d'écart. On s'aperçoit ainsi de l'intérêt de la première solution du point de vue simplification et économie.

L'utilisation du moteur pas à pas peut représenter une solution à la fois très simple et très fiable pour la résolution de nombreux problèmes. Aussi est-il indispensable à l'ingénieur électromécanicien de ne pas négliger cette possibilité dans toutes les études de problèmes de contrôle, de positionnement où elle peut lui apporter des avantages certains.

V - Avantages des moteurs pas à pas:

Le principe de fonctionnement des moteurs pas à pas fait apparaître un certain nombre d'avantages sur les systèmes classiques. Leur choix s'imposera dans de nombreuses applications.

Leur temps de réponse est très court (jusqu'à moins de une milliseconde).

Ils peuvent travailler dans des conditions d'environnement très dures, en effet ils sont pratiquement insensibles aux variations de température, aux vibrations linéaires et aux chocs.

Leur durée de vie est longue (jusqu'à un milliard de cycles).

Ils sont insensibles aux variations de voltage et de l'amplitude des impulsions.

La position occupée par le rotor est définie avec une grande précision et ne présente pas les oscillations qui existent parfois dans les servomécanismes à courant alternatif.

Dans les services intermittents, la consommation est nulle dans les périodes de repos, ce qui n'est pas le cas des moteurs alternatifs à phase de contrôle dont la phase fixe est toujours sous tension.

Le fait qu'à un nombre déterminé d'impulsions corresponde une position déterminée de l'axe permet, dans beaucoup de cas, le fonctionnement en boucle ouverte ce qui permet de supprimer ainsi les systèmes à contre réaction toujours.

Les moteurs pas à pas ont une caractéristique supplémentaire, en dehors de leur état synchrone ou réversible, qui est leur possibilité de rotation dans la zone de survitesse. Dans ce cas le synchronisme est unidirectionnel. Cette propriété est utilisée pour étendre la zone d'opération du moteur pas à pas dans le cas où de hautes vitesses de rotation sont désirées plutôt qu'un synchronisme réversible.

La possibilité de réaliser des asservissements en boucle ouverte représente un gain financier considérable surtout dans le cas des asservissements à grande distance, par exemple dans un satellite.

Nous pouvons dire que, dans de nombreux cas, le moteur pas à pas et ses circuits associés seront plus légers, moins encombrants et moins coûteux que les systèmes classiques.

VI - Choix des moteurs pas à pas:

De nombreux types de moteurs pas à pas sont fabriqués par différentes firmes. Suivant la fonction que l'on veut obtenir, en aura à choisir le moteur qui convient le mieux à la demande de l'utilisateur.

Le choix des moteurs pas à pas se fait en général par rapport à leur fonction. On peut considérer trois groupes essentiels:

- a) les servomoteurs.
- b) les moteurs de moyenne puissance.
- c) Les moteurs de grande puissance.

Dans le premier groupe, on trouve les moteurs de petites dimensions réalisés dans les tailles normalisées 05 - 08 - 10 - 11 - 15, ayant des diamètres compris entre 12,7 et 36,5 mm. Ils sont presque toujours utilisés dans les servomécanismes et souvent pour des applications aéronautique. Leurs pas est en général de 15 degrés ou 90 degrés.

Le deuxième groupe comprend généralement les moteurs de taille 20 (50,8mm de diamètre); 23 (56,3mm de diamètre) et 34 (86 mm de diamètre). On y trouve les moteurs à grands pas (90° ; 45° ; 30° ; 15° ; $7,5^{\circ}$) et à petits pas (5° ; $2,5^{\circ}$; 2° ; $1,8^{\circ}$; $0,9^{\circ}$; $0,72^{\circ}$). Ces moteurs ont des fonctions extrêmement variées, on les trouve en très grand nombre dans les périphériques d'ordinateurs (imprimantes, lecteurs et perforateurs bandes ...). Ils sont fréquemment utilisés en positionnement.

Le troisième groupe qui comprend essentiellement des machines à très petits pas ($2,5^{\circ}$ et dessous), est utilisé en positionnement de grosses machines - outils, valves; gouvernails vis de pressions de laminoirs etc...

Dans notre réalisation, les moteurs pas à pas doivent entraîner des selsyns. Il sera donc nécessaire de prendre en considération les modes de fonctionnement des selsyns. afin de pouvoir faire le meilleur choix des moteurs.

Le choix des quatre moteurs sera fait en tenant compte des conditions suivantes.

- Par mesure de sécurité, l'axe de chaque moteur sortira des deux côtés, pour pouvoir d'un côté, fixer cet axe à l'arbre du selsyn correspondant et de l'autre côté, fixer la manivelle qui pourra être utilisée manuellement en cas de panne de la commande automatique.

- Etant donné, que les fonctions des quatre selsyns sont les mêmes, les quatre moteurs choisis seront identiques.

-- Le couple nécessaire qu'on doit appliquer sur chaque selsyn étant de l'ordre de 200g.cm, il sera préférable de choisir un type de moteur ayant un couple maximal dynamique supérieur à 200g.cm.

-- La vitesse maximale des selsyns étant de l'ordre de 60 tours/mn, nous avons donc intérêt à choisir des moteurs à vitesse maximale réversible beaucoup plus grande que celle-ci, de façon à obtenir toujours un fonctionnement réversible.

L'expérience a montré que la précision des selsyns était de l'ordre de 1/8 de tour; le pas de chaque moteur sera maximum de 45 degrés. Par mesure de sécurité, il sera préférable de choisir des moteurs dont le pas est inférieur à 45 degrés.

Le choix d'un moteur pas à pas dépendra de la demande de l'utilisateur, aussi sera-t-il amené à consulter les différents tableaux de caractéristiques donnés par de nombreuses firmes comme S.F.M.I. (Société Française des Moteurs à Induction); R.T.C. (Radiotechnique -- complec); PORTESCAP etc...

Ces tableaux présentent les caractéristiques des différents types de moteurs pas à pas de différentes tailles (voir quelques tableaux en Annexe).

I/Introduction:

Comme nous avons vu dans les chapitres précédents la commande et la bonne marche du Van de Graaff dépendent du réglage d'un certain nombre de paramètres effectués suivant certaines séquences et ce avec une précision déterminée.

Nous rappelons ici très brièvement ces différents points.

I.1/Paramètres à commander:

Dans l'étude précédente sur la nécessité d'une automatisation de la commande du Van de Graaff, nous avons vu qu'il était question de commander cinq paramètres:

- La montée en tension
- Le débit de gaz
- La focalisation du faisceau
- L'extraction d'ions
- Le contrôle de la courbure du faisceau

La commande de ce cinquième paramètre étant très particulière, son automatisation, à elle seule pourra faire l'objet d'un projet et dépasse donc largement les limites de notre étude.

I.1.1/ Montée en tension: Il s'agit de générer une décharge continue à partir d'une alimentation de tension continue qui se trouve dans le réservoir de charge positive. Cette tension continue est réglée de l'extérieur.

I.1.2/Débit de gaz: Les débits d'hydrogène et de Deutérium sont contrôlés par un système de chauffage qui rend le palladium plus ou moins poreux. Celui de l'Helium est contrôlé par un système de fuite à bille.

I.1.3 /Focalisation: La focalisation du faisceau de particules est obtenu grâce à la géométrie électrostatique des électrodes du tube accélérateur. Cette géométrie est ajustée par la différence de potentiel entre les deux électrodes extrêmes.

I.1.4/Extraction: Elle consiste en l'application d'une tension positive sur l'électrode d'injection de la source provoquant l'extraction des ions positifs du plasma au tube d'accélération. Les différentes commandes s'effectuent à distance par l'intermédiaire de selsyn agissant sur des variacs (auto-transformateurs) destinés à faire varier la tension de réglage des quatre paramètres précités.

I.2/ Sequence de réglage des paramètres:

La séquence de réglage des différents paramètres se fait en respectant un certain ordre donné par le constructeur de l'accélérateur . Pour la réalisation de notre commande on se réfère à cet ordre(chapitre I.).

On remarque que les réglages successifs sont interdépendants et en général se font au moins en deux étapes différentes. Ce qui nous reviendrons sur ce point au chapitre IV.

I.3/ Précision sur les réglages:

Une fois le Van de Graaff en fonctionnement normal une variation de 1/8 de tour sur l'un quelconque des quatre selsyns qui commandent à distance les paramètres de l'accélérateur ne provoque pas de variation visible des caractéristiques du faisceau.

Dans le cadre de l'automatisation de la commande des selsyns par moteur pas à pas, nous avons retenu le choix de moteurs faisant 24 pas par tour. De ce fait, une variation de trois pas sur la rotation des moteurs n'entraînera pas de modification notable sur les paramètres à régler.

Par ailleurs, l'obtention du point de fonctionnement du Van de Graaff, le réglage correct autour de ce point et l'arrêt de l'accélérateur sont des opérations que l'on a intérêt à effectuer à des vitesses différentes.

L'expérience nous a permis d'évaluer ces vitesses et ce, pour chacun des paramètres à commander. Elles sont données au tableau suivant:

tours/ mn	SS de montée en charge	SSde débit de gaz	SSde focali sation	SS d'extraction
Obtention du point de fonctionnement	20	20	40	40
Reglage autour d'un pt de fonctionnem -ent.		10	20	20
Remise à zéro	60	60	60	60

I.4/ Solution apportée par les moteurs pas à pas:

Parmi les nombreux avantages des moteurs pas à pas nous rappelons:

- Un moteur pas à pas est un convertisseur numérique analogique de précision permettant des déplacements prévisibles ce qui le rend très approprié pour la commande des selsyns.
- La précision de positionnement peut être très grande, elle dépend du nombre de pas par tour.
- La vitesse de rotation est proportionnelle à la fréquence d'excitation des phases ce qui leur permet de fonctionner à différentes vitesses.
- Ils présentent des couples de maintien autour des positions d'équilibre assez importants, ce qui les rend très intéressants pour notre application.
- Pour les utiliser dans notre cas, il suffit de coupler mécaniquement le rotor de chaque moteur avec celui du selsyn à entraîner, qui à son tour est couplé électriquement à un autre selsyn entraînant les variacs.

Pour répondre aux conditions de fonctionnement du Van de Graaff et de l'étude précédente des caractéristiques des moteurs, nous avons été amené à choisir le moteur 20.021 de S.F.M.I.

Ils ont un arbre rotorique prolongé des deux côtés, ce qui permet le couplage mécanique cité précédemment et une possibilité de commande manuelle.

La logique d'excitation recommandée par S.F.M.I. Pour ces moteurs est fournie sous la référence CM₃; ci dessous le tableau de caractéristiques du moteur.

Nombre de phases	Tension d'excitation	Intensité maximale	Résistance par phase	Pas angulaire	F _{max} réversible	Couple statique
3	28 V	1,4	20	15°	350Hz	3000g.cm

La logique proposée par S.F.M.I. est prévue, pour commander un seul moteur à la fois. A quatre moteurs, il faudrait associer quatre logiques distinctes, ce qui serait peu économique, encombrant et mal adapté à nos besoins, car ces logiques sont standard (commerciale) et ne présentent pas la maniabilité que notre application exige.

Nous préférons concevoir une logique appropriée qui est l'objet de notre étude.

Nous venons de voir que la solution apportée par les moteurs pas à pas était très avantageuse dans la mesure où elle répondait à tous les critères de performances exigées. Cependant, il faut noter que les moteurs pas à pas sont des appareils très délicats du point de vue de leur commande. C'est pourquoi la nécessité d'une étude détaillée s'impose.

II/ Etude générale de la commande des moteurs pas à pas:

II.1/Généralités:

Les moteurs pas à pas remplissent simultanément deux fonctions:
- Une conversion d'information électrique numérique en un positionnement angulaire ou linéaire.

Cette seconde fonction rend le moteur pas à pas beaucoup plus dépendant de son alimentation et de sa commande que le sont les machines électriques classiques.

Par son caractère synchrone, le moteur pas à pas peut fonctionner en boucle ouverte. La figure III.1 décrit un exemple d'une chaîne couramment utilisée pour alimenter un moteur pas à pas.

Pour accroître la fiabilité et les performances du système, on a recouru fréquemment à un asservissement de la commande pour la position du moteur(fig III.2).

Cette technique est relativement coûteuse et délicate à mettre en oeuvre. De nombreuses solutions intermédiaires adaptées à la fonction du moteur permettant d'atteindre des performances élevées à moindre frais. Parmi celles-ci on peut citer:

- La conception d'alimentation appropriée.
- La conception de la commande agissant sur les phases du moteur.

Par la conception de ces dernières, on peut améliorer les performances du moteur.

II.2/Recherche d'une technique d'asservissement améliorée:

II.2.1/Technique d'asservissement par l'alimentation:

L'alimentation a pour but d'assurer une amplification de la commande de façon à assurer la circulation du courant dans les différentes phases.

L'étage de puissance joue un rôle fondamental car sa fonction ne se limite pas à fournir un signal de puissance convenable en fonction des ordres de la logique. Il doit faire en sorte que le courant s'établisse puis s'annule dans les enroulements.

Dans les revues spécialisées, l'étage de puissance est communément appelé "Driver".

Ces Drivers sont des circuits de puissance qui fournissent aux phases du moteur le courant nécessaire pour qu'il tourne.. Nous avons montré que le courant est le paramètre électrique qui détermine le couple(chapitreII). Pour un moteur donné, deux causes en limitent la valeur maximale: La saturation des masses magnétiques et l'échauffement.

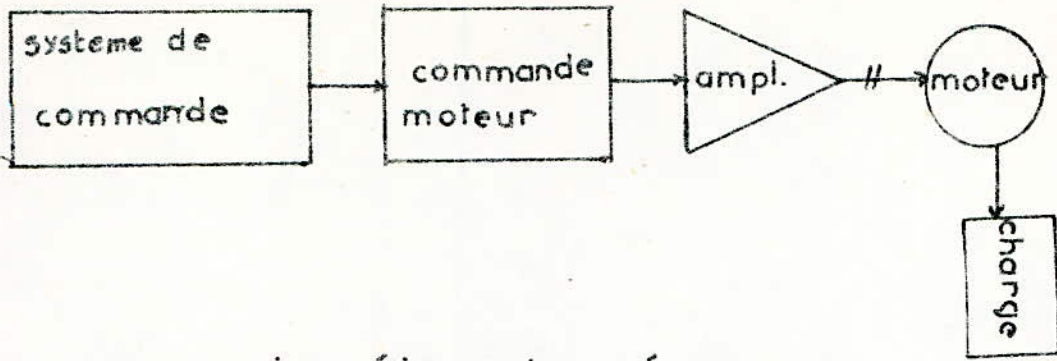


figure III.1: chaîne d'alimentation d'un moteur
boucle ouverte

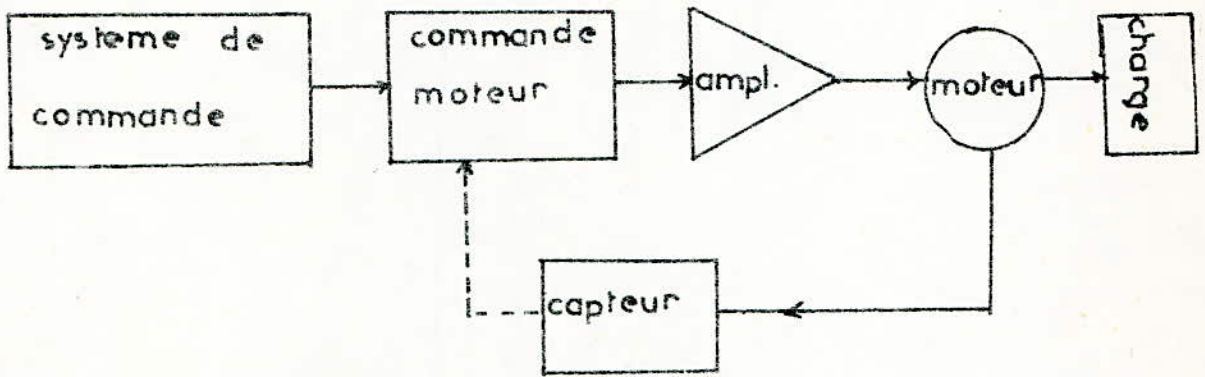


figure III.2: alimentation d'un moteur en boucle fermée

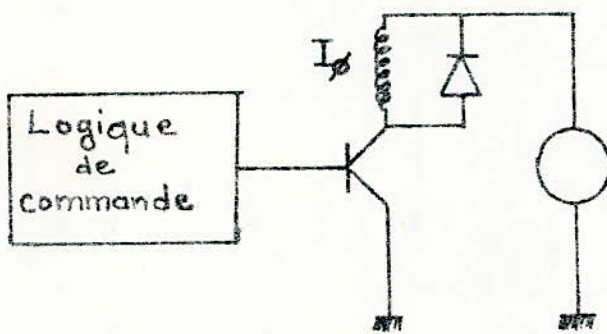


figure III.3: driver, source

R_i = resistance interne de la self

$$I_{\phi} = \frac{V}{R_i} (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$$

$$\tau = \frac{L}{R_i}$$

Si les caractéristiques du moteur sont bien calculées , ces deux causes apparaissent en même temps.

Plus le rotor tourne vite, plus les variations du flux dans le moteur sont importantes et entraînent l'apparition f.e.m d'induction élevées. Celles-ci s'opposeraient ou s'ajouteraient à la tension d'alimentation des phases. On préfère alimenter donc les bobines du stator en courant. La figure III.3 montre le principe de Driver-source de courant alimentant une phase.

L'alimentation de classique se compose d'une source de tension continue d'un transistor assurant l'enclenchement et la coupure de la source (régime saturé et bloqué) et d'un circuit d'extinction comprenant une diode, intervenant lors de la coupure du courant.

A partir de cette solution de base, des améliorations peuvent être apportées.

II.2.1.1/ Influence des diodes de protection:

Les transistors électriques dans les moteurs à aimant permanent sont plus courtes que les transitoires mécaniques. Cependant, il faut rappeler que la protection usuelle utilisée (diode inverse sur les enroulements) augmente nettement les constantes de temps électriques .

Pour remédier à cette augmentation de la constante de temps, il suffit d'inverser le sens de la diode et de mettre son anode à la masse conformément à la figure III.4.

Une autre solution consiste à garder le montage classique et à introduire en série avec la diode une résistance R_2 ; le tout en série avec une résistance R (fig III.5).

Ceci permet aussi d'accroître la fréquence limite absolue de rotation du moteur.

Cependant la valeur de R_2 est limitée par la tension.

$$V_{\max} = U + R_2 I_m$$

que peut supporter le transistor en commutation , une variante de cette solution consiste à remplacer R_2 par une diode zener (fig III.6).

Remarque: Une surtension durant le démarrage permet d'accroître le courant dans la bobine et par conséquent le couple ($C=KI$).

II.2.1.2/ Influence d'une alimentation à deux niveaux:(fig III.7).

On applique dans une première étape une tension nettement plus élevée que celle conduisant au courant nominal . Dès que cette dernière valeur est atteinte, on commute ce système sur une source de tension assurant le maintien de ce courant.

La constante de temps est ainsi réduite dans un rapport:

$$t'' = t \frac{u_0}{u}$$

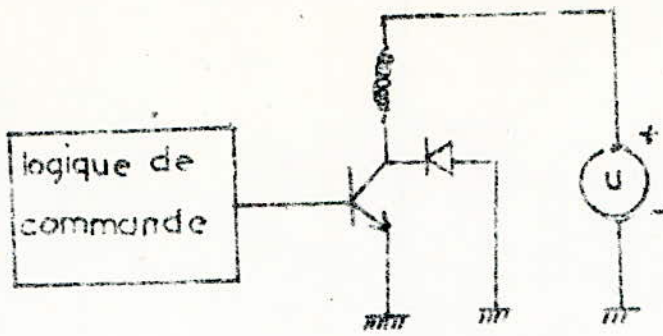


fig.III.4: alimentation avec diode de protection

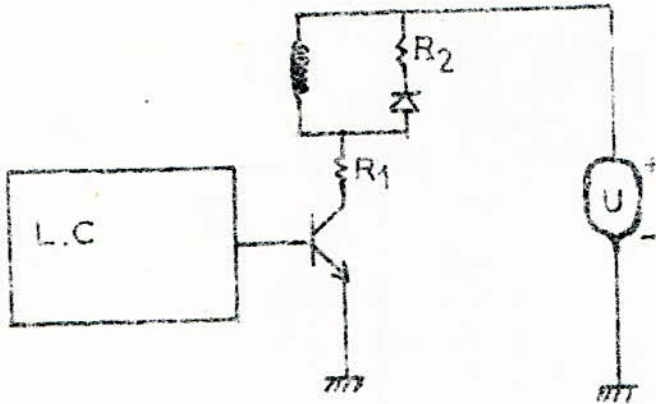


fig.III.5: $\tau' = \frac{L}{R_1 + R_2 + R_3}$

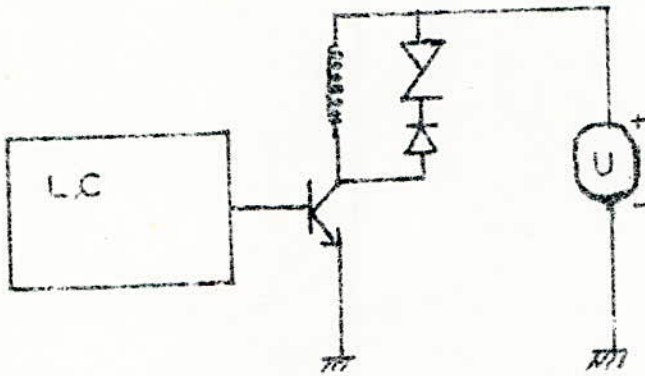


fig.III.6:

Il en résulte un accroissement de la fréquence limite absolue. Nous étudions cette amélioration en détail dans l'étude du montage retenu.

II.2.1.3/Influence d'une alimentation hachée.

Cette technique permet de diminuer la constante de temps et d'approcher la forme du courant dans les phases.

II.2.1.4/Influence d'une source proportionnelle à la fréquence:

Enfin une dernière technique consiste à utiliser une source de tension proportionnelle à la fréquence. Elle garantit un couple pratiquement constant quelle que soit la fréquence. On améliore aussi la fréquence maximale et la stabilité dynamique.

III/Amélioration par la conception de la commande:

La commande assure la commutation des phases selon une séquence spécifique et un rythme adapté à la charge et au régime de fonctionnement. On peut distinguer quatre régimes de fonctionnement:

- Le démarrage.
- Le régime permanent (à fréquence contrôlée ou non).
- La décélération.
- L'arrêt.

L'arrêt se distingue de la décélération par suite des phénomènes oscillatoires qui lui sont associés. Dans sa forme la plus simple, la commande comprend:

- Un générateur de rampes pour l'accélération et la décélération.
- Un système de comptage-décomptage pour la détermination du nombre de pas.
- Un aiguillage pour l'enclenchement des différentes phases.

A partir de cette solution minimale, de nombreuses améliorations peuvent être apportées:

- L'asservissement de la commande par la position utilisant des capteurs de position (solution pour hautes performances mais trop coûteuse).
- La superposition de phases, c'est à dire l'enclenchement simultané de deux phases (ou plus selon le nombre total de phase); permettant un accroissement de couple, donc de la fréquence limite de démarrage. Selon l'importance du matériel, il peut y avoir diminution ou augmentation de la fréquence limite absolue.
- La génération de rampes d'accélération et de décélération adaptables à la charge.
- La suppression des oscillations à l'arrêt par commutation de phases (technique Bang-Bang). Cette technique consiste à imposer un freinage avant réenclenchement de la phase précédente:

La commande "Bang-Bang" est réalisée par une alimentation à trois intervalles:

1^o. intervalle: Le moteur est mis en accélération maximum par alimentation de la phase dès l'arrivée de l'impulsion cet intervalle dure un temps t_1 .

2° intervalle: Pour arriver à la nouvelle position d'équilibre à vitesse nulle, il faut freiner; dans notre montage, nous coupons l'alimentation de la phase. Cet intervalle dure t_2 .

3° intervalle: Quand le moteur arrive à sa position d'équilibre avec vitesse nulle, on alimente à nouveau la phase pour maintenir cet état.

Les détails de cette commande seront étudiés dans la partie: réalisation du translateur.

IV/Conclusion sur le problème de la commande et son influence:

Pour obtenir une performance souhaitée d'un mouvement utilisant un moteur pas à pas, le choix d'un appareillage de commande correct est capital.

Les performances d'un moteur pas à pas sont profondément affectées par le système de commande avec lequel on l'utilise un excellent moteur pas à pas peut donner de très mauvaises caractéristiques on ne pas donner satisfaction dans tous les cas, lorsqu'il est utilisé avec un système de commande qui n'est pas approprié.

Les appareillages de commande des moteurs pas à pas peuvent être divisés en deux parties principales:

- 1°) L'appareillage constitué par des circuits destinés à fournir les impulsions correctes en tension et en courant aux bobinages du stator.
- 2°) L'appareillage constitué par un système logique électronique destiné à contrôler la rotation et la position précise du moteur.

IV/Schéma retenu:

Ayant choisis les moteurs S.F.M.I. nous avons jugé bon de parler de leur commande associée.

La S.F.M.I a ^{Fabrique} des commandes qui s'adaptent au maximum d'applications industrielles; mais ces montages ne peuvent commander qu'un seul moteur à la fois et ceci dans un but purement commercial.

Le schéma bloc de la commande le plus performant est représenté sur la figure III.7.

Pour le moment nous donnons dans ce schéma, les blocs essentiels.

Le schéma synoptique est constitué d'un indexeur, un translateur et un driver.

Les indexeurs sont des appareils qui sont prévus pour être associés à la commande des moteurs pas à pas. Ils contiennent tous les circuits de comptage-décomptage, de préselection, d'affichage, d'initialisation etc permettant de générer les déplacements souhaités.

Le translateur constitue l'étage de commutation des impulsion sur les différentes phases du moteur.

Le Driver est un étage de puissance qu'on a précédemment appelé alimentation de phase.

Ce bloc ne permet que la commande d'un seul moteur. Ceci ne résout pas notre problème particulier relatif à la commande des quatre paramètres du Van de Graaff suivant quatre séquences différentes.

On pourrait, bien entendu, utiliser quatre blocs identiques. Mais cette solution coûteuse et encombrante serait peu adaptée à notre application.

La recherche d'une solution adéquate nous a amené à concevoir le schéma d'une commande représentée sur la figure III.8.

L'indexeur permet, en plus des fonctions qui lui ont été attribuées précédemment, de sélectionner le moteur à commander.

Le translateur et le Driver restent inchangés et enfin le commutateur permet de sélectionner le moteur qu'il faut mettre en marche.

Il est évident qu'un gain important en composants et en maniabilité est obtenu par cette solution.

Conclusion:

Pour commander avantageusement le Van de Graaff, il nous faut utiliser des moteurs pas à pas avec une électronique appropriée et une logique de sélection bien adaptée.

Les paragraphes précédents nous ont permis d'étudier en détail ce problème et les solutions retenues. Les performances obtenues sont de loin supérieures à celles exigées, nous les avons choisies ainsi pour rendre notre réalisation plus intéressante dans la mesure où elle peut éventuellement s'adapter à d'autres applications.

Nous pouvons remarquer que, vu le soin apporté à la réalisation de l'alimentation des phases et la commande proprement dite, les performances seront seulement limitées par la conception de la logique associée qui dépend uniquement du problème à résoudre.

Dans notre cas, les performances sont maintenues, car la commande du Van de Graaff ne nous a pas posé de problème particulier. Dans d'autres applications où il serait question de grande vitesse, il faudrait porter une attention plus particulière à la mise en phase des signaux dans le bloc de la logique.

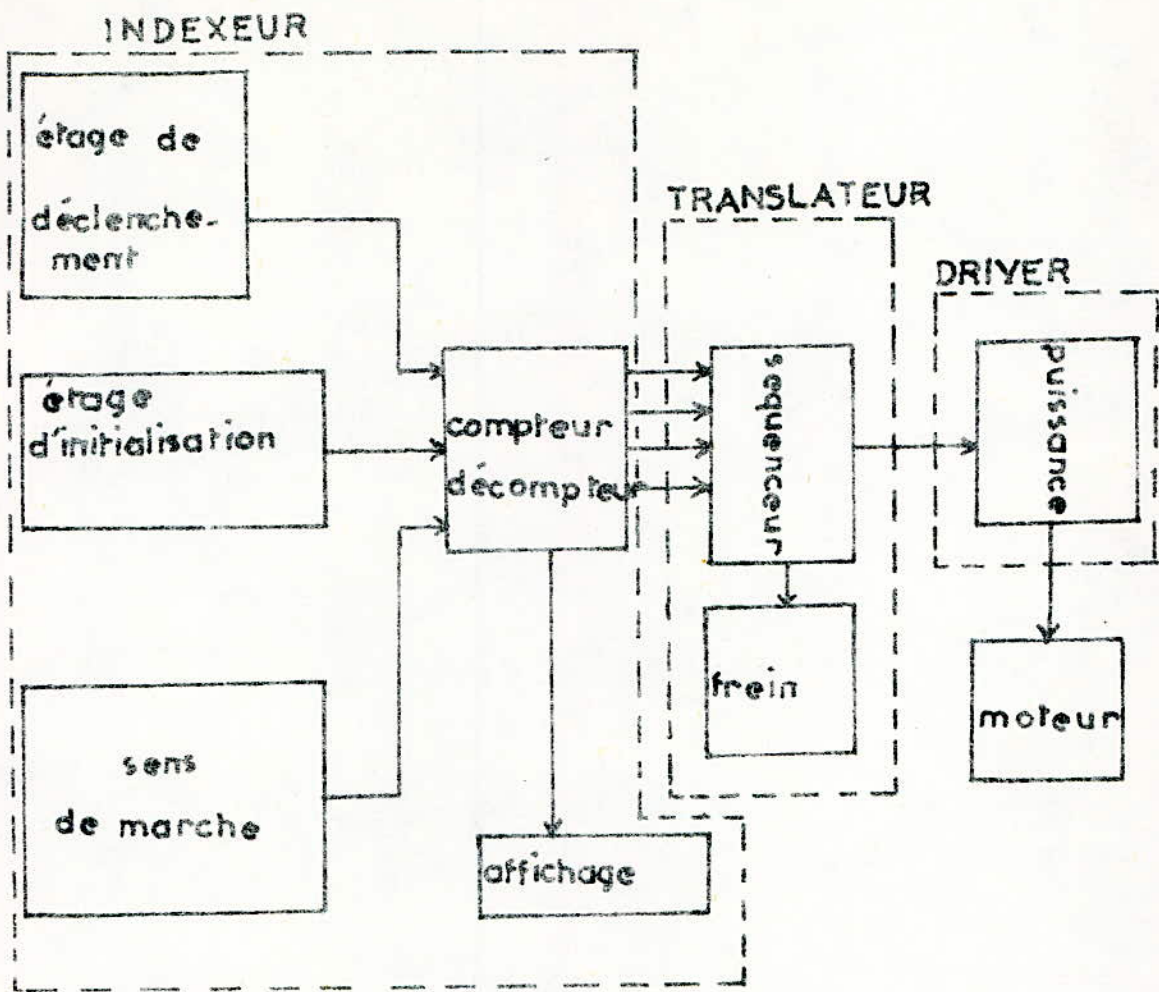


FIG. III.7: SCHEMA SYNOPTIQUE D'UNE COMMANDE COMMERCIALE

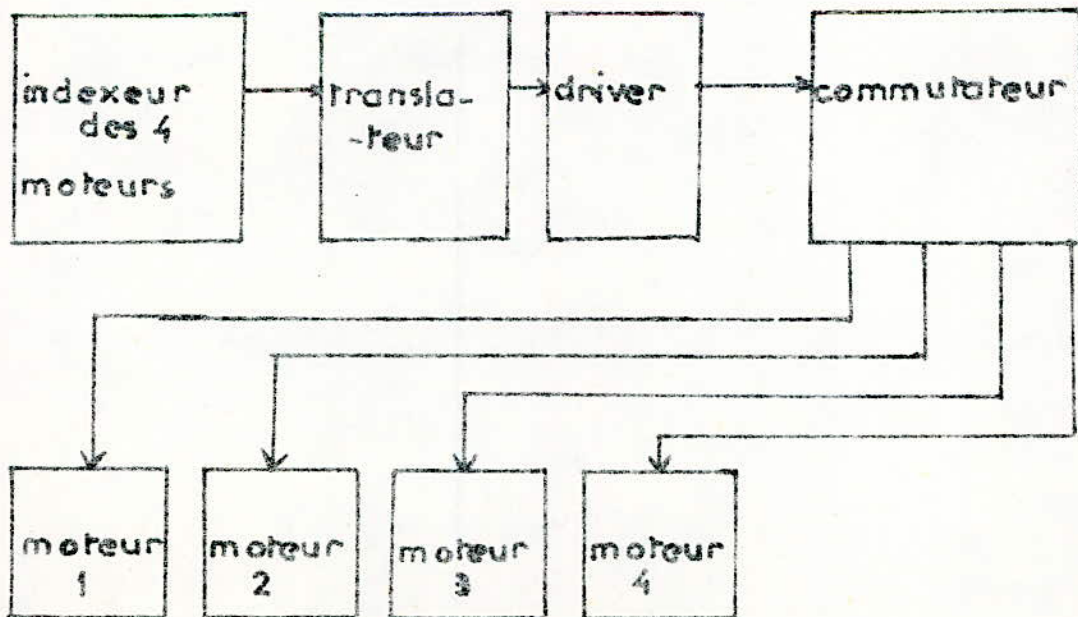


FIG. III.8: SCHEMA DE COMMANDE DES 4 MOTEURS

Etude détaillée de la solution retenue

I Etude du driver

Plus les performances exigées du moteur en stabilité et en couple en fonction de la vitesse sont grandes plus les drivers sont complexes. Il est donc nécessaire d'apporter beaucoup de soin à leur étude. Pour notre cas l'accent est surtout mis sur la stabilité et la rapidité de la réponse. De ce fait notre système sera adaptable à d'autres applications ^{que} celle du Van de Graaff.

Parmi les alimentations améliorées citées précédemment nous avons choisi l'alimentation à deux niveaux dans un premier temps.

Cette alimentation a l'avantage d'éviter qu'une énergie importante ne soit consommée dans les résistances en série avec les phases

1.1. Principe de l'alimentation à deux niveaux

Ce dispositif de commande comporte un système d'alimentation à 2 tensions, pour chaque phase stator du moteur : une faible tension assurant, en régime établi, le passage du courant maximal I_n supportable par l'enroulement de cette phase et une tension K fois plus forte appliquée au début de chaque pas et permettant ainsi une montée rapide de courant. (fig: IV.1)

1.1.1 L'interrupteur électronique S_1 est toujours fermé: le courant est nul dans l'enroulement considéré.

1.1.2 S_2 étant toujours fermé, S_1 est fermé: le courant obéit à l'équation différentielle régissant le circuit.

$$L \frac{di}{dt} + R_i + A \frac{d\lambda}{dt} \cdot \sin(\pi \theta + \lambda) = KE \quad (C7 \text{ annexe 2})$$

Pour résoudre cette équation à l'origine du temps, puisqu'on s'intéresse au régime transitoire. On peut faire une approximation justifiée à l'instant $t = 0$ la vitesse étant faible, $\frac{d\lambda}{dt}$ est négligeable ce qui simplifie l'équation ^{qui} peut raisonnablement se mettre sous la forme:

$$L \frac{di}{dt} + R_i = KE$$

Dont la solution bien connue est :

$$i = C_1 \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) + C_2 \quad \tau = \frac{L}{R}$$

$t=0$ implique $i_0 = i_0$ (pour continuité du flux dans le)
(circuit magnétique commuté)

$$\left. \begin{aligned} t=0 \implies i_0 &= i_0 = \frac{HE}{R} \\ t \rightarrow \infty \implies i &= \frac{E}{R} = HI_M \end{aligned} \right\} \begin{aligned} (C_1 + C_2 &= -\frac{HE}{R} = KI_M \\ (C_2 &= KI_M \\ (C_1 &= -2 KI_M \end{aligned}$$

$$i(t) = -2KI_M \exp(-t) + KI_M = KI_M(1 - 2 \exp(-t))$$

Remarque:

En fait le courant ne dépasse pas la valeur I_M car dès qu'il l'atteint le commutateur S_2 s'ouvre et le courant est maintenu constant par une tension E faible.

Constante de temps:

$$i(t) = I_M \left(1 - \frac{1}{K}\right) = KI_M \left(1 - 2 \exp(-t)\right)$$

$$\frac{1 - \frac{1}{K}}{I_M} = K \left(1 - 2 \exp(-t)\right)$$

$$2 \exp(-t) = 1 - \frac{e-1}{Ke} = \frac{Ke - e + 1}{Ke}$$

$$\exp\left(\ln\left(\frac{Ke - e + 1}{2Ke}\right)\right)$$

$$-t = \ln\left(\frac{Ke - e + 1}{2Ke}\right) \quad \text{---} \quad = \ln\left(\frac{2Ke}{Ke - e + 1}\right)$$

Pour K tend vers ∞ , il est évident que i tend vers un échelon de courant (voir figure 2). Mais donner à K des valeurs élevées impose des composants électroniques capables de supporter des tensions importantes du fait des surtensions qui apparaissent dans ces circuits - V_H permet l'établissement rapide du courant dans la phase.

Lorsque le courant nominale est atteint on alimente alors la phase avec la seule tension bonne:

$$V_B = R \text{ phase} \cdot I_{\text{nominale}}$$

Le rendement global du moteur son alimentation de puissance est nettement améliorée. Cependant les f.e.m. ont beaucoup d'influence sur la valeur et la forme du courant lorsque les phases sont alimentés sous V_p - la figure donne le chronogramme.

IV.3 bis

I-2) Alimentation Chopper:

Cette solution permet d'éviter l'inconvénient signalé ci-dessus tout en conservant les avantages de la solution précédente. Elle consiste à alimenter les phases en courant avec un chopper. Le principe du chopper est montré sur la figure IV 4. La valeur du courant est détecté par le résistance R_1 . Lorsqu'il atteint sa valeur nominale le trigger de S va à bascule et bloque le transistor T_2 , le courant de recuperation circule alors à travers D_1 et D_2 avec une constante de temps élevée:

$$T = L$$

$$R_1$$

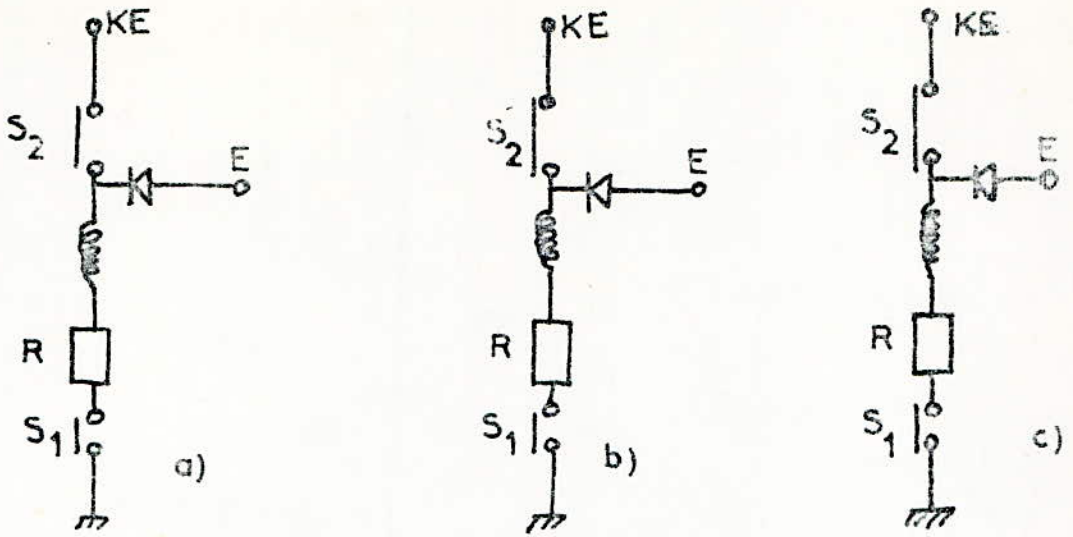


FIGURE IV.1: SCHEMA DE PRINCIPE DE L'ALIMENTATION A 2 NIVEAUX

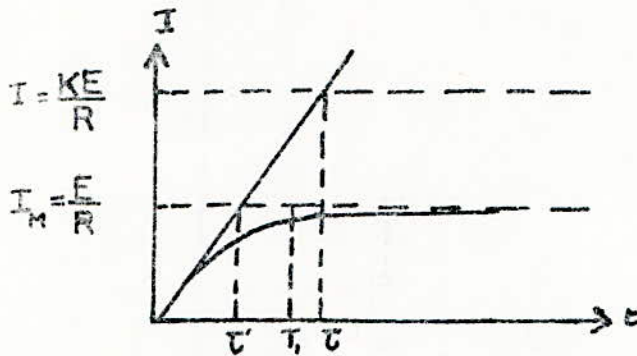


FIGURE IV.2 :

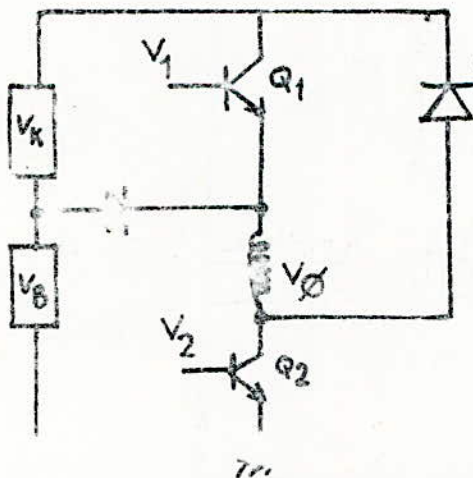


FIGURE IV.3: SCHEMA REEL DE L'ALIMENTATION A 2 NIVEAUX

Car la résistance retenue R_i est faible . Le transistor θ_2 reste bloqué pendant un temps dépendant de la constante de temps $R_2 C$ et de la valeur de l'hysteresis du trigger de Schmitt .

Cette technique permet d'approcher la forme idéale du courant , l'excitation des phases se fait à l'aide d'un creneau. La tension V_H n'est , à priori limitée que par la tension d'isolement du moteur / tension max. qu'il peut supporter , lorsque θ_1 se bloque , le courant de récupération finale charge la capacité réservoir de l'alimentation à travers les diodes D_1 et D_2 .

Le montage est amélioré en prévoyant une tension V_B monté comme la figure IV.4.

II SEQUENCEUR:

La commande "Bang-Bang" (suppression des oscillations à l'arrêt par commutation des phases) permet la transition d'une position à une autre en un temps minimum. Ainsi l'avance d'un pas le plus rapidement possible se fait et le freinage s'effectue avant l'arrivée en position d'équilibre stable , sans oscillations. Ce sont ces raisons qui nous ont amenées à opter pour cette commande.

Les trois intervalles de temps de fonctionnement de cette commande sont rappelés Ci-dessous:

1^{er} intervalle:

Le moteur est mis en accélération maximale par alimentation de la phase phase dès l'arrivée de l'impulsion , cette intervalle dure t_1

2^{er} intervalle :

Pour arriver à la nouvelle position d'équilibre à vitesse nulle il faut freiner . Cette intervalle dure t_2

3^{er} intervalle:

quand le moteur arrive à sa ^{position} d'équilibre avec une vitesse nulle ; on alimente à nouveau cette phase ^{pour} maintenir cet état.

Le calcul des temps t_1 et t_2 relatifs aux 2 premières étapes sera étudié en détail dans le tome II

II -1 Freinage: (Principe)

Le freinage est assuré par ~~re~~roulement de la phase précédente pendant t_2 . A la fin de ce cycle on revient à la phase initiale (figure IV 5)

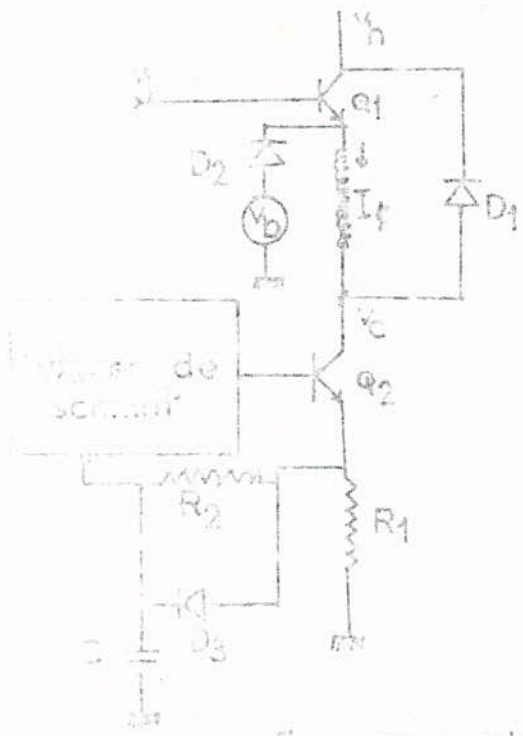
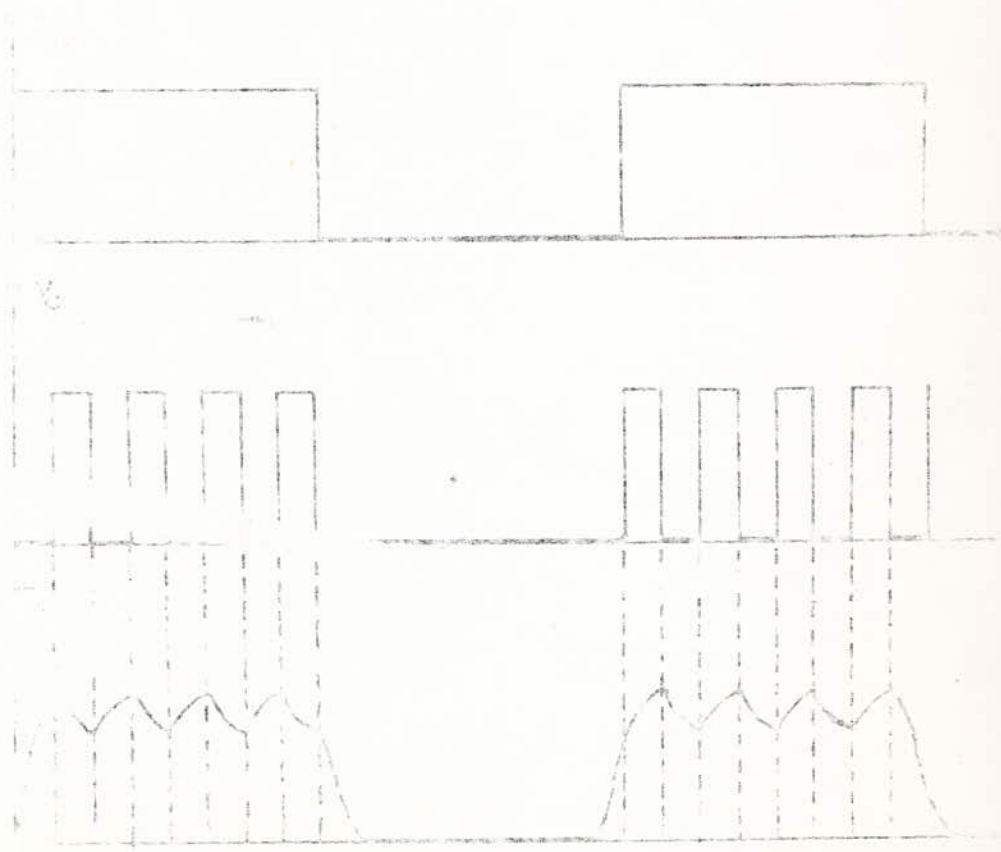


figure 4 schéma du driver



chronogramme des tensions

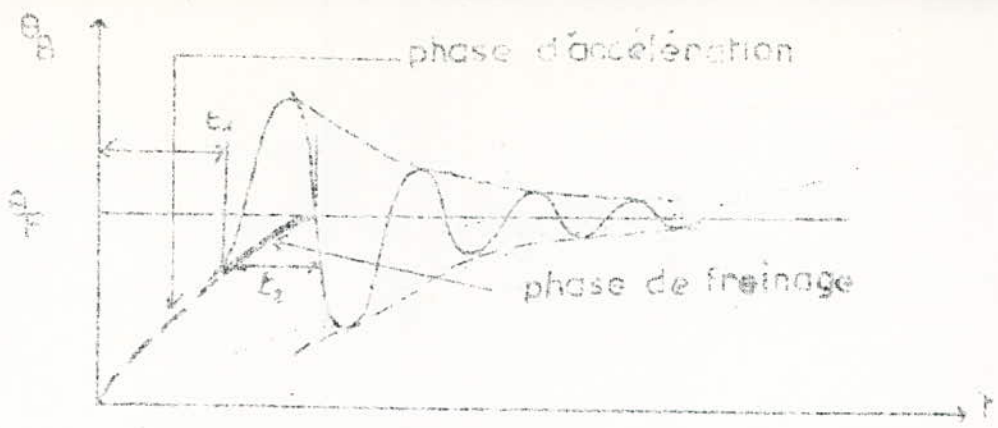
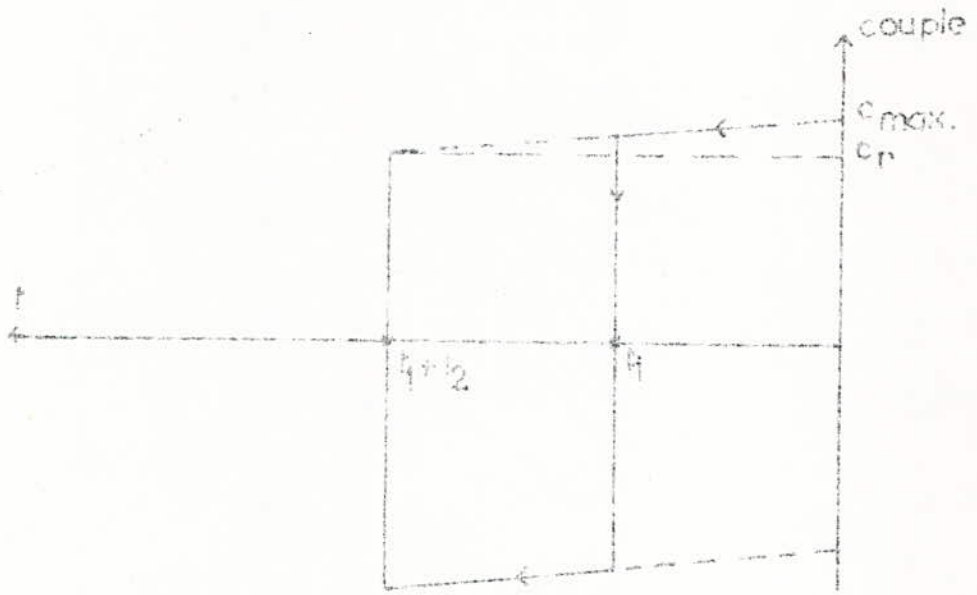


figure IV.5 - a) différents étages de la commande



b) couple en fonction du temps

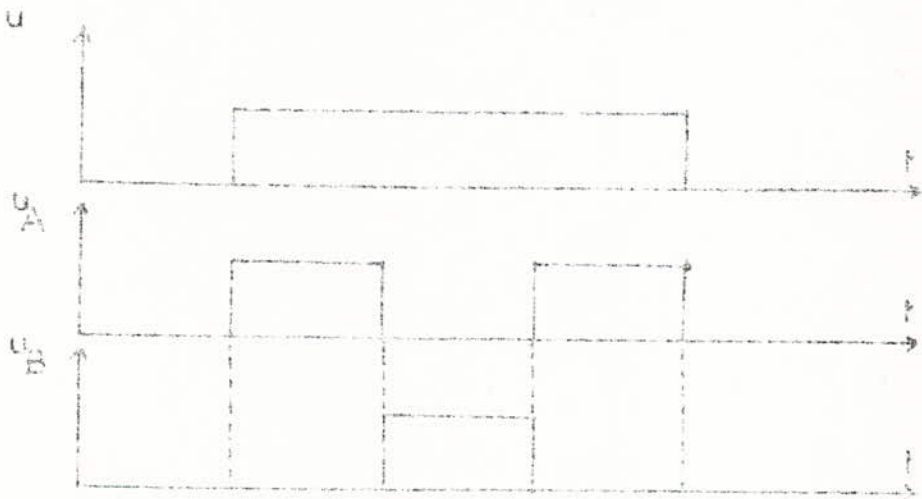


figure IV.6 chronogramme de freinage

La courbe du couple en fonction du temps (figure 56) est obtenue grâce à une commutation des tensions expliquées sur la courbe (6)

Si la sequence de commutation des phrase pour le sens positif est le sens des aiguilles d'une montre , le chronogramme de freinage à l'instant où on commute la phrase B, par exemple , est alors: *présenté fig 6*

II.2 TRANSLATEUR.

Le translateur permet , à partir d'un signal d'horloge et d'un signal de contrôle de sens de rotation de commuter successivement les phrases du moteur pour lui permettre de tourner dans un sens ou dans l'autre selon que le niveau du signal de contrôle est haut ou bas. C'est un compteur-Decorpteur en anneau synchrone.

III Commutation des moteurs: Le commutateur des moteurs permet de commander à l'étage de puissance les phrases du moteur à mettre en marche. Pour éviter les problèmes de rebondissement et d'assurance des commutateurs mécaniques . Il nous a paru avantageux d'utiliser un commutateur électronique . Les composants électroniques qui se prêtent le mieux à cette commutation sous forme de puissance sont les thyristors.

IV Indexeur: L'indexeur est en fait l'organe fondamental de la commande combinée des 4 moteurs . Il constitue la main électronique de l'opérateur et de lui dépend la souplesse des opérations à effectuer sur le Van se graff.

1) Fonctions de l'indexeur :

1.1) entrée des données: Toutes les informations nécessaires aux déplacements sont introduites au moyen d'un clavier à touches.

1.2 Sélection de préaffichage : Un commutateur permet de sélectionner le préaffichage correspondant à chaque moteur.

1.3 préaffichage : L'indexeur est muni de 4 afficheurs à diodes électroluminescentes à 4 Digits . Chaque affichage correspond à 1 moteur. Le préaffichage indique en permanence la valeur du nombre de pas qu'on ne doit pas dépasser.

1.4 affichage : Il est identique au préaffichage seulement sa fonction est d'indiquer le nombre de pas effectués réellement par le moteur en marche .

1.5 Choix de la fréquence: Les fonctions des moteurs imposent des fréquences d'impulsions différentes . Ces fréquences sont sélectionnées par un commutateur comme pour le préaffichage .

1.6 Modes de fonctionnement : 2 modes de fonctionnement sont prévus
mode Absolu: la valeur nouvellement introduite dans le préaffichage sera la nouvelle valeur à atteindre .

Mode continu: le moteur ne tourne que si l'opérateur maintient la touche enfoncée

Arrêt d'urgence : la touche stop permet l'arrêt du moteur sans perte de pas , et une autre permet la remise en marche.

1.3 Remise à zéro partielle.

Une touche permet la remise à zéro du préaffichage en cas d'erreur.

Conclusion/

En résumé, pour commander nos quatre moteurs nous avons choisi une attaque en courant afin d'éviter que des surtensions élevées ne se produisent sur les phases des moteurs ; par ailleurs nous avons énuméré dans ce chapitre deux types de freinage :

- Le freinage électrique

- Le freinage mécanique

Remarquons que les couples de maintien et stati^{que} d'une part et la fréquence de travail qui est assez basse d'autre part, justifient l'utilisation d'un freinage mécanique.

Ce pendant la commande bang-bang, qui a été choisie pour servir éventuellement à d'autres applications^s que la commande du Van de Graff nécessite l'utilisation d'un freinage électrique à chaque pas.

Les performances sont alors augmentées par utilisation d'une alimentation à découpage et à deux niveaux.

La commande combinéeⁿ des quatre moteurs nous a imposé de concevoir un indexeur différent de ce que l'on trouve dans le commerce, il faut remarquer que cela nous a apporté un gain notable en composant^s et en maniabilité de la commande.

Chapitre V

S E C U R I T E

I-Affichage et préaffichage:

La solution de la commande combinée des quatre moteurs impose l'utilisation de mémoires pour stocker les valeurs des positions des moteurs.

Le contrôle des paramètres du Van de Graaff est renforcé par l'affichage lumineux des ces positions. Ceci permet au physicien de vérifier à tout moment ses données. En notant donc, la position de chaque moteur à la fin de la manipulation, il pourra bénéficier du résultat pour une autre expérience.

Les valeurs notées, correspondant à des expériences semblables, sont introduites au début de chaque essai et restent visualisées pendant toute l'expérience pour servir de repère à l'opérateur elles peuvent cependant être réajustée. A cet effet, il est nécessaire de prévoir un affichage pour chacune de ces valeurs.

Pour pouvoir différencier entre l'affichage de la position la instantanée des moteurs et celui de la valeur repère, on appellera ce dernier : Préaffichage.

II-Arrêt automatique:

La valeur préaffichée constitue le nombre de pas dont on veut faire tourner le moteur. Ce dernier doit s'arrêter dès que cette valeur est atteinte. L'arrêt devra donc être automatique.

le problème est résolu comme suit:

-Le nombre d'impulsions du générateur coïncidant avec l'avance du moteur (en nombre de pas). La position du moteur peut être détectée par un compteur dont le contenu est visualisé sur l'affichage.

le préaffichage est alors comparé avec l'affichage est dès qu'ils sont égaux, le comparateur délivre un signal qui bloque le générateur.

A remarquer que les temps de réponse des circuits logiques sont nettement courts devant la période d'impulsion. Ce qui permet au signal du comparateur de bloquer le générateur avant que l'impulsion suivante n'en soit et par conséquent élimine toute perte de pas et toute désynchronisation entre le compteur et la position.

III-Arrêt d'urgence:

En cas de non réponse du système d'arrêt automatique, en fin de course, ou dans le cas où la valeur préaffichée s'avère erronée, il doit être possible de stopper le moteur rapidement.

Pour cela nous avons prévu une touche d'arrêt d'urgence "stop" qui bloque le générateur d'impulsions (donc stoppe le moteur).

Ceci afin de ne pas perdre le synchronisme entre le compteur d'impulsion et la position du moteur.

IV-Fréquences de rotation:

Etant donné que nous avons prévu trois modes de fonctionnement, la fréquence de chacun d'eux doit être différente:

-Une fréquence élevée de 24 pas/s permet la remise à zéro de selsyns: celle-ci doit être grande pour pouvoir arrêter le plus vite possible le fonctionnement du Van de Graaff sans toutefois dépasser les valeurs de sécurité.

-Une fréquence de fonctionnement normal qui varie suivant le paramètre à commander:

*16 pas/s pour la montée en tension et le débit de gaz.

* 8 pas/s pour la focalisation et l'extraction.
- Une fréquence lente permettant le réglage fin de chaque paramètre elle est de:

* 8 pas/s pour la montée en tension et le débit de gaz.

* 4 pas/s pour la focalisation et l'extraction.

Cette contrainte nous oblige à doter le générateur d'impulsions de plusieurs fréquences; car, comme nous l'avons vu, la vitesse est proportionnelle à la fréquence. Le nombre des fréquences ainsi retenu est le suivant:

- 4 Hertz	Correspond à	4 pas/s
- 8 Hertz	"	à 8 pas/s
- 16 Hertz	"	à 16 pas/s
- 24 Hertz	"	à 24 pas/s

VI Commutation des moteurs:

En principe, la commutation des moteurs s'effectue lorsque le générateur d'impulsion est bloqué, mais il se peut que ce ne soit pas le cas. Deux problèmes peuvent donc surgir:

La solution retenue suppose le bloc de commutation des phases des moteurs situé après les étages de puissances. Il s'agit donc de commutation de puissance.

La commutation mécanique (Commutateur à plots) est toujours sujette à des phénomènes tels que rebondissements de plots ou apparition d'arcs électriques qui ne sont pas tolérés dans notre cas.

Il est donc impératif de prévoir une sécurité à ce niveau. La solution que nous avons adoptée consiste en l'utilisation d'un procédé de commutation électronique. Le composant le mieux approprié dans ce cas est le thyristor.

Il suffit d'intercaler entre les sorties de puissance et chaque phase des moteurs, un thyristor qui sera bloqué pour le moteur à l'arrêt et saturé pour le moteur en marche.

L'ajustement des paramètres du Van de Graaff étant assez difficile à obtenir. Il se peut que lors d'une commutation en marche le générateur continue à délivrer des impulsions qui vont exciter les phases du moteur nouvellement branché. Ce qui entraînerait un mouvement non désiré de ce dernier et donc le dérèglement d'un paramètre. Une sécurité consistera alors à bloquer le générateur lors du passage d'un moteur à l'autre.

VI-Préaffichage du moteur en fonctionnement:

La commande des quatre moteurs nécessite l'emploi d'un commutateur de sélection. Comme nous avons prévu auparavant un préaffichage contenant le nombre de pas à effectuer, il nous faut lors de la commutation faire correspondre chaque préaffichage à son moteur.

L'utilisation de deux commutateurs distincts, l'un pour sélectionner le moteur, l'autre pour sélectionner son préaffichage peut poser un problème de sécurité.

En effet, comme nous verrons dans la partie réalisation, dans le mode continu, le préaffichage change suivant la position instantanée du moteur. Si par un oubli de l'opérateur, le commutateur de préaffichage n'est pas connecté sur la position correspondant à son moteur, le résultat sera erroné.

Pour éviter ce genre de risque, nous avons utilisé un commutateur à galets qui fera automatiquement la correspondance entre

préaffichage et moteur.

VII. Sécurité de correspondance entre fréquence et le moteur en service.

Les fréquences précédemment citées sont sélectionnées sur les deux commutateurs de sélection de préaffichage et des moteurs. Les résistances correspondant aux différentes fréquences sont reliées correctement aux commutateurs.

VIII. RAZ. Partiel du préaffichage:

Les valeurs introduites dans le préaffichage sont déterminantes. C'est d'elles que dépend le bon fonctionnement de l'ensemble. Des valeurs erronées introduites à ce niveau pourraient entraîner la "disjonction du Van graaff". L'opérateur devra faire très attention au moment où il introduit ces valeurs en mémoire. Le préaffichage lumineux lui facilitera toutefois la tâche. Une fautive frappe sur le clavier à touche, permettant d'introduire le nombre de pas à ne pas dépasser, étant toujours manuellement possible, il a été prévu un procédé de correction. Une touche "RAZ partiel" permet alors d'effacer le préaffichage en cours. Il suffit de réintroduire ensuite la bonne valeur.

IX. Protection du contenu du préaffichage:

Comme nous venons de le remarquer, le préaffichage à beaucoup d'importance. Le fait d'avoir prévu une possibilité de correction ne le met pas à l'abri des fausses manœuvres. Ce problème est entièrement résolu par le choix des répartitions des connexions sur les commutateurs.

En effet nous avons choisi deux commutateurs l'un pour le préaffichage, l'alimentation et la sélection de fréquence des moteurs 1 et 2 ; l'autre correspondant à ceux des moteurs 3 et 4.

Ainsi quand on alimente un moteur (donc mise en fonctionnement) en déconnecte, de ce fait, automatiquement le préaffichage.

Si l'opérateur appuie accidentellement sur les touches des chiffres, alors qu'un des moteurs est en service, le préaffichage ne sera pas affecté, vu qu'il est déconnecté.

X. Sécurité des touches (+, -, C+, C-):

Comme il a été vu dans le paragraphe étude de l'indéxeur, la touche "+" permet de faire tourner le moteur dans le sens des aiguilles d'une montre tandis que la touche "-" est prévu pour le sens inverse. Les touches "C+" et "C-" permettent d'ajuster les paramètres dans un sens ou dans l'autre.

Si, à un moment donné, au cours du réglage, l'opérateur veut faire avancer son moteur vers une position précise, il doit appuyer sur la touche "+" pour aller dans le sens direct et sur la touche "-" dans le sens inverse.

Pour éviter de faire tourner les moteurs au delà des valeurs préaffichées dans le sens croissant, ou en dessous de la valeur zéro dans le sens décroissant, une logique a été prévue et empêche le fonctionnement des moteurs au delà de ces valeurs même en cas de fausse manœuvre.

XI. Remise à zéro de tous les moteurs:

Pour arrêter le van de graaff, il est nécessaire de remettre à zéro, les selsyns commandant les quatre paramètres.

Pour ce faire, l'opérateur devra:

1er) Préafficher le nombre 0 dans les mémoires de préaffichage des quatre moteurs. Ce qui se fait automatiquement en appuyant sur la touche "RAZ partiel".

2eme) appuyer sur la touche "-" qui entrainera le moteur dans le sens inverse des aiguilles d'une montre jusqu'à ce que l'affichage réel corresponde au zéro du préaffichage. Le manipulateur répétera quatre fois ces deux opérations en changeant la position du commutateur à chaque fois.

XII. RAZ Total:

Lors de la mise sous tension de l'ensemble électronique, il est nécessaire de remettre à zéro toutes les mémoires, bascules, compteurs... etc pour être sûr d'avoir, par la suite, des valeurs cohérentes.

La touche "RAZ Total" du clavier a été prévu à cet effet.

XIII. Sens de rotation des moteurs:

Il est nécessaire que la rotation effective du moteur dans le sens choisi s'effectue bien suivant les séquences logiques qui lui sont appliquées.

le comptage du nombre de pas sur l'affichage s'effectuant avant la commande de l'étage de puissance qui actionne le moteur, on doit s'assurer que celui-ci fonctionne correctement et en même temps que la logique.

Pour cela, quatre voyants lumineux "LED" ont été placés en série avec la gachette du thyristor commandant le courant dans les enrôlements des quatre moteurs.

L'allumage d'une "LED" est effectif pendant la rotation du moteur correspondant. Ce qui indique le bon fonctionnement de l'étage de puissance.

Par ailleurs deux "LED" associés aux deux sens possibles de rotation ont été prévu :

Une ^{des} deux "LED" est reliée aux touches "+" et "C+", l'autre, aux touches "-" et "C-".

XIV. Possibilité d'entraînement manuel des moteurs:

Une sécurité totale du fonctionnement ne pouvant être assurée à peu de frais, nous n'avons retenu, dans notre étude, que les points essentiels.

L'éventualité d'une panne étant toujours possible, nous avons prévu un fonctionnement manuel des selsyns. D'ailleurs, dans notre choix de moteur pas à pas, nous avons prévu cela.

Les moteurs pas à pas utilisés possèdent un arbre rotorique accessible, des deux côtés. Le couplage mécanique d'un côté avec les selsyns permet l'entraînement de ces deux derniers par notre commande électronique.

Le couplage d'une manette à l'autre extrémité de l'arbre, permet l'entraînement manuel des selsyns. Le moteur se comporte alors une simple liaison mécanique.

En cas de panne, l'intervention manuelle se substituera ainsi sans difficulté à l'électronique.

XV. Conclusion:

La commande automatique a apporté beaucoup de facilité de réglage, mais aussi des risques d'erreurs nouveaux.

Le déroulement séquentiel des opérations à effectuer, se faisant à partir d'un clavier à touches, il est évident qu'une action in~~co~~-contrôlée sur ce dernier risque de perturber le bon fonctionnement de l'ensemble.

Pour remédier aux principales fautes accidentelles, nous avons muni notre système d'un certain nombre de sécurités logiques ne nécessitant pas d'intervention manuelles.

L'accent a surtout été mis sur les valeurs maximales à ne pas dépasser et sur un affichage des opérations en cours d'exécution couplé avec un contrôle visuel des valeurs préaffichées. L'affichage ne pouvant dépasser la valeur de préaffichage. Il est évident qu'un fonctionnement entièrement automatique et rigoureusement sûr pourrait être réalisé, mais dépasserait par son coût et sa réalisation le cadre de notre étude.

CONCLUSION

—oO§Oo—

La commande manuelle du Van de Graaff imposait à l'opérateur une attention à chaque instant. Notre commande automatique remédie en partie à cet inconvénient et supprime une partie des opérations de routine.

L'opérateur n'a plus qu'à calculer, puis introduire en mémoire les valeurs des paramètres qu'il pense être correctes. Leur affichage lumineux diminue les risques d'erreur.

Le même ensemble logique peut agir séquentiellement sur la commande de quatre selsyns et donner pour chacun la même précision et la même fiabilité tout en diminuant le coût élevé relatif à quatre ensembles distincts.

Le choix des moteurs pas à pas pour faire tourner les selsyns plutôt que celui des moteurs classiques nous a posé quelques problèmes.

Leur apparition récente n'a pas encore donné lieu à une abondante documentation bibliographique. Ceci nous a obligés à se référer aux notices des constructeurs plutôt qu'à l'expérience vécue des utilisateurs.

Par ailleurs, leur commande par impulsion permet l'utilisation de la technique moderne bien au point des circuits logiques.

Pour des raisons de commodité d'approvisionnement nous avons utilisé les circuits TTL (Transistor - Transistor-Logique).

Les conditions de travail de nos quatre moteurs travaillant à vitesse relativement peu élevée ne rendait pas l'utilisation de circuit de freinage indispensable mais nous avons pensé que la réalisation pourrait être utile au laboratoire d'automatique.

Notre étude assez complète devrait permettre aux futures promotions de se familiariser avec les moteurs pas à pas qui sont encore très peu connus.

Cette première partie du travail contient l'étude détaillée du système avec la justification des choix et des différentes solutions adoptées. Elle constitue en quelque sorte le cahier des charges de la deuxième partie.

200
T2

DEPARTEMENT D'ELECTRICITE
FILIERE D'INGENIEURS EN ELECTRONIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES



COMMANDE AUTOMATIQUE ET SEQUENTIELLE
DE
PLUSIEURS MOTEURS PAS A PAS.
APPLICATION: AUTOMATISATION PARTIELLE
DU VAN DE GRAAFF.

TOME 2: REALISATION.

Proposé par:
Mme Georgette MONDON
Dirigé par:
M. Yves FLAMANT

Etudié par:
Dalila DRAIDI
Aïcha HELIFA
Saâd BELKHIAT
Kaled DJAOU



DEPARTEMENT D'ELECTRICITE
FILIERE D'INGENIEURS EN ELECTRONIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

COMMANDE AUTOMATIQUE ET SEQUENTIELLE
DE
PLUSIEURS MOTEURS PAS A PAS.

APPLICATION : AUTOMATISATION PARTIELLE
DU VAN DE GRAAFF.

TOME 2 : REALISATION .

Proposé par:
Mme Georgette MONDON
Dirigé par:
M. Yves FLAMANT

Etudié par:
Dalila DRAIDI
Archa HELIFA
Saâd BELKHIAT
Kaled DJAOU

INTRODUCTION	1
CHAPITRE I: DESCRIPTION DES COMPOSANTS UTILISES	
I- Multiplexeurs	2
II-Comparateur	4
II-1 Détection d'égalité	4
II-2 Détection d'égalité et d'inégalité	4
III- Registre	6
III-1 REgistre de stockage	7
III-2 Registre à décalage	8
III-3 Registre SN74195	8
IV- Compteurs	
IV-1 Compteur binaire	8bis
IV-2 Compteur 74161	8bis
IV-3 Compteur décimal	8bis
V- Monostable	9
CHAPITRE II: FONCTIONNEMENT DE LA COMMANDE	
I-Schéma synoptique d'ensemble	10
I-1 Principe de fonctionnement	10
II- Fonctionnement des différents blocs	12
II-1 Bloc d'entrée	12
II-2 Bloc, de sécurité et de sélection	12
II-3 Bloc de préaffichage	12
II-4 Bloc d'affichage	13
II-5 Bloc de contrôle	13
CHAPITRE III: BLOC D'ENTREE	
I- Clavier à touches	14
II- Codeur de clavier	14
II-1 Multiplexeur	15
II-2 Horloge	15
II-3 Compteur	15
II-4 Monostable	17
III- Registres	17
IV- Décodeur de clavier	18
IV-1 Circuits associés	19
IV-2 Description du fonctionnement	19
V- Schéma général	19
CHAPITRE IV: BLOCS D'AFFICHAGE ET DE PREAFFICHAGE	
I- Bloc d'affichage	22
I-1 Logique d'aiguillage	22
I-2 Mémoires d'affichage	22
I-3 Multiplexeur	23
I-4 Afficheur	24
II- Bloc de préaffichage	25
II-1 Logique d'aiguillage	25
II-2 Mémoires de préaffichage	25
II-3 Multiplexeur	26
II-4 Afficheur	26
CHAPITRE V: BLOC DE CONTROLE	
I- Générateur d'impulsions	27
I-1 Déclenchement du générateur	27
I-2 Branchement du générateur	27
I-3 Autorisation des impulsions du générateur	28
II- Compteur, décompteur et comparateur	29
II-1 Choix du compteur	29
II-2 Choix du comparateur	30
II-3 Logique du commande du compteur décompteur	31

III-Translateur	32
IV- Circuit de freinage	34
CHAPITRE V: BLOC DE PUISSANCE	
I- Etage de puissance	35
I-1 Alimentation à découpage	35
II- Dispositif de selection des différents moteurs	38
CHAPITRE VII REALISATION	
I-Paquettes modulaires	39
I-1 Plaquette du clavier à touches	39
I-2 Décodeur de clavier et registre d'entrée	39
I-3 Plaquette aiguilleur	40
I-4 Plaquette du circuit de controle	40
I-5 Plaquette du translateur et du circuit de freinage	40
I-6 Plaquette des mémoires et multiplexeurs	40
II- Panneau avant	41
III- Panneau arrière	41
CHAPITRE VIII: COMMUTATEUR DE SELECTION	
I-Introduction	43
II- Selection du moteur	43
III- Selection du préaffichage	43
IV- Selection des fréquences	43
V- Logique de controle	44
CONCLUSION	46

Introduction

L'étude des moteurs pas à pas et leur commande constitue le contenu de la première partie. La confrontation des solutions d'une part et les sécurités de fonctionnement du système d'autre part ont pris une grande place dans le tome I.

La solution retenue était la commande "bang-bang"; nous rappelons que cette dernière se fait en trois temps:

- un premier temps le moteur est ^{mis} en accélération maximale par alimentation de la phase dès l'arrivée de l'impulsion.

- le 2^e temps est celle du freinage. Ce dernier est nécessaire car le moteur doit arriver à la nouvelle position d'équilibre avec une vitesse ^{nulle}.

- En un 3^e temps, on alimente à nouveau, la phase pour maintenir le robot à l'état d'équilibre.

L'alimentation choisie était l'alimentation chopplet de la commande cette étude a été appliquée à l'automatisation, de l'accélérateur de particules du C.S.T.N. Cette application pratique consiste au réglage de 4 paramètres:

- La montée en tension
- Le débit de gaz
- La focalisation
- L'extraction

Chacun des paramètres cités est fonction d'une tension qui est commandée par un variac actionné par un selsyn.

Pour matérialiser cette étude un 2^e tome nous a paru nécessaire. Cette 2^e partie, comprend l'établissement des schémas détaillés, le calcul et la détermination des composants utilisés.

Nous exposons ici le résumé de la 2^e partie. Le schéma global étant compliqué, nous l'avons découpé en six grands blocs:

- bloc d'entrée
- bloc d'affichage
- bloc de préaffichage
- bloc de contrôle
- bloc d'alimentation
- bloc de sélection

Pour justifier notre choix nous avons préféré réserver le premier chapitre à la description des composants utilisés. Le deuxième chapitre constitue le bloc d'entrée; Il englobe le clavier à touches et son décodeur.

Les chapitres II, III, IV, et VI rassemblent les autres blocs.

Enfin un dernier chapitre est consacré à la réalisation proprement dite.

DESCRIPTION DES COMPOSANTS UTILISES

La commande des quatre moteurs est constituée essentiellement de circuits logiques. Parmi ces circuits (famille TTL) nous utilisons surtout:

- les multiplexeurs
- les comparateurs
- les registres
- les compteurs Binaires et B C D
- les multivibrateurs (monostable, bistable).

Dans ce premier chapitre, nous essayons de décrire et de donner le principe de fonctionnement de chaque composant utilisé dans notre réalisation.

I/ Multiplexeur:

Un multiplexeur est en général un circuit qui reçoit N entrées et transmet par sa sortie une de ces entrées au choix. Pour sélectionner cette entrée, le multiplexeur reçoit une adresse.

Si l'adresse est codée sur n bits, le nombre d'entrées sera tel que $N=2^n$ pour utiliser toutes les combinaisons des n bits. De plus, on trouve une entrée de validation V (voir figure I.1). Dans le cas, où $V=1$ la sortie sera à 0 quels que soient les niveaux des entrées et quelle que soit l'adresse, si $v=0$ le multiplexeur délivre sur sa sortie S l'état de l'entrée adressée (ou son complément).

Dans notre étude, nous avons retenu deux types de multiplexeurs:

- Un multiplexeur qui permet de sélectionner une parmi 16 entrées (type 74150)
- Des doublets multiplexeurs, qui permettent de sélectionner une parmi quatre entrées (type 74153).

Les schémas symboliques de ces deux circuits sont donnés à la figure I.2.

Table de vérité (contractée) du circuit 74153.

entrées		validation	sortie
B	A	G	y
X	X	1	0
0	0	0	E ₀
0	1	0	E ₁
1	0	0	E ₂
1	1	0	E ₃

$$y = \bar{G}(\bar{B}\bar{A}E_0 + \bar{B}AE_1 + B\bar{A}E_2 + BAE_3)$$

W est ~~ou~~ complément de l'entrée adressée si S est à l'état 0.
Le câblage de ces multiplexeurs sera étudié aux chapitres VI et VII.

II LE COMPAREUR:

La notion de comparaison de deux nombres est très utilisée, soit dans les systèmes logique, soit dans les systèmes analogiques. Le comparateur est un ~~détecteur~~ détecteur d'égalité, d'inégalité ou les deux à la fois.

II.1 Détection d'égalité (A=B):

Le comparateur dans ce cas est très simple. Les bits de même rang A_i et B_i des deux mots à comparer sont analysés par une porte ou-exclusif inversé pour donner en sortie l'indication d'égalité ($f=1$) ou de non égalité ($f=0$); voir figure I.3.

Deux mots A et B sont égaux si tous leurs bits de même rang A_i et B_i sont identiques. La table de vérité suivante nous permet par exemple, de cabler un comparateur de deux mots à 1 bit; le logigramme est représenté à la figure 3.

-table de vérité:

A	B	f
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Si les deux bits à comparer sont égaux, la sortie est à 1; s'ils sont différents, f serait à 0.

Le comparateur à 4 bits est constitué de quatre cellules, dont leurs sorties sont réunies par une porte "Nand", de la figure I.3.

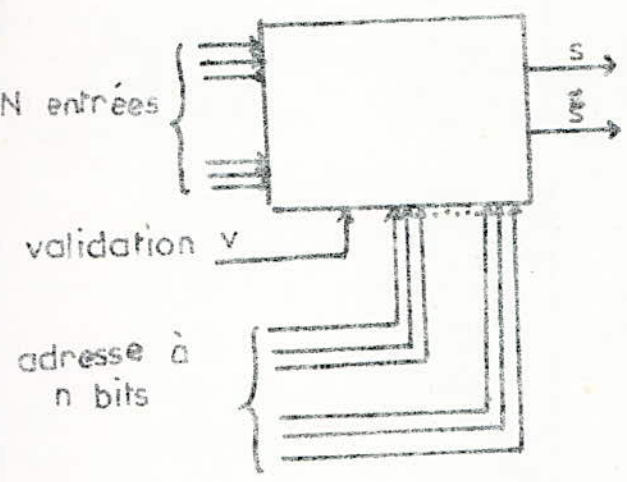
La figure 4 donne le schéma d'un comparateur à 4 bits.

II.2 Détection d'égalité et d'inégalité:

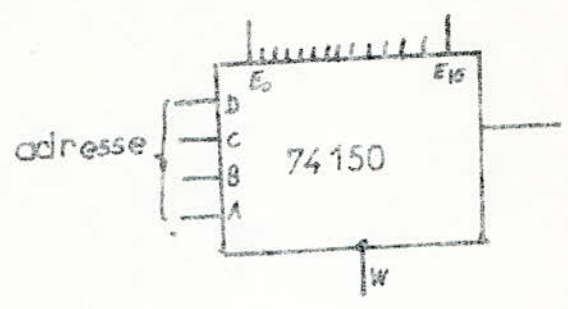
On désire connaître l'égalité ou le sens de l'inégalité de deux nombres quelconques. Pour traduire les 3 possibilités, il est préférable de délivrer le résultat à l'aide de trois sorties; chaque sortie étant alors spécialisée; plutôt que délivrer ce résultat sous forme codée (c'est à dire on fait correspondre à chaque possibilité une adresse).

La table de vérité suivante permet d'éclaircir la comparaison de 2 nombres à 2 bits avec trois sorties (S_1, S_2, S_3) spécialisées.

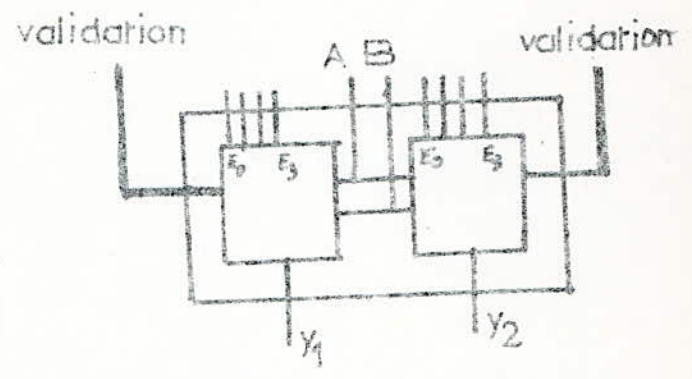
entrées d'information



figI1 multiplexeur à N entrées
 $N = 2^n$

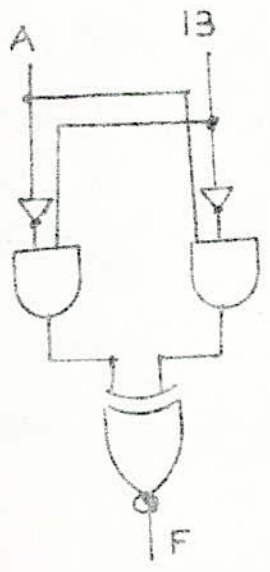


a) multiplexeur 74150 (1 parmi 16)

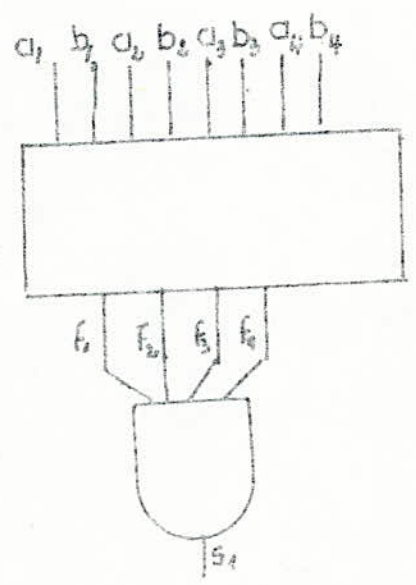


b) double multiplexeur (74153)
1 parmi 4

figI2 Types de Multiplexeurs



figI3: comparateur à 2 bits



figI4: comparateur à 4 bits

A		B		$A > B$	$A < B$	$A = B$
a ₁	a ₀	b ₁	b ₀	S ₁	S ₂	S ₃
0	0	0	0	0	0	1
0	0	0	1	0	1	0
0	0	1	0	0	1	0
0	0	1	1	0	1	0
0	1	0	0	1	0	0
0	1	0	1	0	0	1
0	1	1	0	0	1	0
0	1	1	1	0	1	0
1	0	0	0	1	0	0
1	0	0	1	1	0	0
1	0	1	0	0	0	1
1	0	1	1	0	1	0
1	1	0	0	1	0	0
1	1	0	1	1	0	0
1	1	1	0	1	0	0
1	1	1	1	0	0	1

table de vérité

De cette table et en utilisant les théorèmes de l'algèbre de Boole on trouverait facilement que.

$$S_3 = \overline{(a_1 \oplus b_1)} \overline{(a_0 \oplus b_0)}$$

à partir de S_1, S_2 et S_3 on peut construire le logigramme du comparateur à l'aide de portes fondamentales. Le comparateur qu'on a utilisé est du type (7485); son étude servira d'exemple de comparateur à 3 possibilités ($A > B$, $A < B$, $A = B$).

II.3 Comparateur SN7485:

Ce circuit compare deux nombres de 4 bits en fournissant trois sorties correspondant à:- A supérieur B,
 - A inférieur B,
 - A = B.

Le schéma symbolique est donné à la figure I.5. Des entrées $A' > B'$, $A' < B'$ et $A' = B'$ issues des sorties correspondantes d'un circuit traitant des éléments binaires de poids inférieurs S permettant la mise en cascade de plusieurs circuits, et la comparaison de nombre contenant plus que 4 bits. De ce fait, on constate deux possibilités de comparaison:

- Comparaison parallèle
- Comparaison série

Il est possible de réaliser la comparaison de deux nombres à l'aide d'un montage en parallèle des boîtiers 7485. (figure I.6). Ce montage à l'avantage d'être rapide tandis que la comparaison à l'aide d'un montage série (figure I.7) est un peu lente mais il est simple à câbler.

Par ailleurs le premier montage 5 circuits chacun des 4 premiers circuit pour enfin donner le résultat global de la comparaison. Alors que le second ne nécessite que 4 circuits pour comparer 2 nombres à 16 bits. Pour notre réalisation, nous avons choisi le montage série; celui-ci est plus économique et moins encombrant. Le comparateur 7485 sera utilisé pour détecter seulement l'égalité de deux nombres, les sorties correspondant à $(A \neq B)$ doivent rester en l'air.

III. LES REGISTRES:

Un registre est un ensemble de mémoires élémentaires destinées à mémoriser un mot. La structure du registre dépend évidemment de la structure de l'information (série, parallèle ou série-parallèle) et des éléments technologiques employés. Les digits peuvent se présenter dans l'équipement de traitement les uns après les autres: on dit que l'information est présentée en série.

- On peut également envoyer les différents digits d'un mot, simultanément sur autant de lignes qu'il ya de digits: l'information est alors présentée en parallèle.

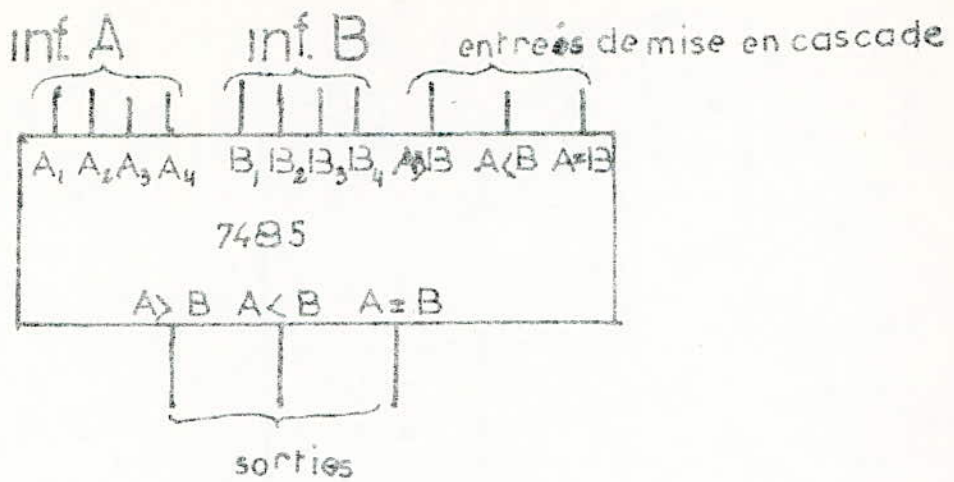
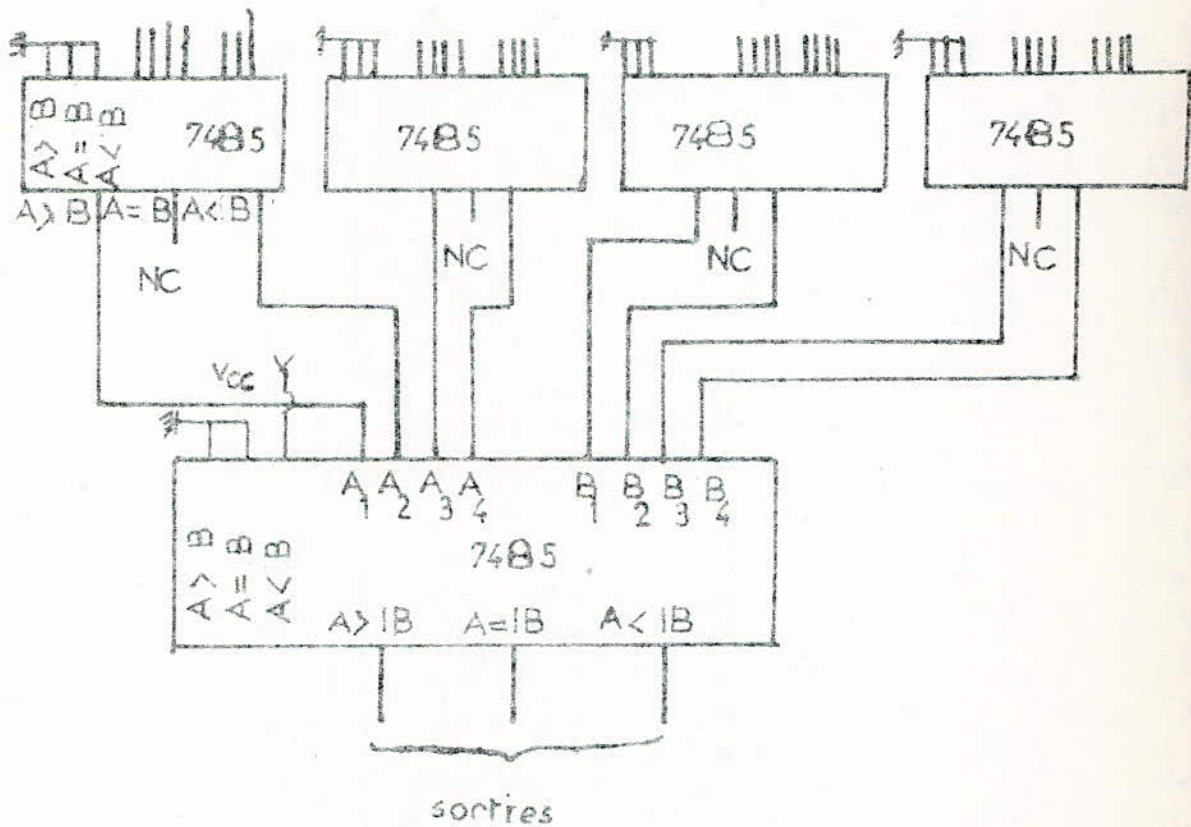


figure I.5 : schéma symbolique du comparateur 7485



figI6 : montage parallèle d'un comparateur de 2 nombres à 16 bits

Un registre est donc une mémoire composée dans laquelle on peut écrire un mot, le garder en stockage, puis le lire pour effectuer diverses opérations: En pratique nous avons réservé le nom de registre aux mémoires intermédiaires permettant le passage du clavier aux mémoires de stockage de l'information.

III.1 Registre de stockage:

Comme nous venons de le dire, c'est un registre constitué de mémoires élémentaires(bascule D).Nous donnons comme exemple le circuit SN74175, figure I.8, que nous avons utilisé dans notre réalisation. Le registre SN 74175 est une décade constituée de bascule D. Il a la table de verité suivante:

entrées		sorties		
clear	clock	D	Q	\bar{Q}
0	X	X	0	1
1	1	1	1	0
1	1	0	0	1
1	0	X	Q_0	\bar{Q}_0

lorsque clear est à 0, la sortie est à 0; si clear est à 1 la sortie Q est identique à l'entrée sauf si l'hologe est à 0 la sortie de la mémoire reste à l'état initial.

Remarque: Si les sorties \bar{Q} ne sont pas utilisés, les bornes correspondantes doivent rester sans connexion.

III.2 REGISTRE A DECALAGE: les registres à décalage sont des mémoires auxiliaires possédant, généralement, d'autres possibilités que l'écriture et la lecture, de façon à faciliter le traitement. Parmi ces propriétés nous retiendrons:

- la possibilité d'écrire et de lire, soit en serie, soit en parallèle.

Ces transformations sont parfois nécessaires pour adapter un appareillage de traitement à un autre.

- la possibilité de glissement(ou de décalage).

on met les cellules successives du registre en communication, de telle façon que ^{les} digits avancent en bloc d'un cran chaque fois que l'on envoie une impulsion de commande dite de glissement.

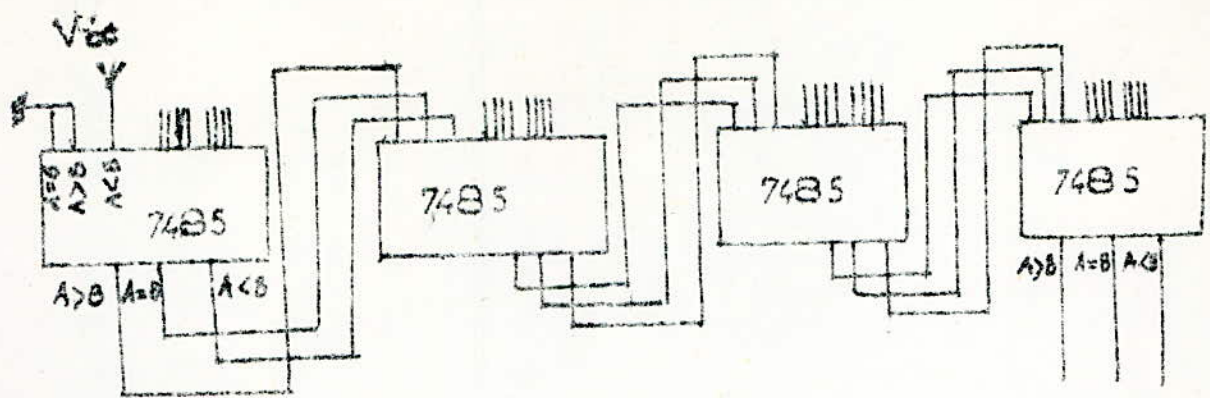


figure 7: montage serie d'un comparateur de 2 nombres à 16 bits

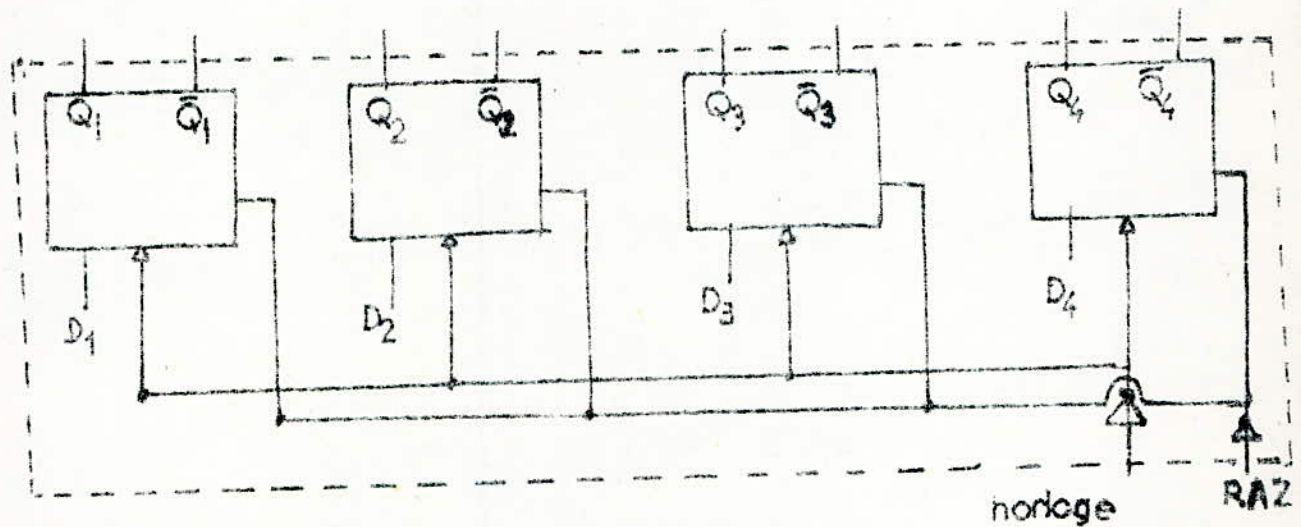


figure 8: contenu du registre 74175

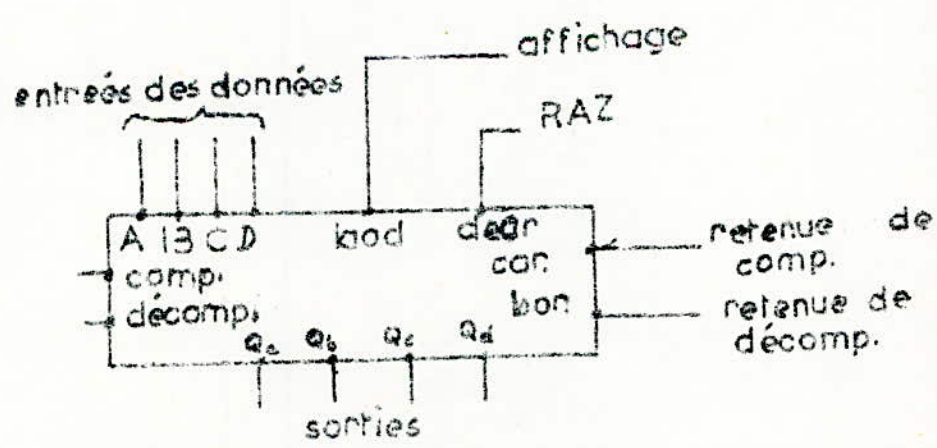


figure 10: schéma Symbolique du compteur 74192

Finalement, le principe du registre à décalage consiste à déplacer simultanément le contenu de chaque cellule du registre pour le placer dans la cellule suivante.

Le cycle de décalage exige la réalisation des quatre opérations ci-dessous :

- a) stockage temporaire dans une mémoire intermédiaire.
- b) effacement du contenu des cellules du registre.
- c) enregistrement dans les cellules suivantes.
- d) effacement de la mémoire précédente.

Ces différentes opérations doivent être gérées par l'intermédiaire d'une logique entre les cellules constituant les registres. Nous prenons comme exemple le registre SN 74195 qui va être utilisé dans le chapitre V.

III.3 Registre SN74195:

Ce registre à 4 bits, il a des entrées et des sorties parallèles ainsi qu'une possibilité d'entrée en série. Il décale de la gauche vers la droite. Le chronogramme de fonctionnement est donné à la figure I.9. Celui-ci nous donne les détails d'utilisation du SN74195.

Notre problème exige l'utilisation des entrées séries, donc pour un bon fonctionnement les ~~Entrées~~ entrées parallèles doivent être à zéro; les niveaux de décalage (Load) et de la remise à zéro (RAZ) doivent être constamment à 1.

Sur le chronogramme, J et \bar{K} correspondent aux bornes des entrées séries et A, B, C, D, aux entrées parallèles.

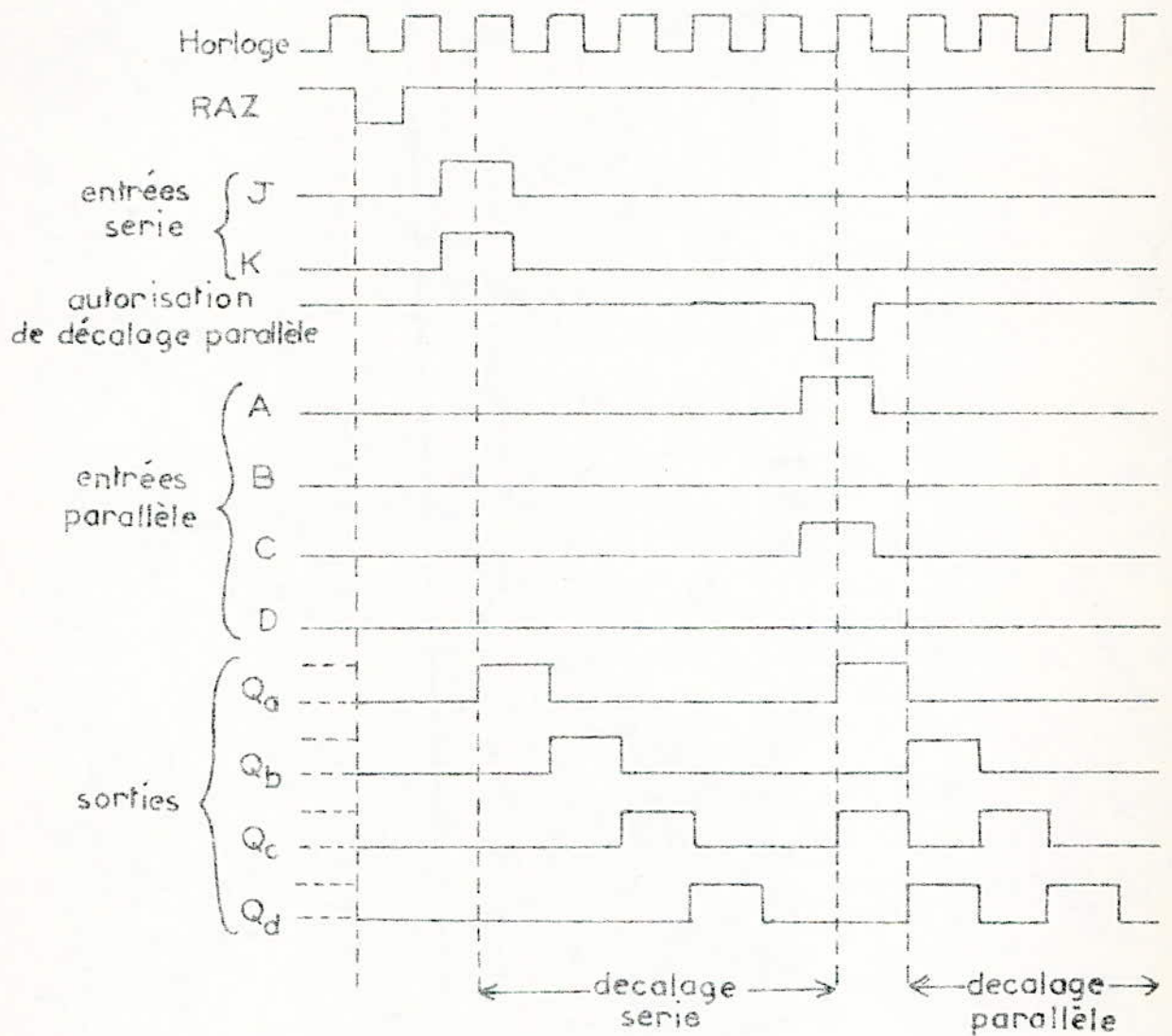
IV Les compteurs:

Les compteurs sont des dispositifs destinés à enregistrer le résultat d'un comptage d'impulsion, soit pour le présenter sous forme visible, soit pour donner les signaux de commande convenables.

- Il existe de nombreux types de compteurs; ces compteurs diffèrent les uns des autres par:

- leurs structures internes (composants utilisés)
- leurs modes d'utilisation (synchrone ou asynchrone)
- leurs codes utilisés (code binaire pur, Binaire codé décimal, code gray, excédent 3, etc).

Les compteurs les plus utilisés et ceux qui nous intéressent sont: les compteurs binaires et les compteurs décimaux.



figI.9 Chronogramme du registre à décalage SN74195

IV.1 compteurs binaires:

Il est cependant nécessaire de voir la structure des compteurs binaires qui sont généralement utilisés pour la commande des machines binaires.

Le compteur binaire le plus simple est formé de bascules bistables, la position de ces bistables représente, en binaire, le nombre d'impulsion appliquées à l'entrée. La réalisation d'un compteur est très facile; Il suffit de savoir sa capacité et à partir de celle-ci on peut déterminer le nombre de bistable, les différentes portes logiques et la liaison entre les différents composants constitutifs.

La conception d'un compteur binaire est exposé dans le chapitre V traitant le séquençement qui est basé sur ce principe. Nous donnons comme exemple le compteur SN74161 qui va nous servir au chapitre III.)

IV.2 Compteur 74161:

C'est un compteur binaire asynchrone, voir figure 9 bis.

Il présente quatre entrées d'affichage A, B, C, D et une entrée de commande (Load) ainsi qu'une commande de mise à zéro.

Il est de la famille que le 74163 qui est un compteur synchrone nous donnons seulement le chronogramme des temps correspondant au 74161 qui a été utilisé dans notre réalisation.

IV.3 Compteur-Décimal:

les compteurs décimaux sont particulièrement utilisés lorsqu'il ya lieu de présenter les résultats à l'opérateur humain (parcequ'il est plus facile de décoder le BCD que le binaire pure).

- Un compteur Decimal est un compteur ou ensemble de compteur binaires dont la capacité de chacun est limitée à 9.

le type de compteur que nous avons retenu étant SN74192; sa conception est la même qu'un compteur binaire modulo 9. Il est de la même famille que le SN74193. Ils ont le même diagramme de temps, même schéma symbolique (voir figure I.49) seulement le 74192 est limité à 9.

La connexion de plusieurs circuits (74192) en cascade est représentée au chapitre IV.

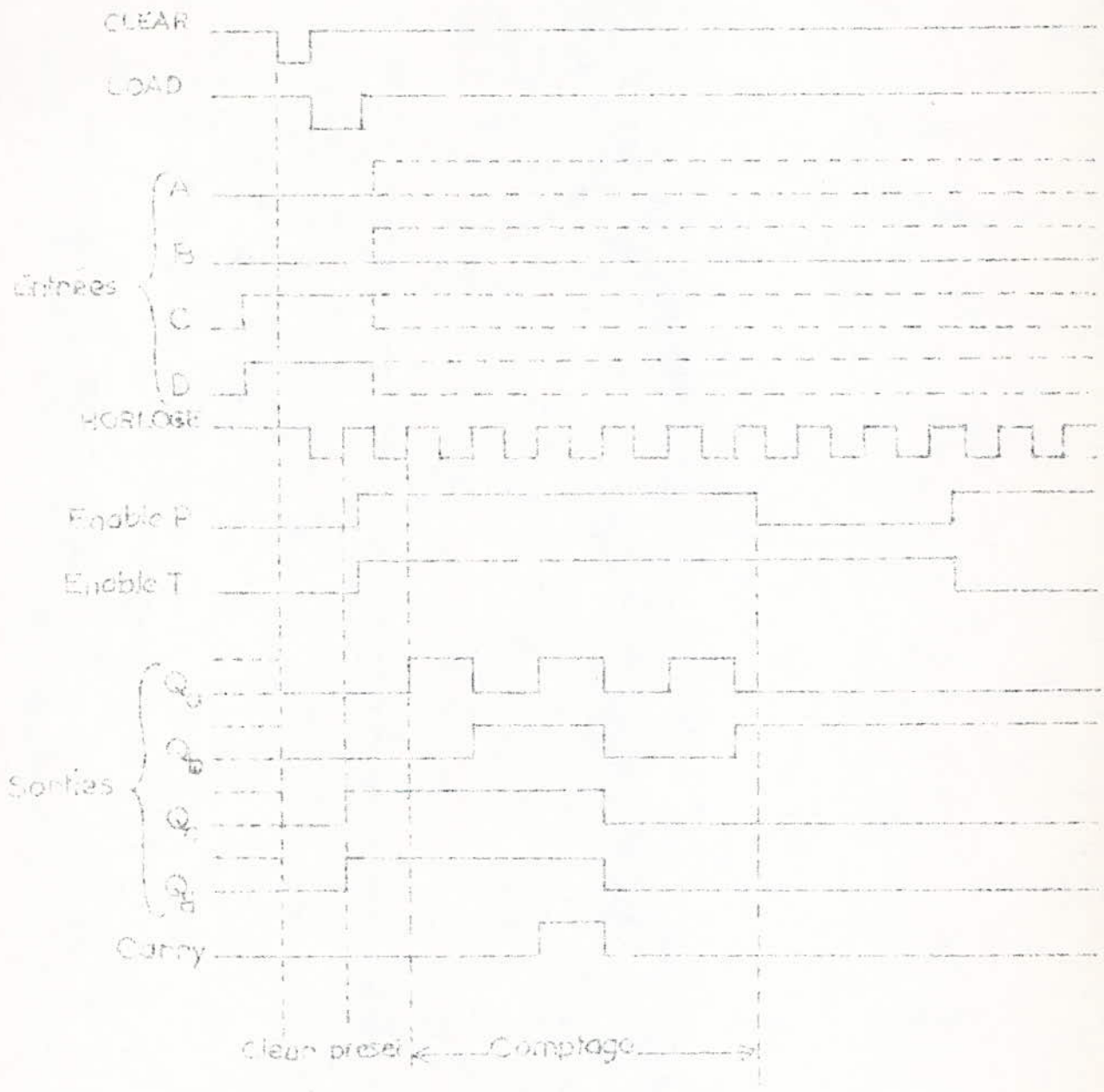


Fig 19b's CHRONOGRAMME DU COMPTEUR
SN 2, 161

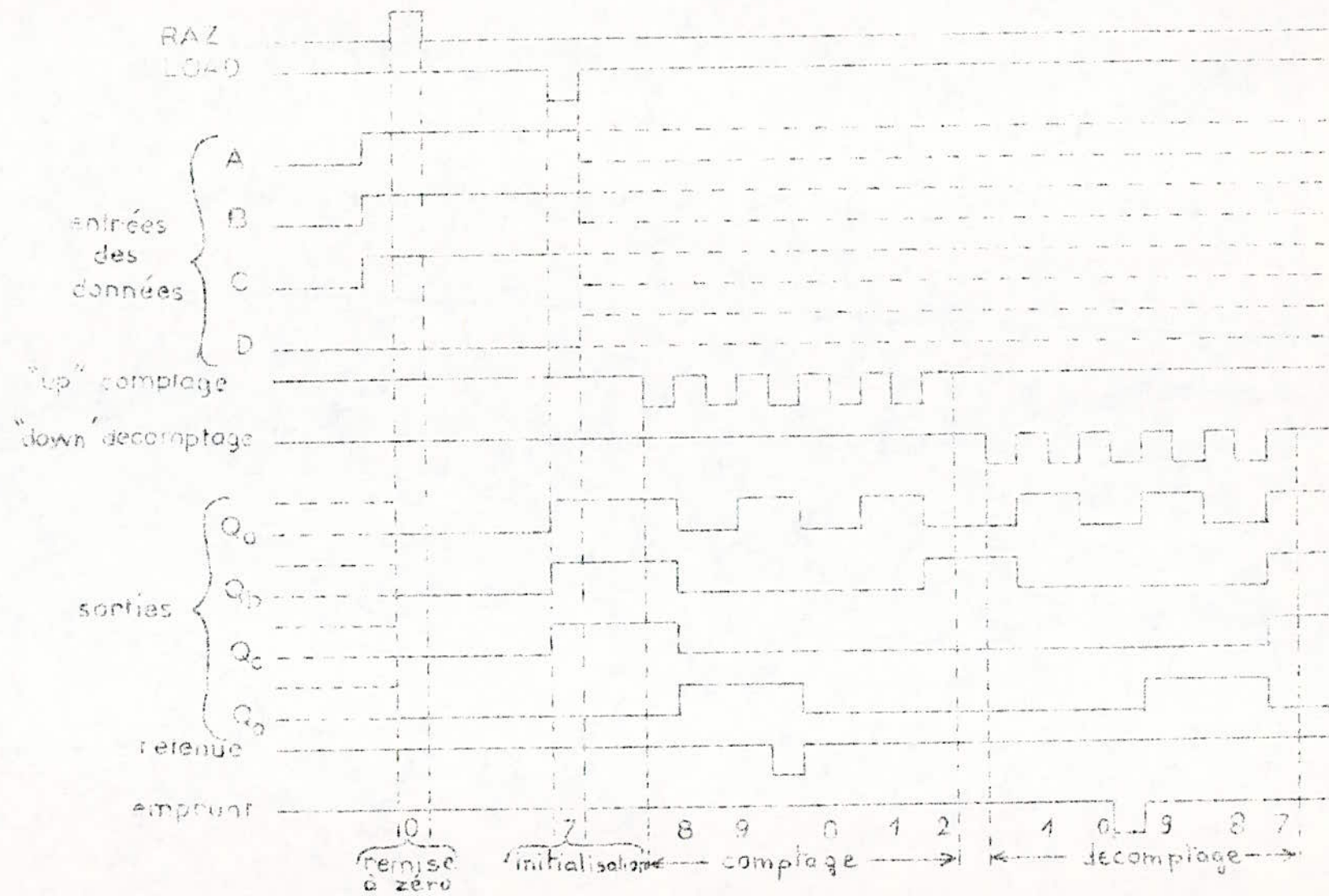


Fig I.11 Chronogramme du compteur SN 74192

V Monostable:

Le monostable logique est un circuit qui délivre une impulsion positive ou négative, dont la durée est délivrée par un circuit RC extérieur, après avoir été déclenché par un front.

Nous prenons comme exemples le SN74122 et le SN74123.

Le SN74123 est un circuit contenant 2 monostables du type SN74122; celui-là servira à la réalisation d'un

astable qui sera étudié en détail dans la chapitre V.

Le SN74122 est un monostable dont ses entrées doivent être commandées par des niveaux logiques et ne peuvent pas être attaquées par des rampes (voir figure I.12).

Le réarmement peut être effectué à n'importe quel moment du cycle pourvu que les temps de préconditionnement soient respectés. La remise à zéro peut avoir lieu à n'importe quel moment.

La durée de l'impulsion est définie par la formule

$$t = 0,32 RC(1 + \frac{0,7}{R})$$

. R doit être $\leq 50k\Omega$

. C doit être supérieure à 1,000pf.

VI. BISTABLE:

Un bistable est un système électronique possédant deux états stables (voir figure 13)

Ces deux états sont accessibles sur les points Q et \bar{Q} de sortie du système.

(\bar{Q} est la sortie complémentée de Q).

Pour introduire l'information 1 ou 0 dans la bascule, on doit au préalable appliquer des états logiques bien précis aux diverses entrées de la bascule. L'information reste dans la bascule tant que l'alimentation n'est pas coupée.

Etant donné que nous utiliserons dans ce qui suit que la bascule JK, nous nous limitons au rappel des propriétés de ce bistable.

La bascule JK est un bistable comportant 2 entrées J et K qui détermine des états précis en sortie.

- L'entrée J se comporte comme une entrée de mise à 1.
- " K " " " " " " " " à 0
- 2 niveaux 0 aux entrées laissent la bascule dans son état précédent.
- 2 niveaux 1 aux entrées provoquent l'inverssion des états précédents. Ce bistable possède la table de vérité suivante:

J	K	Q_t	Q_{t+1}
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	0

Dans les chapitres suivant nous utiliserons le circuit SN7476 contenant 2 bascules JK.

//- FONCTIONNEMENT DE LA COMMANDE

I/- Schéma synoptique d'ensemble :

La figure 1 donne le schéma synoptique de la commande combinée des quatre moteurs.

Dans ce schéma, nous reconnaissons de prime abord, les étages classiques nécessaires à la mise en marche d'un moteur pas à pas: le générateur de signaux de commande, le translateur et l'étage de puissance.

La commande combinée des quatre moteurs est obtenue grâce aux étages constituant les blocs principaux de ce schéma.

En effet, nous avons découpé la commande en cinq blocs principaux :

- bloc d'entrée
- bloc de préaffichage
- bloc d'affichage
- bloc de contrôle
- bloc de puissance
- bloc de sécurité qui, en réalité, est divisé en petits ensembles contenus chacun dans l'un des blocs ci-dessus.

I.1/- Principe de fonctionnement :

Le principe de la commande numérique est basé sur trois points :

- la donnée de la position à atteindre
- la détection de la position instaurée du moteur
- l'arrêt automatique du moteur quand la position voulue est atteinte.

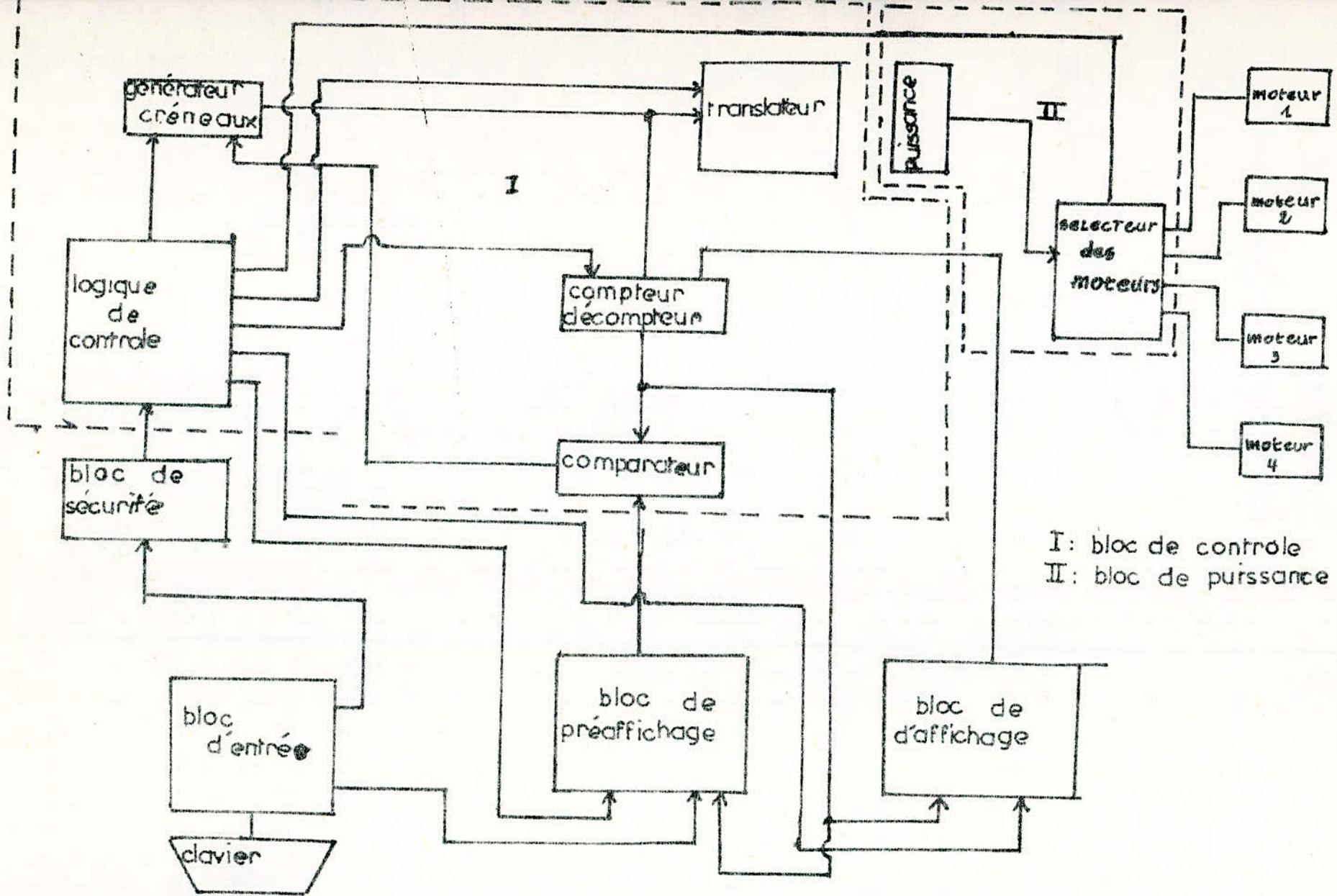


Figure II-1: schéma synoptique global

La première fonction est attribuée au bloc de préaffichage et la position à atteindre est donnée par le clavier à touches.

Le nombre correspondant sera codé et stocké dans la mémoire de préaffichage dont le contenu est visualisé en permanence par affichage lumineux.

La deuxième fonction est attribuée au bloc de contrôle et est réalisée grâce à un compteur décompteur.

La dernière fonction est aussi attribuée à ce dernier et est réalisée grâce à un comparateur.

Les blocs d'affichage, d'entrée et de sécurité sont surtout des périphériques de grande utilité pour la commande.

A ces différents blocs, nous pouvons rajouter un bloc qui n'apparaît pas sur le schéma, mais qui n'en est pas moins utile, c'est le bloc de conversion analogique numérique.

I.1.1/ - Conversion numérique analogique :

La conversion du déplacement du moteur en information digitale est assurée par le moteur lui-même.

En effet le nombre de pas dont le moteur a avancé est égal au nombre d'impulsions délivrées par le générateur.

I.1.2/ - Détection de la position instantanée du moteur :

Les impulsions délivrées par le générateur sont simultanément appliquées aux phases du moteur à travers le translateur, et à l'entrée d'horloge d'un compteur-décompteur .

De cette façon, le contenu du compteur correspond au nombre d'impulsions délivrées et par conséquent au nombre de pas dont le moteur a avancé.

I.1.3/ - Arrêt automatique :

Le nombre de pas à effectuer, contenu dans le préaffichages est comparé en permanence au contenu du compteur-décompteur.

Quant les deux grandeurs sont égales, le comparateur délivre un signal qui bloquera le générateur de signaux et ainsi stoppera le moteur.

II/- Fonction des différents blocs :

II.1/- Bloc d'entrée:

Le bloc d'entrée à pour rôle de coder les instructions correspondant aux touches du clavier et de les aiguiller vers les étages auxquels elles sont destinées.

Les instructions peuvent être des chiffres, et alors elles sont aiguillées vers le préaffichage, ou des ordres de déplacement, et elles sont dirigées vers les blocs de contrôle et de sécurité.

II.2/- Bloc de sécurité et de sélection :

Des quatre moteurs étant destinés à des fonctions différentes, certains étages ne peuvent correspondre communément à ces quatre moteurs.

C'est le cas, par exemple de l'affichage et le préaffichage.

Par ailleurs, il n'est permis de faire fonctionner qu'un seul moteur à la fois. C'est pourquoi, des commutateurs à plusieurs positions sont prévus. Des logiques de sélection leur sont associées.

De plus, toutes les sécurités signalées dans le tome I sont réunies dans ce bloc.

II.3/- Bloc de préaffichage :

Comme nous venons de le signaler, certains étages ne peuvent

Les digits venant du bloc d'entrée sont aiguillés vers le préaffichage désiré grâce à une logique de sélection commandée par le sélecteur de préaffichage.

Les sorties de ces préaffichages sont filtrées par un multiplexeur qui ne laisse passer que les sorties du préaffichage correspondant au moteur en marche. Le multiplexeur est commandé par le sélecteur de moteur.

II.4/- Bloc d'affichage:

Pour une question d'aisance et de sécurité, il est nécessaire de visualiser les positions instantanées de chaque moteur; cette fonction est attribuée au bloc d'affichage.

Le contenu du compteur est acheminé par une logique de sélection, actionnée par le sélecteur, vers l'affichage correspondant au moteur en marche.

Les entrées des afficheurs sont parfois utilisées. Elles sont filtrées comme pour le préaffichage, par un multiplexeur avant d'être utilisées.

II.5/- Bloc de contrôle:

Le bloc de contrôle contient en plus du compteur et du comparateur une logique de contrôle qui fabrique les ordres de déplacement nécessaire. Cette logique est commandée par les touches de clavier ne correspondant pas aux chiffres.

CHAPITRE III

I - Clavier à touches:

Le clavier à touches permet l'introduction de toutes les instructions, nécessaires à la commande des moteurs.

Les touches utilisées sont du type "bouton poussoir" de la norme ET.1T de sadar.

Constitution:

- Contact Bronze plaqué or
- Boitier Polyamide
- Ressort Acier inox
- Bornes de sortie Maille chorte

Performances:

- Résistance de contacts, connexions comprises 50/100 m
- Rebondissements 3 ms
- Puissance max 3 W
- Tension 2/50V
- Intensité max 0,1A
- Endurance 210⁷

Le clavier comprend 18 touches qui sont destinées à introduire les fonctions suivantes:

10 touches pour les chiffres de 0 à 9

1 touche pour (+) avance en mode normal

1 " " (-) retour " " "

1 " " (c+) avance en mode continu

1 " " (c-) retour " " "

II - Codeur du clavier:

Cet étage a pour rôle de coder les informations introduites par les touches.

Il délivre un mot parallèle dont la valeur en BCD est égale au numéro de la touche qui vient d'être enfoncée. En l'absence de la mise à la masse de l'une des touches du clavier, la sortie W du multiplexeur (SN 74 150) reste au niveau 0. Lorsque l'une des touches est enfoncée la sortie W passe au niveau 1 quand la valeur des entrées ABCD correspond à la touche qui est enfoncée.

Etant donné que les interrupteurs ont des contacts mécaniques, il peut se produire des rebondissements. Pour éviter de les retrouver à la sortie du codeur de clavier, on insère un monostable entre la sortie W et la sortie du clavier.

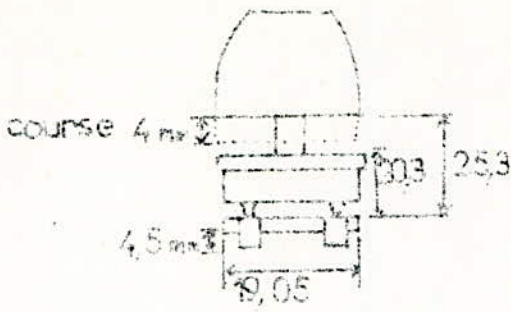


figure II.1 spécifications techniques des touches

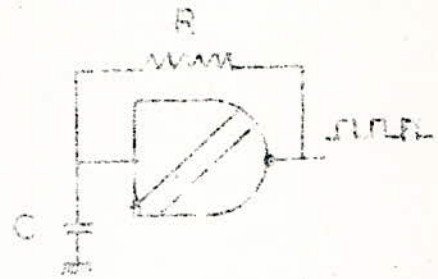


figure II.3 schéma de l'horloge

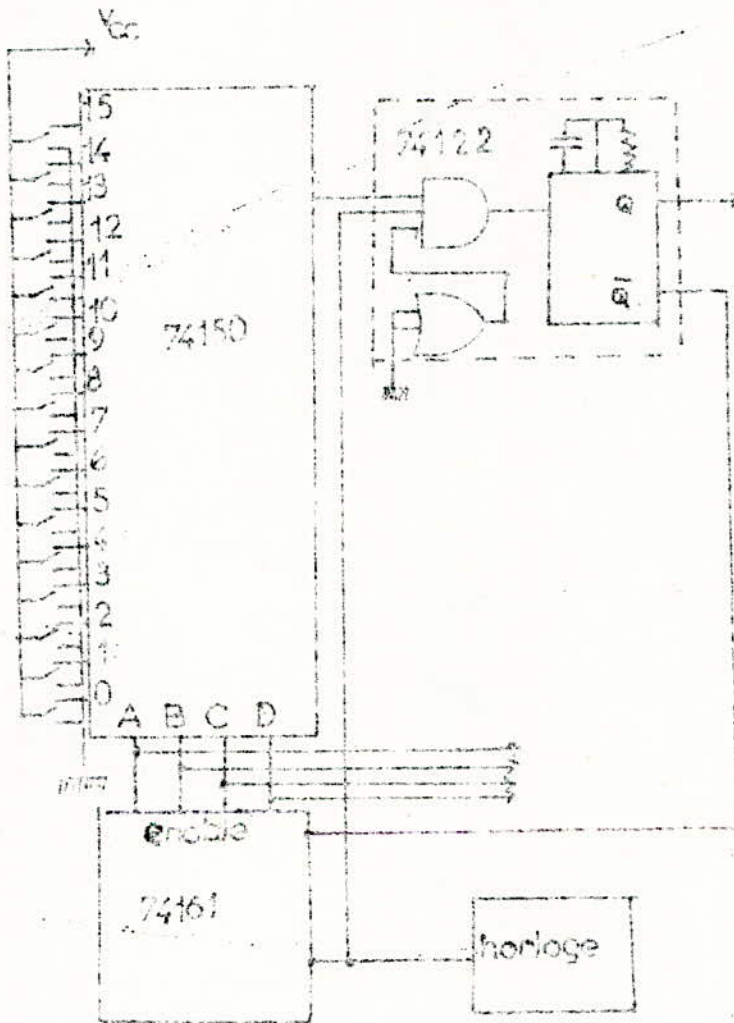


figure II.2; codeur de clavier

Les caractéristiques du monostable sont choisies de façon à ce que la constante du temps soit supérieure à la durée des rebondissements.

Pendant la durée de l'impulsion de sortie le compteur est bloqué par l'action de la sortie \bar{Q} du monostable sur l'entrée "ENABLE P" du compteur. Un signal de prise en compte S est également délivré et ce tout le temps que la même touche reste enfoncée. Ceci est obtenu simplement en envoyant le signal d'horloge sur l'entrée B du monostable.

Ce signal provoque un réarmement du monostable à chaque impulsion d'horloge. La durée de l'impulsion issue du monostable doit être environ $1,5 \theta$ si θ est la période de l'horloge utilisée.

II - 1 Multiplexeur:

Il s'agit de sélectionner une voie parmi 16. La sélection se fait au moyen de l'entrée ABCD. Lorsqu'un chiffre codé en binaire est présent à l'entrée de sélection (sortie du compteur), l'entrée correspondant à ce chiffre se trouve à la sortie W. Chaque entrée du multiplexeur est reliée à $V_{cc} = 5V$ par une résistance de $1K$ donc au repos l'entrée se trouve à l'état logique "1". Lorsque la touche est abaissée l'entrée se trouve directement liée à la masse donc à l'état logique "0".

II - 2 Horloge:

La cadence de fonctionnement des systèmes numériques ainsi que la génération des bits sont toujours assurées par une horloge. Celle-ci doit fournir des signaux carrés de $5V$ d'amplitude et doit pouvoir marcher à très grande fréquence tout en gardant des fronts raides et une grande stabilité, bien que cette dernière soit surtout fonction du condensateur utilisé.

Le schéma réel de l'horloge (voir chapitre V) fait appel à deux monostables, deux résistances et deux condensateurs. Il produit une oscillation rectangulaire de rapport cyclique fixé par les valeurs des résistances et capacités. Il a été réalisé avec un circuit intégré TTL comprenant deux monostables: le 74123.

II - 3 Compteur:

Pour générer les adresses ABCD de sélection, il est nécessaire de procéder à un comptage binaire, comptage assuré par un circuit intégré: le 74 161. Ce circuit compte de 0000 à 1111. Si on veut compter jusqu'à un autre chiffre que 16 il est prévu une entrée de remise à Zéro active à l'état 1. Pour un comptage normal, dans notre cas, cette entrée doit se trouver à 0.

Dans le circuit présenté à la figure cette entrée de remise à zéro est reliée à la sortie \bar{Q} du monostable. Quand une touche est lue, une remise à zéro se fait tout de suite ainsi seule la première touche rencontrée est prise en considération.

II - 4 Monostable:

Pour neutraliser l'effet des rebondissements des touches sur la commande, plusieurs solutions sont possibles. Parmi les solutions utilisant des circuits logiques la plus économique, avec les mêmes performances est celle utilisant un monostable.

Le rebondissement mécanique des touches se traduit par l'apparition d'impulsions parasites de très courte durée à la sortie W du multiplexeur d'entrée.

On élimine ces impulsions, en insérant au niveau de cette sortie, un monostable. Si la durée de basculement du monostable, égale à RC , est au minimum égale au temps de rebondissement, les impulsions parasites n'auront pas d'influence sur les étages suivants. En effet le monostable ayant basculé sous l'effet de l'impulsion principale, ignore les parasites qui arrivent à son entrée au moment où il est à l'état haut.

Sachant qu'avec les souches utilisées le temps de rebondissement ne dépasse pas 3ms. Il suffit de prendre RC supérieur ou égal à 3ms pour que le problème soit réglé.

Pour notre application, nous avons pris $t = RC = 6ms$. La valeur de t nous impose cependant la durée de la période des impulsions d'horloge commandant le compteur d'entrée.

On a: $t = 1,5 T$ où T = période des impulsions de l'horloge.

d'où $T = \frac{t}{1,5} = \frac{6}{1,5} = 4ms$

$$f = \frac{1}{T} = 250 \text{ HZ}$$

III - Registres:

Dans notre étude nous avons prévu la mémorisation et la visualisation de la position finale que chaque moteur doit atteindre.

La position extrême ne dépassant pas 100 tours/min, ce qui correspond à 2400 pas, nous avons prévu un affichage dont la capacité est de quatre chiffres, ce qui permet d'afficher un nombre maximum de 9999 qui est largement suffisant.

A la sortie du clavier, les instructions sont codées binaires. Donc pour écrire un nombre de quatre chiffres en BCD, il faut au moins 16 bits. Cependant, le nombre de pas à atteindre est introduit à partir du clavier chiffre après chiffre; le premier chiffre ayant le poids le plus fort.

Par ailleurs le codeur de clavier ne possède que 4 sorties ABCD. La liaison directe de ces sorties avec les mémoires de préaffichage demande, pour stocker un mot de 16 bits, ^{56.10.0.0.0.0} une logique de commutation très compliquée et coûteuse. C'est pourquoi cette solution est à écarter. Une autre solution qui est de loin la meilleure, consiste à intercaler entre les sorties ABCD et les mémoires un registre à décalage.

Ce registre est composé de quatre cellules élémentaires (type SN74195) chacune étant destinée à contenir un mot de 4 bits. La connexion de ces cellules avec les mémoires de préaffichage est établie de façon à envoyer chaque mot à la décade de mémoire correspondante (affectée de poids correspondant au chiffre).

La figure donne le circuit comportant le registre et sa liaison avec le codeur de clavier et les mémoires de préaffichage. Chacune des sorties ABCD du codeur de clavier est connectée à l'entrée série d'une cellule élémentaire du registre, et les 4 sorties de chaque cellule sont connectées chacune à un bit bien déterminé de l'entrée de la mémoire.

Pour préafficher un nombre inférieur ou égal à 9999, il faut introduire successivement ces quatre chiffres dans l'ordre décroissant de leur poids.

Exemple:

Pour introduire 1979, il faut introduire respectivement 1, 9, 7 et enfin 9.

Remarque:

Pour que le contenu initial du registre ne fausse pas le nombre nouvellement introduit, il faut, quel que soit ce nombre, le composer de quatre chiffres.

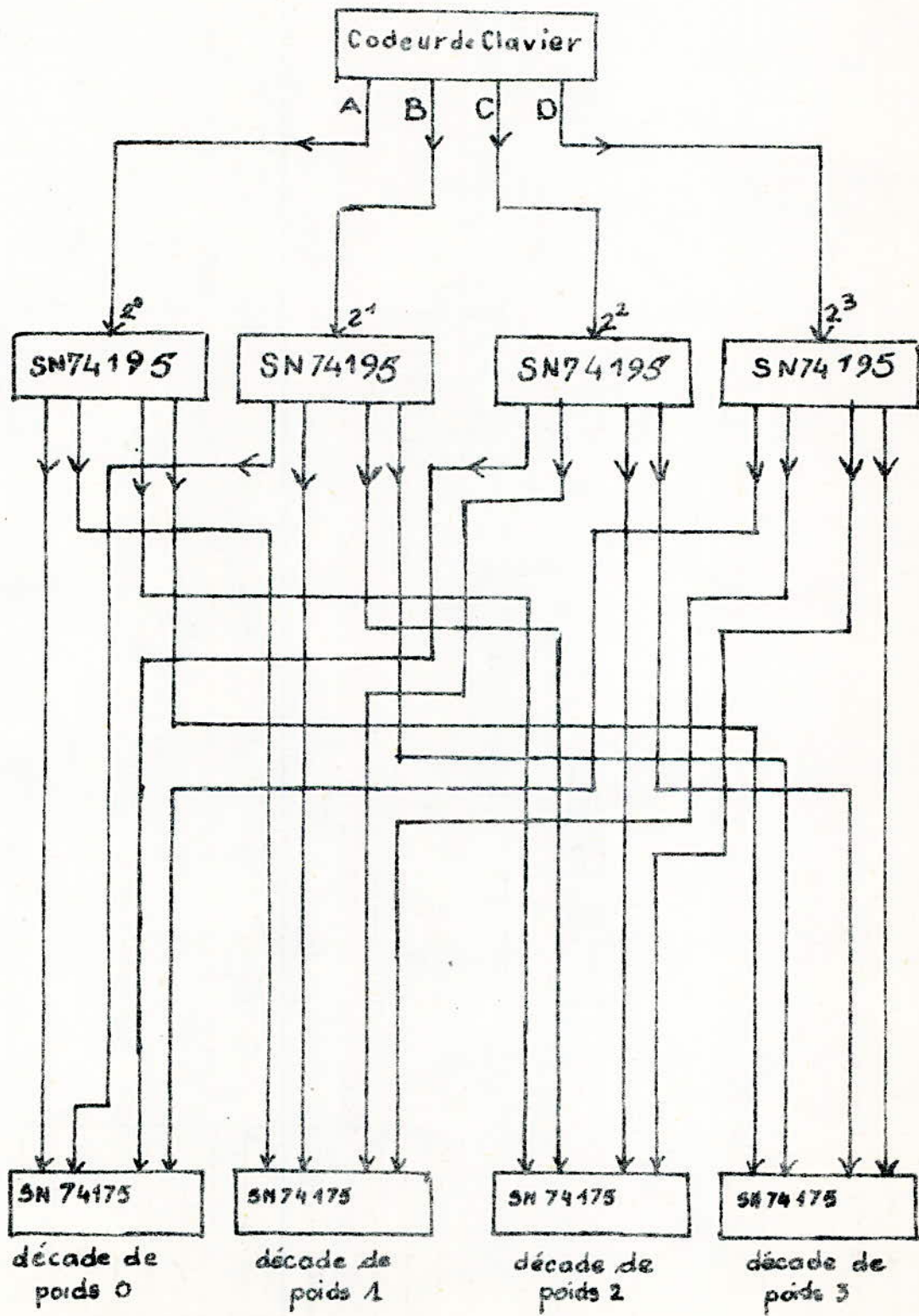


Figure III.4: connexions des registres avec les mémoires

Exemple:

Soit à introduire 12:

Il faut introduire respectivement 0,0,1 et 2 au lieu de 1 puis 2 seulement.

Dans le premier cas, le registre donnerait 0012, dans le deuxième cas XX12

Où X peut être 0 ou 1 suivant le contenu précédent du registre.

L'ensemble: multiplexeur, compteur, logique de décodage et monostable de sécurité des rebondissements, représenté sur la figure peut être appelé codeur de clavier.

Les décades de poids 0,1,2 et 3 représentent les mémoires qui permettent de garder en permanence le nombre de pas à atteindre. Ces mémoires seront étudiées dans les chapitres VI et VII. Sur la fig nous n'avons représenté que les mémoires correspondant à un seul moteur. De ce fait, pour ne pas surcharger le schéma nous avons volontairement omis de représenter la logique de sélection du moteur devant s'insérer entre les registres et les mémoires.

IV -- Décodeur de clavier:

Le schéma de principe contient un multiplexeur en liaison directe avec le clavier à touches.

A la sortie de multiplexeur, les instructions sont codées en binaire. Seules les instructions +, -, c+, c-, RAZ P, RAZ T sont décodées avant d'être utilisées (voir figure III - 5).

Le codage de ces instructions est résumé dans le tableau correspondant.

Remarque:

Une solution possible aurait consisté à ne pas coder les instructions +, - etc, mais elle n'a pas été retenue. Nos touches n'étant pas alimentées par Vcc (elles sont en l'air au repos).

La solution retenue a l'avantage de fournir en même temps S et \bar{S} pour chaque instruction. Pour utiliser \bar{S} il suffit de prendre l'instruction au niveau de la touche.

instructions	code				sorties
	D	C	B	A	
+	1	0	1	0	S ₁
-	1	0	1	1	S ₂
C+	1	1	0	0	S ₃
C-	1	1	0	1	S ₄
RAZ.P	1	1	1	0	S ₅
RAZ.T	1	1	1	1	S ₆

$$S_1 = \bar{A}B\bar{C}D$$

$$S_4 = A\bar{B}CD$$

$$S_2 = AB\bar{C}D$$

$$S_5 = \bar{A}BCD$$

$$S_3 = \bar{A}B\bar{C}D$$

$$S_6 = ABCD$$

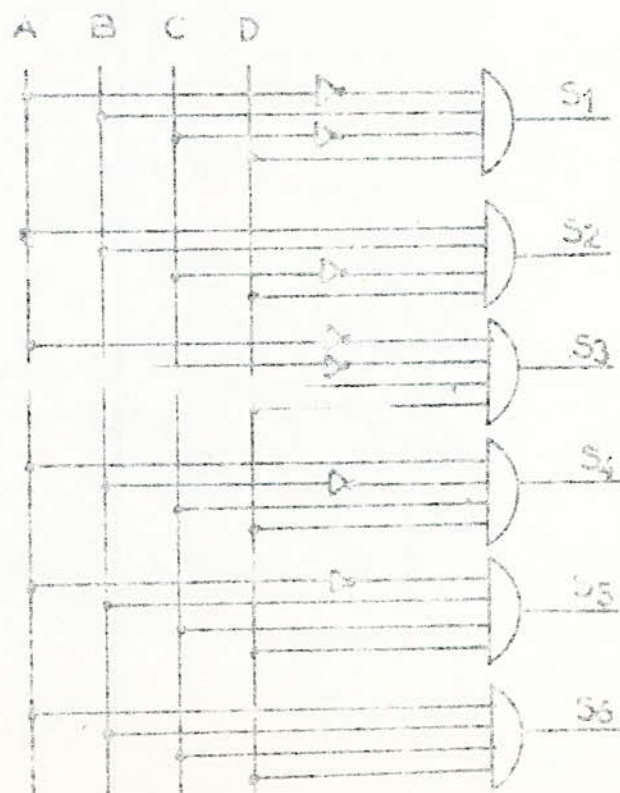


FIGURE 175. LOGIQUE DES INSTRUCTIONS

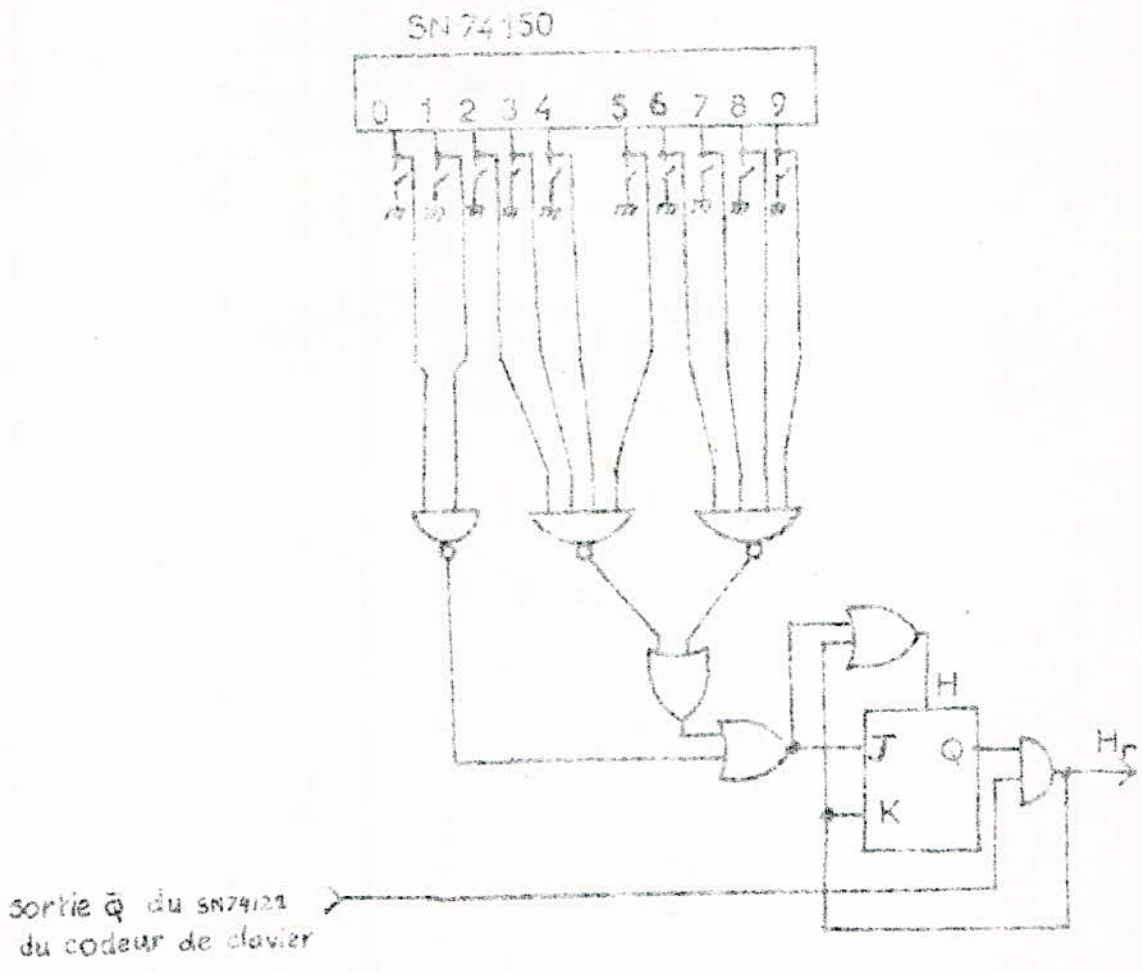


fig. III.6 : logique permettant de générer l'impulsion d'horloge des registres à partir des touches numériques

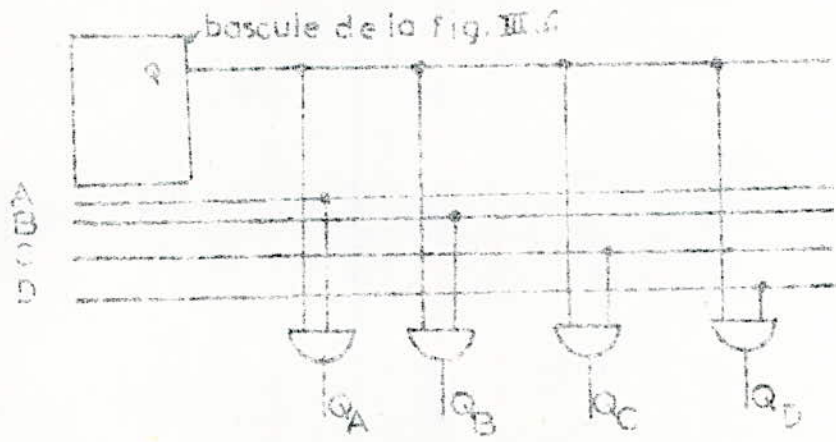


fig. III.7 : logique permettant d'aiguiller les sorties des touches numériques vers les registres

IV - 1 Circuit associés:

La logique utilisée est du type synchrone et pour permettre aux mémoires et registres de stocker les informations, il faut que chaque instruction soit accompagnée d'un top d'horloge. Cette impulsion est surtout nécessaire quand il s'agit d'introduire un nombre. Elle devra donc être générée et envoyée à l'entrée correspondante après chaque chiffre introduit. Le circuit permettant cette fonction est donné sur figure III - 6.

IV - 2 Description du fonctionnement:

Quand on appuie sur la touche correspondant à un chiffre on envoie une impulsion sur l'entrée J de la bascule. La sortie Q passe à l'état "1" (entre temps, le monostable du clavier aura le temps de réagir). Le front de montée de la sortie Q et celui du monostable (74 122) appliquées à l'entrée d'une porte "ET" vont alors actionner le registre et les mémoires un peu en retard par rapport à l'instruction qui serait déjà présenté à leur entrée.

Enfin, aussitôt que Q passe à l'état "1", l'entrée K passe à l'état "1"; après quoi, Q retombe à "0".

Pour éviter que les instructions non numériques (tel que +, -, c +, ...etc) passent dans les registres, il est nécessaire de prévoir un dispositif à l'entrée des registres qui sélectionnera seulement les chiffres. Ce dispositif est donné fig. III.7.

Les sorties A;B;C;D seront connectées aux entrées du registre.

Lorsque l'instruction est un chiffre, Q est à 0 et A',B',C',D', sont à 0. Donc, l'instruction ne passe vers les registres.

V - Schéma général:

Comme nous venons de le voir, l'ensemble du "bloc d'entrée" nécessite un multiplexeur, un compteur, un monostable, des portes AND, NAND et OR et enfin un générateur d'impulsions de fréquences plus élevées à celle du séquenceur.

Le schéma synoptique de l'ensemble est représenté sur la fig III-8. Comme notre clavier contient 16 touches, et on n'utilise qu'une seule touche à la fois, nous avons retenu le multiplexeur SN 74 150. Ce dernier permet de sélectionner un élément parmi 16.

Les 16 touches correspondent à 16 combinaisons différentes. Pour générer ces instructions nous avons utilisé un compteur binaire synchrone constitué de bascules D contenues dans un seul circuit intégré SN 74 161.

Un monostable, réarmable avec remise à zéro, constitue l'intérieur du circuit intégré SN 74 122.

L'horloge est constituée de deux monostables reliées entre eux par des résistances et des capacités de telle façon à avoir à la sortie des signaux carrés. La période de ces signaux est imposée (à $T = 4\text{ms}$ $f = 250\text{ Hz}$) par la durée des impulsions parasites et par la période du séquenceur. C'est à dire, il faut que l'impulsion de cette horloge soit à l'intérieur de celle du séquenceur.

La durée de l'impulsion de ce multivibrateur est donnée par

$$T = 2 \times 0,32 RC \left(1 + \frac{0,7}{R} \right) \quad \text{0,32 coefficient du circuit intégré utilisé.}$$

On vient de voir que $T = 4\text{ ms}$, on prend $C = 100\text{ F}$.

$$4 \cdot 10^{-3} = 2 \times 0,32 R \times 10^{-4} \left(1 + \frac{0,7}{R} \right)$$

$$410^{-3} = 2 \times 0,32 R 10^{-4} \quad R = \frac{4 \cdot 10^3}{0,64 \cdot 10^{-4}} = \frac{40}{0,64}$$

$$R = 62,5\text{ K}\Omega$$

Après calcul précis de R:

Dans la pratique nous mettrons une résistance normalisée de qui se trouve être la valeur pratique la plus proche de la valeur théorique calculée.

Donc une fréquence de 500 Hz nécessite

$$R =$$

$$C = 100\text{ F}$$

Pour réaliser cette horloge, nous avons retenu le circuit intégré SN 74 123 qui contient 2 monostables.

Le câblage d'une horloge est schématisé au chapitre IV.

La réalisation pratique de ce bloc nécessite:

- 2 portes Nand à quatre entrées et une à deux entrées pour sélectionner les touches numériques.
- 4 portes And pour éviter le passage des séquences +, -, c+, c--, RAZ P, RAZ T aux registres.
- 6 portes And à quatre entrées constituent la partie décodage.
- Une bascule JK pour générer et stoper les tops d'horloge du registre .
- 4 registres à décalage à gauche ayant chacun une entrée série et quatre sorties parallèles. Nous avons donc retenu le circuit intégré SN 74 195.
- 4 inverseurs connectés en cascade pour créer un retard entre le déclenchement des registres à décalage et les mémoires du préaffichage. Ceci pour laisser le temps aux registres de recevoir l'information du clavier. (voir schéma global fig III -- 8).

La liste des composants nécessaires pour la réalisation de ce bloc est donc la suivante:

- Un multiplexeur SN 74 150
- Un compteur SN 74 161
- Un monostable SN 74 122 R =
- Une horloge SN 74 123 + C = 100 F
- 4 registres à décalage SN 74 195
- Un circuit Nand à 2 entrées SN 74 00
- Un circuit Nand à 4 entrées SN 74 40
- 3 circuits And à 4 entrées SN 74 21
- 2 circuits d'inverseurs SN 74 04

I Bloc d'affichage :

Ce bloc comporte : (figure IV.1)

- Une logique qui permet d'aiguiller les sorties des compteurs-décompteurs vers les mémoires correspondant au moteur qui fonctionne.
- Des mémoires de 4 bits qui mémorisent le contenu des compteurs-décompteurs et le transmettent aux afficheurs afin de pouvoir vérifier à chaque instant la position de chaque moteur.
- Des multiplexeurs qui sélectionnent 16 bits parmi 64 des mémoires et les transmettent aux entrées des compteurs-décompteurs pour les initialiser lors du passage d'un moteur à un autre.
- Des afficheurs qui visualisent le contenu des mémoires, donc la position de chaque moteur.

I.1. Logique d'aiguillage:

Cette logique permet de sélectionner les 4 mémoires correspondant au moteur qui fonctionne. Elle est uniquement constituée de portes logiques AND (figure IV.2)

- m_1 représente les 4 mémoires 4 bits correspondant au moteur 1.
- m_2 représente les 4 mémoires 4 bits correspondant au moteur 2.
- m_3 représente les 4 mémoires 4 bits correspondant au moteur 3.
- m_4 représente les 4 mémoires 4 bits correspondant au moteur 4.

Sur la figure IV.2, nous n'avons représenté que deux entrées d'une décade de mémoires pour chaque moteur sur les 16 possibles de façon à ne pas alourdir le dessin.

Les sorties des compteur-décompteurs seront transférées aux mémoires m_1, m_2, m_3 ou m_4 .

Pour réaliser cette logique d'aiguillage, nous avons utilisé 16 circuits intégrés AND à 2 entrées SN 7408 (64 portes AND).

I.2. Mémoires d'affichage:

Elles permettent de mémoriser le nombre de pas effectué par chaque moteur à un instant donné. Ainsi l'utilisateur pourra contrôler à n'importe quel moment la position réelle de chaque moteur.

Etant donné que nous avons utilisé des compteur-décompteurs 4 bits B.C.D (Décimal codé binaire) SN 74192, nous utiliserons pour chaque moteur, 4 mémoires 4 bits c'est à dire 4 décades. Ainsi le nombre de pas sera limité à 9999.

Comme le montre la figure IV.1, les sorties des mémoires seront connectées d'une part aux afficheurs 7 segments Til 308 et d'autre part aux multiplexeurs (SN 74153). Nous avons utilisé 16 mémoires SN 74175.

Nous les avons préféré aux mémoires SN 7475 car elles possèdent une remise à zéro. Ceci est important pour éliminer tout parasite avant de commencer la manipulation.

Remise à zéro des mémoires:

Lors de la mise sous tension du système, il est important de remettre à zéro toutes les bascules qui existent dans le circuit en appuyant sur la touche

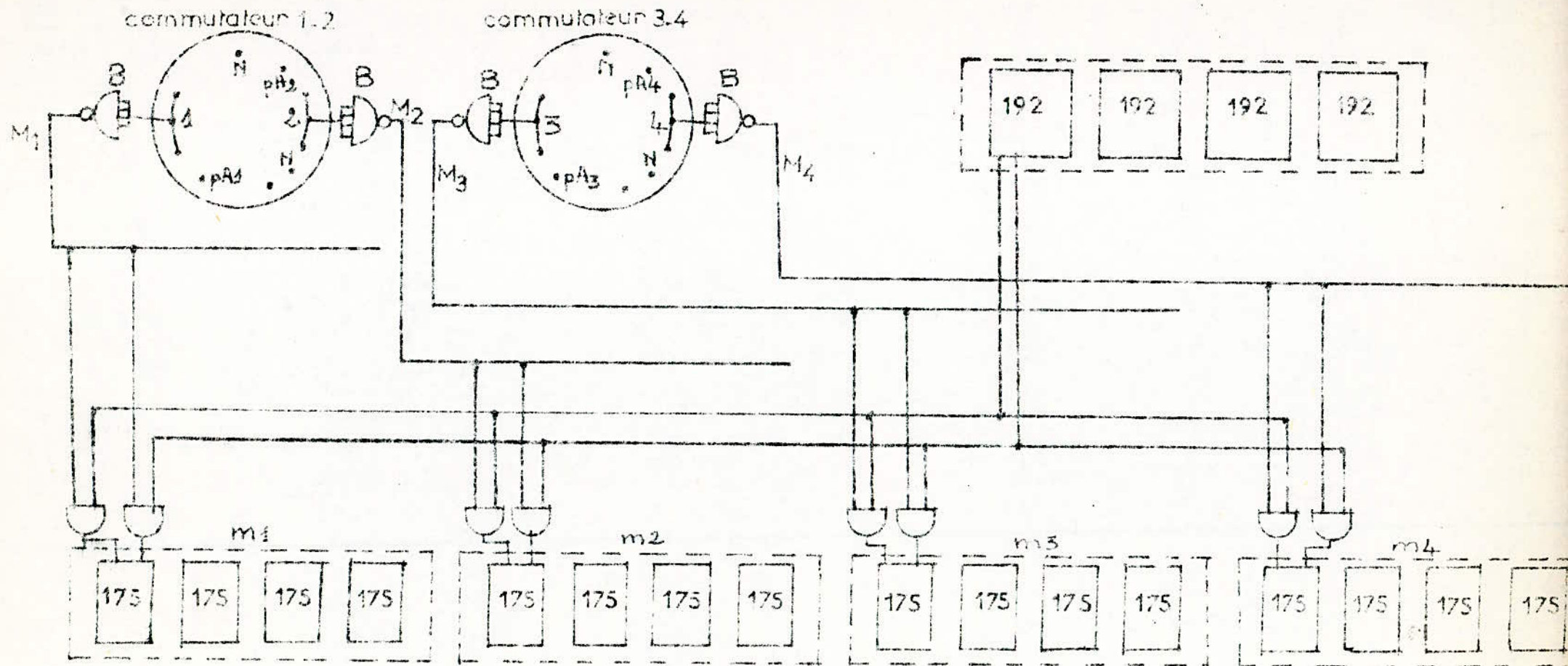


Figure IV-2 : Logique d'aiguillage du bloc d'affichage

les circuits intégrés "B" représentent des amplificateurs de puissance nécessaires pour augmenter la sortie du système.

" R A Z totale" prévue pour cet effet. Ceci représente donc une sécurité en plus (Voir figure IV.3). La remise à zéro des entrées "clear" s'effectue grâce à la touche "R A Z totale" qui agissant par l'intermédiaire du décodeur de clavier et d'un "buffer" de puissance B agit simultanément sur toutes les entrées "clear".

Commande des horloges des mémoires:

Le transfert des entrées des mémoires à leurs sorties ne se fait que sur l'ordre d'un top d'horloge. Le même top d'horloge sera transmis aux 4 mémoires qui correspondent au même moteur.

Pour cela, nous avons prévu une petite logique utilisant des portes AND, qui autorise le transfert des entrées aux sorties des mémoires (figure IV.4). Sur cette figure, B représente les "buffers" d'adaptation de sorties ($\frac{1}{2}$ SN 7440).

I.3 Les multiplexeurs:

Lors du passage d'un moteur à un autre, le compteur-décompteur (16 bits) doit être remis à zéro (en passant par le point neutre du commutateur, voir chapitre V); puis initialisé au contenu du groupe de mémoires qui correspondent au moteur sélectionné par la nouvelle position du commutateur.

Pour cela, la sélection des 16 bits parmi 64, (des mémoires qui seront transférées aux entrées du compteur-décompteur 16BITS), se fera en utilisant des multiplexeurs. Les 16 bits sélectionnés doivent correspondre au même moteur.

Une combinaison de plusieurs multiplexeurs sera faite de façon à obtenir en sortie, le contenu soit: de m_1 , de m_2 , de m_3 , ou de m_4 . Vu la complexité des connexions entre mémoires et multiplexeurs, nous représentons en figure IV.5, les premières et deuxième décades de chaque mémoire (m_1, m_2, m_3 et m_4) connectées aux multiplexeurs correspondants.

Nous avons utilisé en tout 8 double-multiplexeurs 4 bits du type SN 74153.

Autorisation de multiplexage :

Le multiplexage ne peut se faire que lorsque l'entrée "strobe" du multiplexeur est à l'état zéro (voir la table de vérité du SN 74153). Le 16 bits de l'une des mémoires m_1, m_2, m_3 ou m_4 seront transférés aux sorties des multiplexeurs par la mise à zéro des "strokes": le multiplexage sera validé.

Pour ce bloc d'affichage, tous les strobes des multiplexeurs seront constamment reliés au niveau zéro. Ceci ne gêne pas le fonctionnement du compteur-décompteur (16 bits).

Logique de sélection du multiplexage :

Lors du passage d'un moteur à un autre, les multiplexeurs doivent sélectionner le contenu d'une mémoire (m_1, m_2, m_3 ou m_4) d'affichage qui correspond à la nouvelle position du commutateur et l'envoyer aux entrées du compteur-décompteur (16 bits).

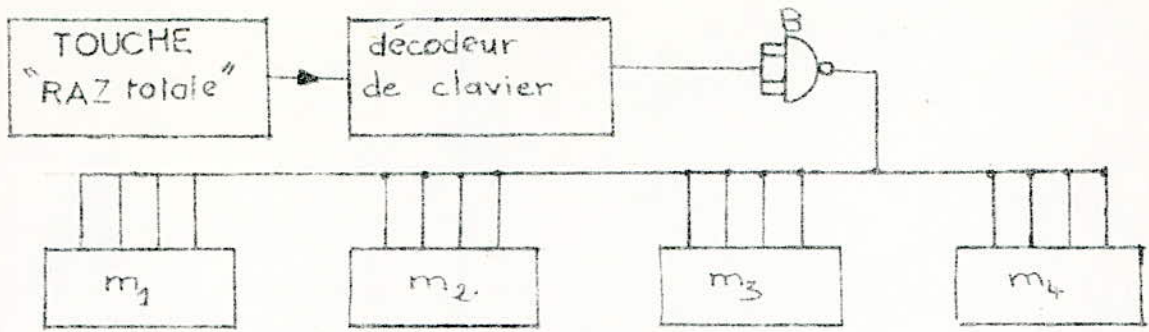


Figure IV-3: Remise à zéro des mémoires d'affichage

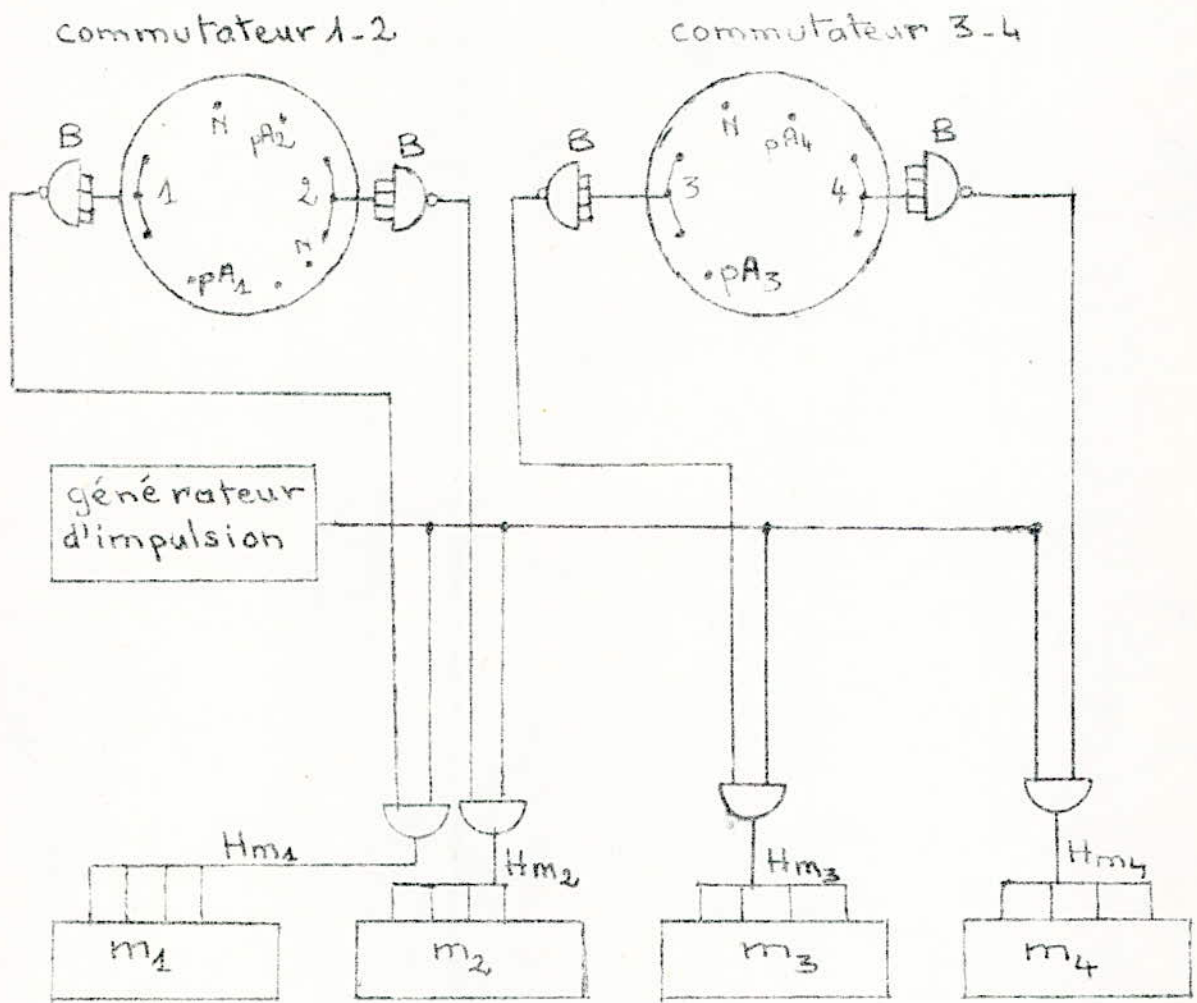


Figure IV-4: Schema logique de commande des Horloges.

Les 4 "B" representent les "buffers" d'adaptation des sorties.

Pour celà, il faut transmettre aux entrées B et A (Data select) des adresses de sélection.

Les adresses de sélection sont obtenues à partir d'une logique. Elles dépendent de la position du commutateur des moteurs.

Soit M_1, M_2, M_3, M_4 les sorties des 4 buffers reliés respectivement aux plots des commutateurs des moteurs 1, 2, 3, et 4 (voir figure IV.2).

Nous déduisons la table de vérité suivante :

M_1	M_2	M_3	M_4	B	A
1	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	1
0	0	1	0	1	0
0	0	0	1	1	1

$$B = M_3 \cdot \bar{M}_1 \cdot \bar{M}_2 \cdot \bar{M}_4 + M_4 \cdot \bar{M}_1 \cdot \bar{M}_2 \cdot \bar{M}_3$$

$$A = M_2 \cdot \bar{M}_1 \cdot \bar{M}_3 \cdot \bar{M}_4 + M_4 \cdot \bar{M}_1 \cdot \bar{M}_2 \cdot \bar{M}_3$$

Les adresses $B = 0$ et $A = 0$ correspondent au moteur 1.

les adresses $B = 0$ et $A = 1$ correspondent au moteur 2.

Les adresses $B = 1$ et $A = 0$ correspondent au moteur 3.

Les adresses $B = 1$ et $A = 1$ correspondent au moteur 4.

Ceci nous conduit à la réalisation du schéma IV.6.

I.4 Les Afficheurs :

Pour visualiser en même temps les positions des moteurs, nous utilisons des afficheurs alphanumériques 7 segments Til 308. Dans le circuit intégré de cet afficheur est inséré un décodeur B.CD - décimal. Ceci nous a permis de diminuer le nombre de circuits intégrés utilisés.

Un afficheur visualisera le contenu d'une décade de mémoire, le nombre affiché sera compris entre 0 et 9.

Chaque mémoire m_1, m_2, m_3 ou m_4 possède 4 décades, nous utiliserons donc 16 afficheurs.

Remarque :

Le fonctionnement du bloc d'affichage est le même pour les deux modes de fonctionnement de la commande (automatique ou semi-automatique).

Le fonctionnement en automatique (-) et en semi-automatique (C-), ne se fera que lorsque le contenu de la mémoire, qui correspond au moteur qui fonctionne, est différent de zéro, pour ne pas forcer le selsyn quand il arrive en butée. Pour éviter ce genre de problème, nous avons prévu une logique n'autorisant le fonctionnement en (-) ou (C-) que l'orsque au moins l'un des 16 bits des mémoires est égal à 1 (figure IV.7).

II Bloc de préaffichage :

Comme pour le bloc d'affichage, ce bloc comporte:

- Une logique qui, dans les cas de fonctionnement en C+ ou C-, aiguillera le contenu du compteur - décompteur (16 bits) vers l'une des mémoires de préaffichage m_{p_1} , m_{p_2} , m_{p_3} ou m_{p_4} .

- Des mémoires de préaffichage m_{p_1} , m_{p_2} , m_{p_3} et m_{p_4} qui mémorisent le nombre de pas préaffiché dans le cas du fonctionnement en automatique ou le contenu du compteur-décompteur dans le cas du fonctionnement en semi-automatique

- Des multiplexeurs qui sélectionnent le contenu de l'une des mémoires m_{p_1} , m_{p_2} , m_{p_3} ou m_{p_4} pour le transmettre au comparateur uniquement dans le cas du fonctionnement en automatique (+ et -).

- Des afficheurs 7 segments qui visualisent les contenus des mémoires m_{p_1} , m_{p_2} , m_{p_3} et m_{p_4} .

II.1. Logique d'aiguillage :

Dans le cas du fonctionnement continu (semi-automatique C+ ou C-) de ^{la} commande, les valeurs d'affichage et de préaffichage doivent monter ou descendre en même temps suivant que l'on appuie sur C+ ou C-, donc suivant que le compteur-décompteur incrémente ou décrémente. Dans ce cas le préaffichage doit suivre l'affichage.

Cette logique est représentée en figure IV.8. Nous n'y avons représenté que l'aiguillage d'un seul bit du compteur-décompteur ou du registre à décalage vers les mémoires de préaffichage.

Aux points 1 et 2 nous devons placer des buffers, car la sortance des portes doit être supérieure à 10. Ceux-ci n'ont pas été représenté sur la figure. Nous avons utilisé 48 circuits intégrés AND SN 7408 et circuits intégrés ou SN 7432.

II.2/ Les mémoires de préaffichage :

Elles mémorisent le nombre de pas que l'on veut préafficher (en fonctionnement automatique), dans ce cas l'information sera transmise à celles - ci par les registres à décalage. Dans le cas du fonctionnement en semi-automatique, le contenu du compteur décompteur sera transmis aux mémoires, dans ce cas les valeurs de préaffichage et d'affichage pour un même moteur sont identiques. Comme pour les mémoires de préaffichage, nous avons utilisé 16 mémoires 4 bits SN 74175.

Remise à zéro des mémoires :

Par mesure de sécurité, la remise à zéro de ces mémoires se fera de 2 manières différentes, soit en appuyant sur le bouton "R A Z" ^{total} soit en appuyant sur le bouton "R A Z partielle" dans le cas d'une fausse manoeuvre. En effet, si le nombre affiché est erroné par suite d'une faute de frappe sur une des touches du clavier, il suffira d'appuyer sur "RAZ" partielle" pour effacer uniquement le contenu de la visualisation du moteur connecté.

Nous avons donc prévu une logique de remise à zéro (figure IV.9)

Horloges et sélection du préaffichage des mémoires:

Le préaffichage se fait indépendamment du fonctionnement du générateur ou du moteur.

Avant de commencer toute expérience, on préaffichera toutes les valeurs désirées de nos 4 paramètres.

La sélection de préaffichage sur les mémoires m_{p1} , m_{p2} , m_{p3} et m_{p4} se fait en agissant sur les plots des commutateurs correspondant au préaffichage et sur les horloges des mémoires m_{p1} , m_{p2} , m_{p3} , m_{p4} . Voir figure IV.10.

Dans le cas du fonctionnement en (+) et (-), l'horloge des mémoires dépendra de l'horloge des registres à décalage et de la position du commutateur.

Dans le cas du fonctionnement en C+ et C-, l'horloge sera la même que celle des mémoires d'affichage. (Sur la figure IV.10; H_{m1} , H_{m2} , H_{m3} , H_{m4} représentent les entrées des horloges des mémoires d'affichage m_1 , m_2 , m_3 et m_4).

II.3 Les multiplexeurs :

Dans le cas du fonctionnement en (+) et (-); les multiplexeurs sélectionnent 16 bits parmi 64 des mémoires de préaffichage et les transmettent au comparateur.

Les bits choisis doivent correspondre au même moteur. Les connexions de ces multiplexeurs avec les mémoires de préaffichage sont identiques à celles des multiplexeurs d'affichage (figure IV.5).

Nous avons utilisé 8 double-multiplexeurs 4 bits SN 74153.

Autorisation de multiplexage :

La validation du multiplexage est faite lorsque les entrées "strobe" sont à l'état zéro.

Etant donné que le multiplexage ne se fera que pour le fonctionnement automatique (+) ou (-) ; les entrées "strobe" seront à l'état 1 lors du fonctionnement en semi-automatique C+ ou C- (voir figure IV.11).

Sélection du multiplexage :

Pour que les multiplexeurs sélectionnent les 16 bits correspondant au moteur qui fonctionne, ils doivent recevoir des adresses (Data - select) B et A. La logique de sélection de ces adresses est identique à celle des multiplexeurs d'affichage (figure IV.6).

Remarque :

Aux sorties B et A de la logique de sélection de multiplexage (figure IV.6), nous devons placer des buffers, car les sortances des 2 portes "OU" sont supérieures à 10.

II-4-LÉS afficheurs:

Les afficheurs 7 segments utilisés pour le préaffichage sont identiques à ceux utilisés pour l'affichage. nous avons utilisé 16 afficheurs TIL308.

entrées de sélection (data select)		Entrées	Validation (strobe)	Sortie
B	A	C ₀ C ₁ C ₂ C ₃	G	Y
φ	φ	φ φ φ φ	1	0
0	0	0 φ φ φ	0	0
0	0	1 φ φ φ	0	1
0	1	φ 0 φ φ	0	0
0	1	φ 1 φ φ	0	1
1	0	φ φ 0 φ	0	0
1	0	φ φ 1 φ	0	1
1	1	φ φ φ 0	0	0
1	1	φ φ φ 1	0	1

Table de vérité du multiplexeur SN 74153

On voit sur cette table l'état des sorties en fonction de la valeur du strobe.

Fonction	entrées						Blanking input	LED test	Sorties					
	D	C	B	A	DPS	a ₀			a ₁	a ₂	a ₃	a ₄		
0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0
2	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0
3	0	0	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	0
4	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0
5	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	1	1	0
6	0	1	1	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0
7	0	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	0
8	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
9	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0
LED TEST	φ	φ	φ	φ	φ	φ	φ	0	φ	φ	φ	φ	φ	φ

Table de vérité de l'afficheur TIL 308

Nous n'avons représenté sur ce tableau que les états correspondant à l'affichage numérique.

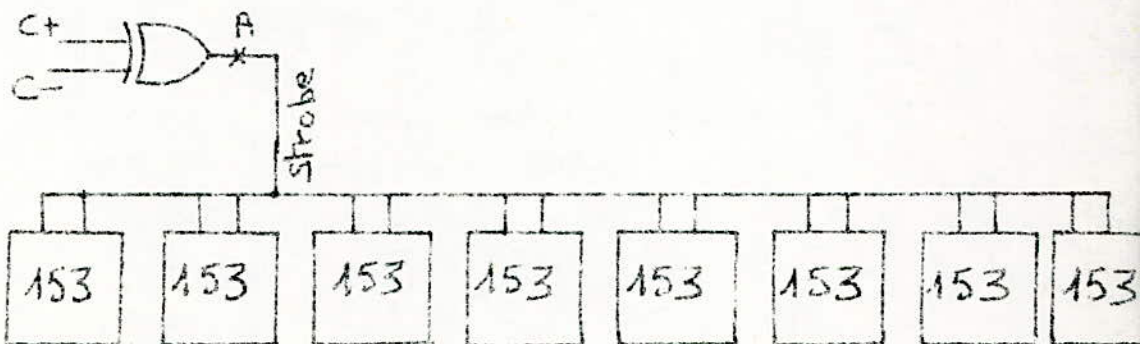


Figure IV-11: Autorisation du multiplexage: Pour des raisons d'adaptation en puissance nous avons placé un buffer au point A.

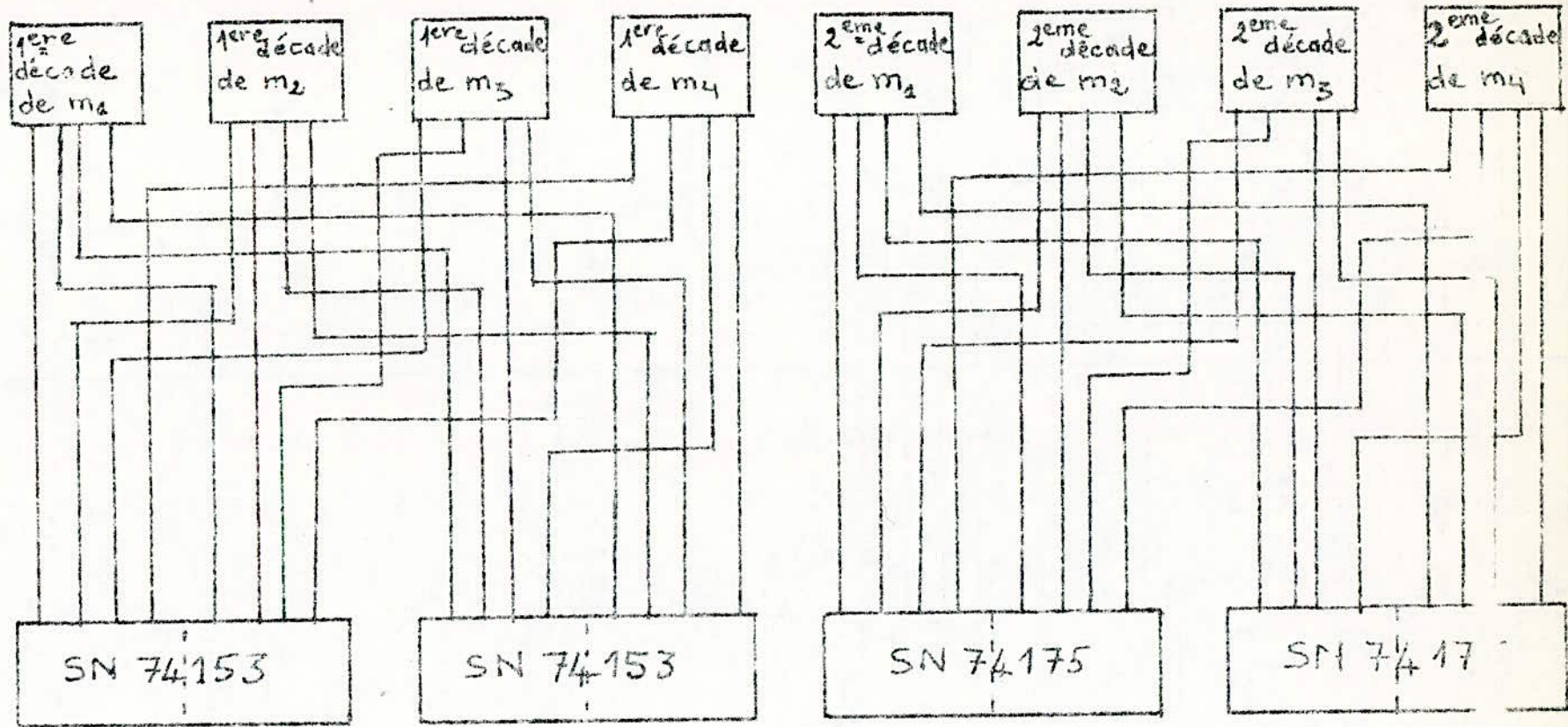


Figure IV-5: Connexions entre multiplexeurs et mémoires : nous avons représenté les premières et deuxièmes décades des mémoires m_1, m_2, m_3 et m_4 . Des connexions identiques sont faites pour les troisièmes et quatrièmes décades.

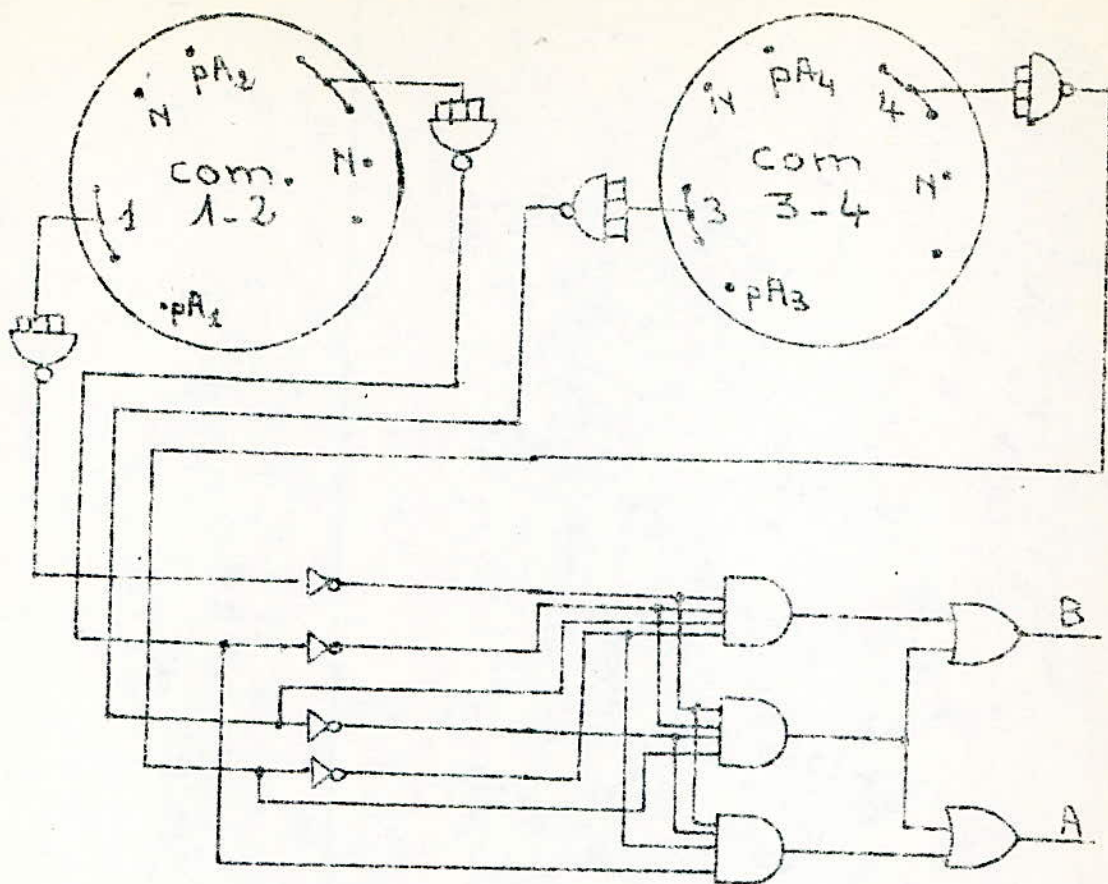


Figure IV-6 : Logique de selection des adresses du multiplexeur.

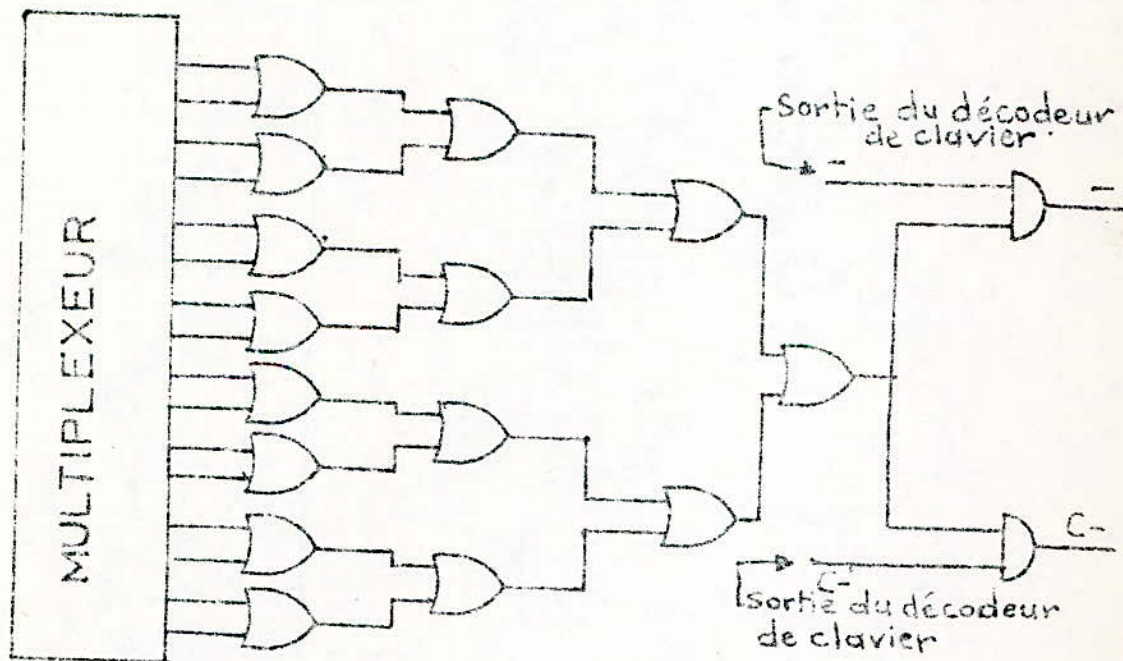


Figure IV-7 : Logique d'autorisation du fonctionnement du système en modes (-) et (C-).

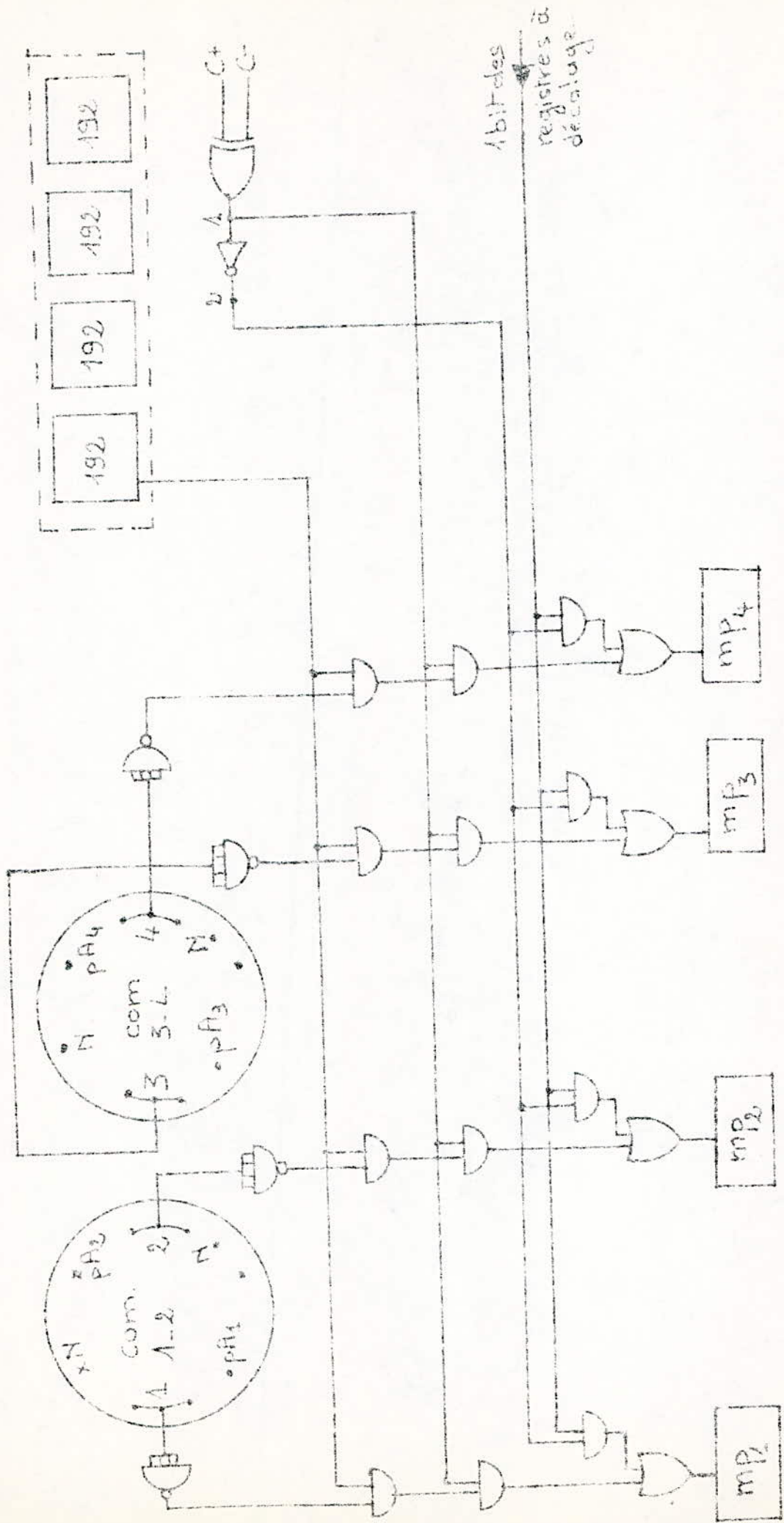


Figure IV - 8 : Logique d'adressage du bloc de préadressage.

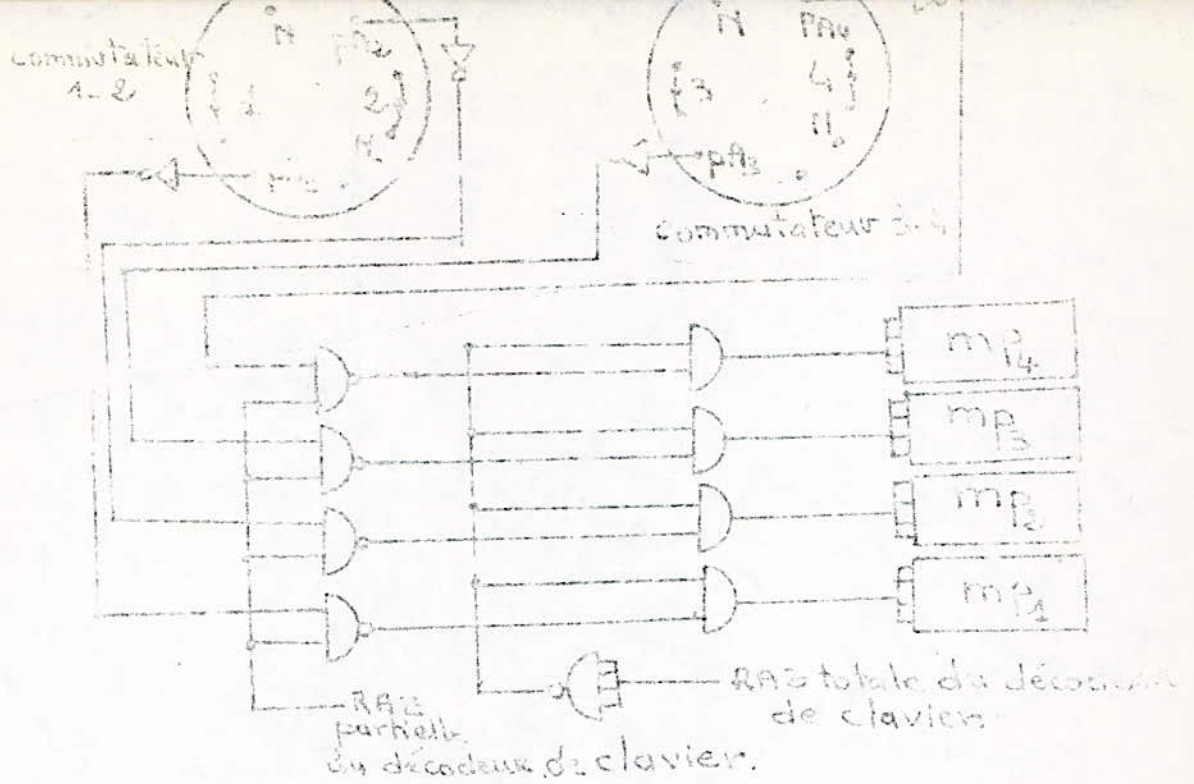


Figure III-19: Logique remise à zéro des unités de fichage.

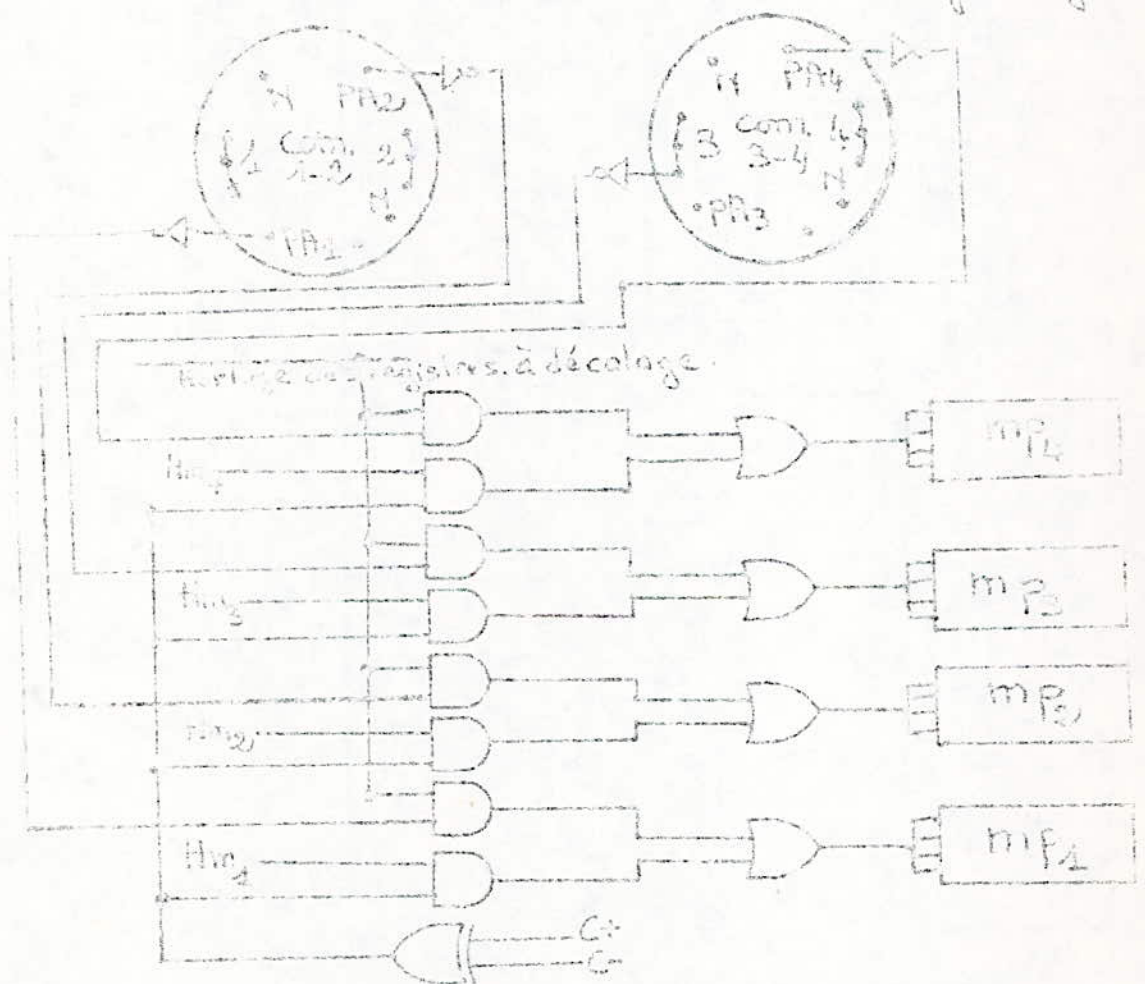


Figure IV-13: Horloges et logique de sélection du préaffichage des mémoires.

Chapitre V

BLOC DE CONTROLE

I) Générateur d'impulsions :

I.1) Déclenchement du générateur:

Les impulsions du générateur sont commandées à partir des touches "start" et Stop".

Quand on appuie sur l'une de ces deux touches l'impulsion correspondante est mémorisée par une bascule JK.

L'entrée S (Pre^e) est reliée à la touche "Start"

L'entrée R (clear) est reliée à la touche "Stop"

Nous utilisons une bascule JK du circuit intégré SN 7476.

La table de vérité de ce circuit est rappelé sur la fig. V.1.

I.2.) Branchement du générateur :

I.2.1) Schéma de connexion :

Les impulsions sont générées à partir d'un multivibrateur SN 74 123 dont le Schéma de connexion est indiquée sur la figure V.4.

I.2.2) Calcul de la valeur de R relative à chaque fréquence :

Comme nous avons vu dans le 1^e tome, les fréquences demandées pour le fonctionnement du générateur sont:

- $f_1 = 24 \text{ Hz}$ correspondant à 60 tours/mn (vitesse max des moteurs)
- $f_2 = 16 \text{ Hz}$ " à 40 tours/mn (vitesse de fonctionnement rapide)
- $f_3 = 8 \text{ Hz}$ " à 20 tours/mn (vitesse de fonctionnement lent)
- $f_4 = 4 \text{ Hz}$ " à 10 tours/mn (vitesse min des moteurs)

Le circuit RC détermine la fréquence suivant la formule:

$$t = 0,28 RC \left(1 + \frac{0,7}{R} \right) \text{ pour le SN 74 123}$$

où t est la durée de l'impulsion.

Nous prendrons le même circuit R ext, C_{ext} pour les 2 monostables. L'association des 2 impulsions donne la période des impulsions d'horloge (voir chronogramme du générateur fig V.5).

Pour obtenir les différentes fréquences, nous calculerons les valeurs de résistances correspondantes en fixant la valeur de capacité à C = 10 μF.

Calcul de R :

$$t = t_1 + t_2 = 0,28 RC \left(1 + \frac{0,7}{R} \right) = \frac{T}{2} \implies T = \frac{1}{f} = 2t$$

$$T = 0,56 RC \left(1 + \frac{0,7}{R} \right) = 0,56 RC + 0,56 \times 0,7 C = 0,56 RC + 0,4 C$$

Fig. 1: Table de vérité d'une bascule JK d'un circuit intégré SN7476.

Preset	Clear	H	J	K	Q
0	1	0	0	0	1
1	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	état initial
1	1	1	0	0	invalide
1	1	1	1	0	1
1	1	1	0	1	0
1	1	1	1	1	Changement d'état

Fig. 2: Schéma de connexion du générateur

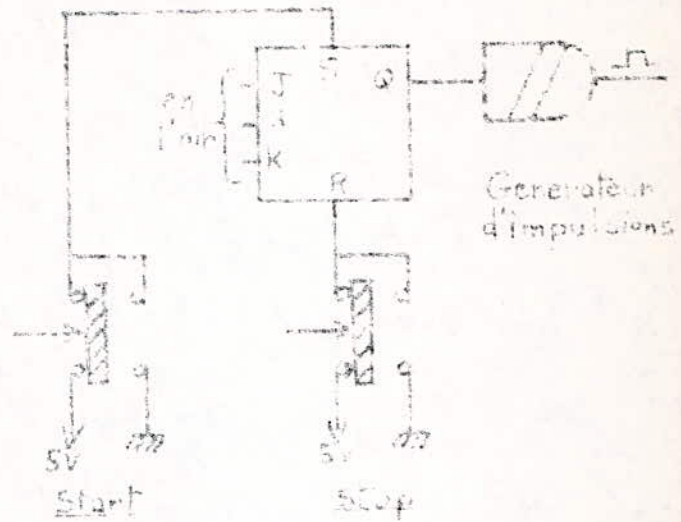


Fig. 3: Table de vérité monostable SN74123

Entrées:		Sorties:		
Leak	A	B	Q	\bar{Q}
0	0	0	0	1
0	1	0	0	1
0	0	0	0	1
1	0	1	1	0
1	1	1	1	0
1	0	1	1	0

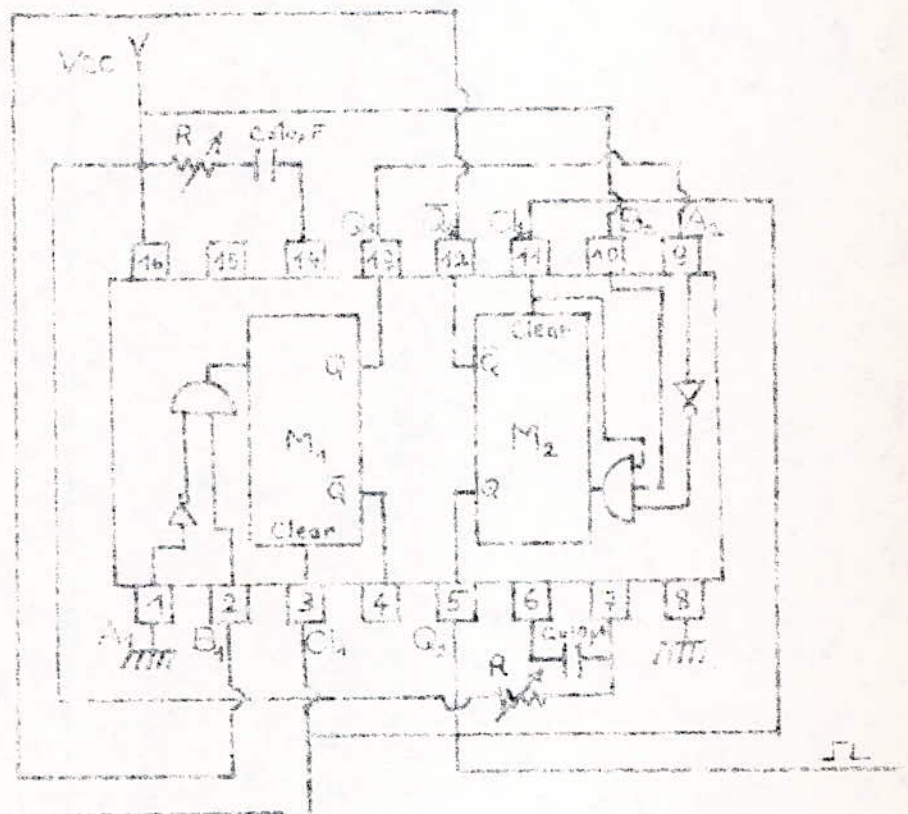


Fig. 4: Schéma de connexion au générateur

Fig. 5: Chronogramme du générateur d'impulsions

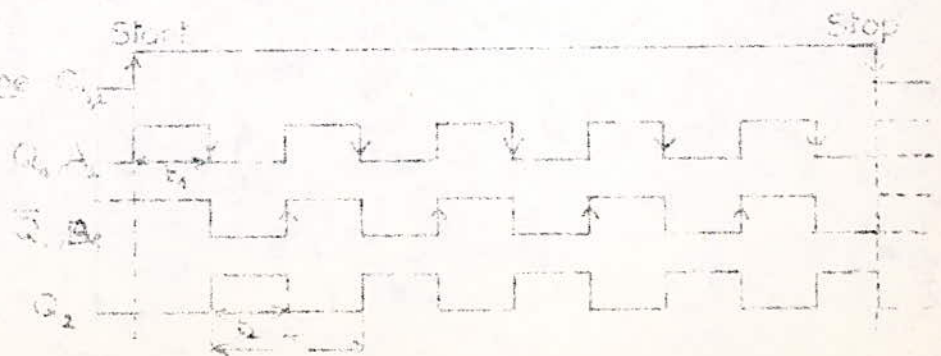


Table de vérité de la bascule R.S:

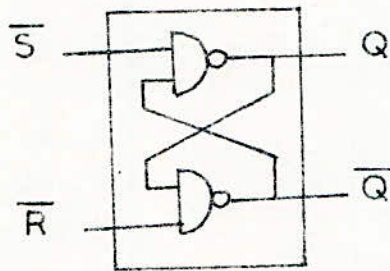
S	R	Q	Q _t
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	∅
1	1	1	∅

S	R	Q
0	∅	S ₀
∅	0	S ₁
0	1	T ₀
1	0	T ₁
1	1	∅

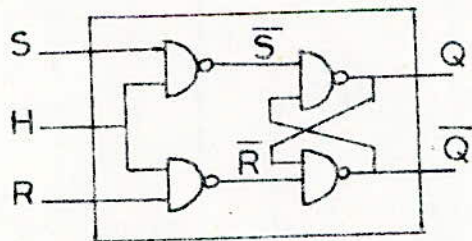
∅ : état indifférent
 S₀ : état stable à zéro
 S₁ : état stable à 1
 T₀ : transition à 0
 T₁ : transition à 1.

Conception de la bascule RS:

bascule RS asynchrone:



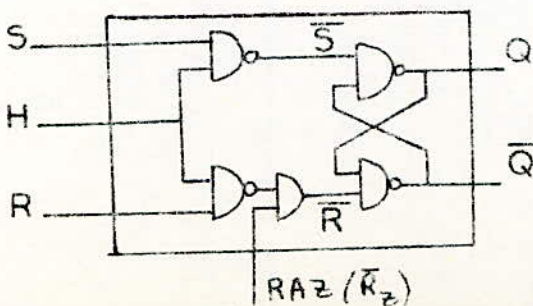
bascule RS synchrone:



$$\bar{S} = \overline{S \cdot H}$$

$$\bar{R} = \overline{R \cdot H}$$

bascule RS synchrone avec remise à 0 de forçage:



$$\bar{S} = \overline{S \cdot H}$$

$$\bar{R} = \overline{R \cdot H + R_z} = \overline{R \cdot H} \cdot \bar{R}_z$$

$$R = \frac{T - 0,4c}{0,56c}$$

c = 10 F, le terme 0,4c est donc négligeable devant T, vu qu'on est en basse fréquence (24 Hz maximum). Test donc grand (41 ms)

Donc $R = \frac{T}{0,56c}$

Pour les 4 fréquences choisies, les valeurs de R ainsi calculées sont indiquées sur le tableau ci-dessous:

f(hz)	T(ms)	R(K)
24	41	7,3
16	62	11,07
8	125	22,32
4	250	44,64

Dans la pratique, nous prendrons des valeurs de R normalisées se rapprochant le plus de ces valeurs.

Pour obtenir les différentes fréquences, les résistances doivent être placées de telle sorte qu'on puisse en sélectionner une à chaque fréquence.

Pour éliminer les parasites éventuels, ces résistances sont découplées par des capacités.

Les résistances sont branchées sur le générateur d'impulsions suivant le schéma de la fig V.6

I.3/Autorisation des impulsions du générateur:

Pour autoriser les impulsions du générateur à aller vers le translateur et le compteur/Décompteur, il faudra donner l'instruction à partir des touches +, -, C+, C-.

I.3.1/Cas des touches + et -.

Le système ne doit fonctionner que si la sortie "A=B du comparateur est égale à 0. Il est ainsi tant que l'affichage n'est pas égal au préaffichage.

ces 2 touches étant destinées à un fonctionnement automatique on n'appuie qu'une seule fois sur l'une ou l'autre de ces touches. Il faudra donc prévoir des bascules J K pour mémoriser l'instruction tout comme pour les touches "Start" et "Stop".

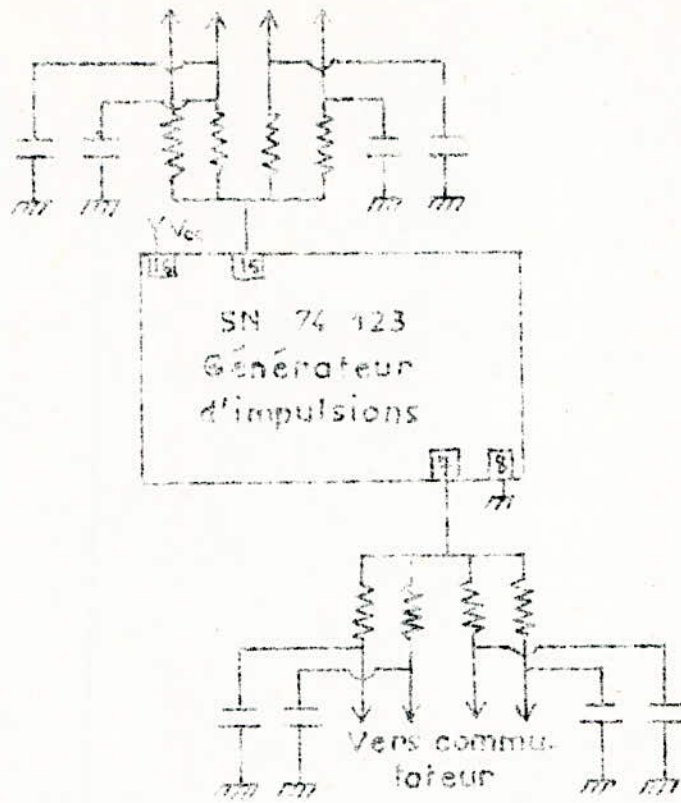


Fig V.4 bis: Schéma de connexions des résistances du générateur

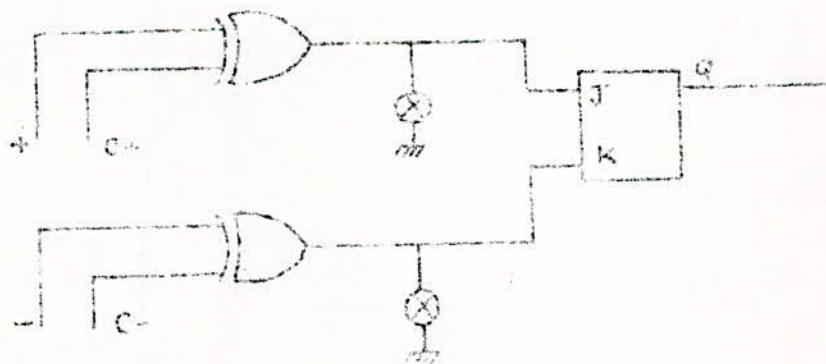


Fig V.7 : Logique de commande du sens de rotation.

On branche les entrées J et K des 2 bascules de telle sorte que les 2 modes (+ et -) ne puissent pas fonctionner en même temps.

L'un ou l'autre des deux modes ne fonctionne que si l'affichage et le préaffichage ne sont pas égaux (sortie du comparateur à 0).

Le comparateur sera étudié dans le chapitre suivant.

Le branchement de ces 2 bascules sera effectué conformément au schéma de la fig. V.8.

I.3.2 / Cas des touches C + et C - :

Dans ce cas le système fonctionne en mode continu. Ce mode consiste à garder la touche appuyée pendant toute la durée de fonctionnement du système.

Il n'est donc pas nécessaire de mettre des bascules.

Pour déclencher le système en mode continu, il faut que l'affichage soit déjà égal au préaffichage. La sortie du comparateur doit être égal à 1.

Cette étude nous amène à faire une logique d'autorisation des impulsions dont la table de vérité et le Schéma logique sont rappelés sur la fig V.8.

I.3.3 / Commande du sens de rotation :

Le sens de rotation est déterminé par les instructions des touches.

- Le sens direct (sens des aiguilles d'une montre) est obtenu en appuyant sur "+" ou "C+".

- Le sens inverse est obtenu en appuyant sur "-" ou "C-".

Il est visualisé par deux "LED" dont l'une s'allume quand le moteur tourne dans le sens positif et l'autre s'allume quand le moteur tourne dans le sens négatif.

La logique de commande du sens de rotation est représentée sur la fig V.7.

II / Compteur/Décompteur et comparateur:

II.1/Choix du compteur/Décompteur: (notation C/D)

Il a pour but de compter ou de décompter le nombre de pas que fait le moteur en fonctionnement (le moteur sélectionné parmi les 4) suivant qu'il tourne dans un sens ou dans l'autre.

Dans le cas du Van de Graaff, les selsyns peuvent aller jusqu'à 100 tours au maximum. Ce qui correspond, pour les moteurs pas à pas, à un maximum de $100 \times 24 = 2400$ pas.

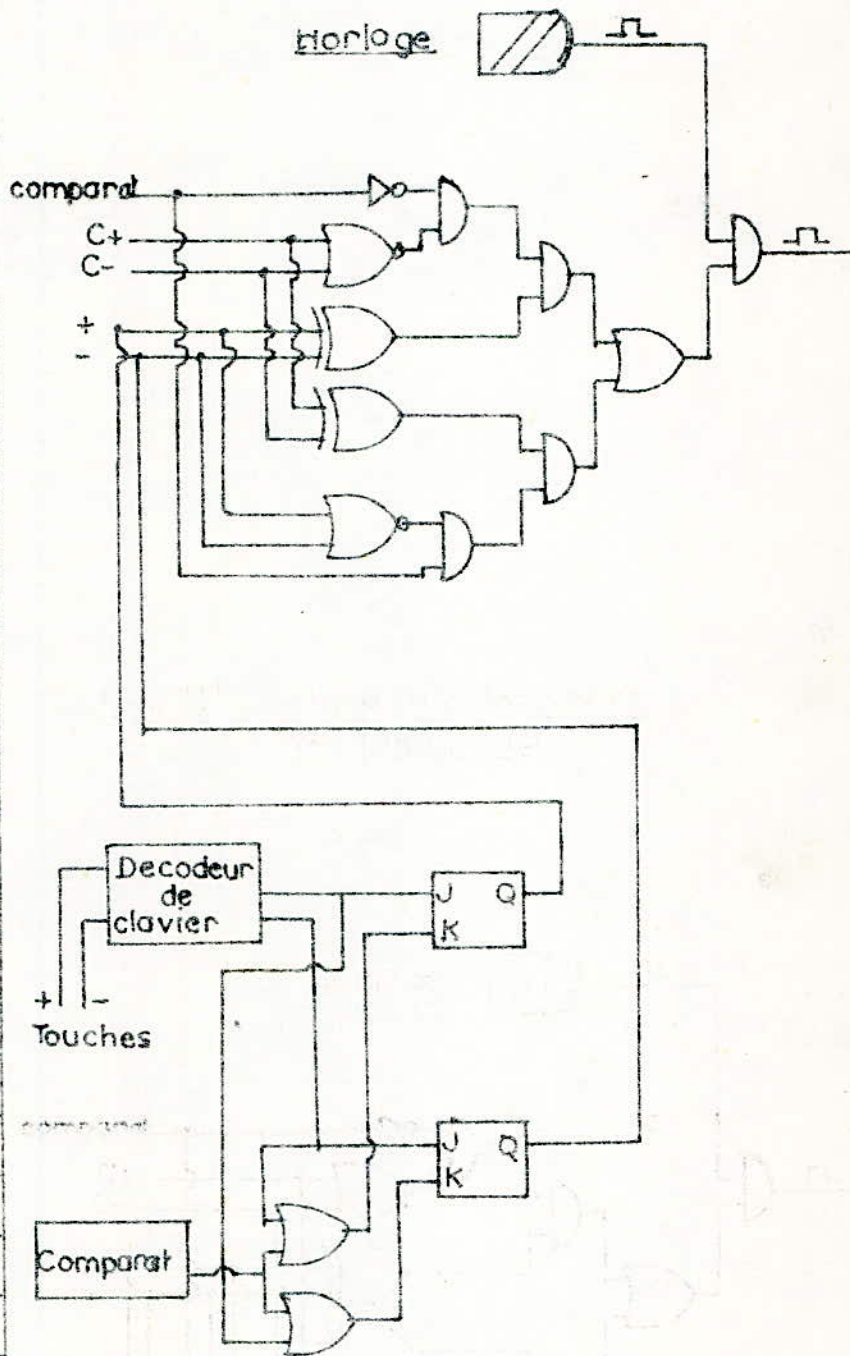
La capacité (en bits) du C/D est déduite de cette valeur. Il doit donc compter jusqu'à 2400 au minimum.

Pour réaliser ceci, 2 possibilités se présentent: soit travailler en binaire pur, soit en BCD.

1°) C/D binaire pur : (par exemple le SN 74 193, 4 bits). 2400 étant compris entre 2^{11} et 2^{12} , nous devons prendre 12 bits max. Pour écrire ce nombre, un ensemble de 3 circuits SN 74 193 de 4 bits chacun sera nécessaire.

Comp	C+	C-	+	-	Sortie
A	B	C	D	E	S
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	1	1
0	0	0	1	0	1
0	0	0	1	1	0
0	0	1	0	0	0
0	0	1	0	1	0
0	0	1	1	0	0
0	0	1	1	1	0
0	1	0	0	0	0
0	1	0	0	1	0
0	1	0	1	0	0
0	1	0	1	1	0
0	1	1	0	0	0
0	1	1	0	1	0
0	1	1	1	0	0
0	1	1	1	1	0
1	0	0	0	0	0
1	0	0	0	1	0
1	0	0	1	0	0
1	0	0	1	1	0
1	0	1	0	0	1
1	0	1	0	1	0
1	0	1	1	0	0
1	0	1	1	1	0
1	1	0	0	0	1
1	1	0	0	1	0
1	1	0	1	0	0
1	1	0	1	1	0
1	1	1	0	0	0
1	1	1	0	1	0
1	1	1	1	0	0
1	1	1	1	1	0

fig.V.8 : Logique d'autorisation des impulsions



Nous réaliserons ainsi un C/D binaire 12 bits;

Inconvénient :

Ce choix de C/D nécessitera l'emploi de décodeur binaire pur en BCD, pour pouvoir, au niveau des afficheurs, decoder le BCD en décimal.

Nous serons donc amené de ce fait à utiliser un décodeur 4 bits pour chaque circuit intégré.

Pour chaque moteur, nous aurons besoin de 3 afficheurs pour l'affichage e et 3 autres pour le préaffichage avec un décodeur pour chaque afficheur.

Pour les 4 moteurs, nous avons donc besoin de 24 décodeurs.

Pour éviter l'emploi de tous ces décodeurs, nous préférons travailler en BCD.

2°) Un C/D décimal codé binaire (BCD): (par exemple le SN 74192, 4 bits) on doit prendre dans ce cas, 4 SN 74192 donc 16 bits. Ce qui nous fait une capacité totale de $9 + 9 \times 10 + 9 \times 10^2 + 9 \times 10^3 = 9999$.

Nous n'aurons plus alors à utiliser de décodeurs et le BCD sera donc un décodeur décimal BCD. On aura ainsi 6 entrées du décodeur libres, qu'on utilisera pour d'autres fonctions.

Dans notre cas, nous avons utiliser ces 6 entrées pour les touches +, C+, -, C -, RAZ partiel, RAZ total. On réalise ainsi un clavier, avec son décodeur en u en utilisant 16 touches.

Ceci n'aurait pas été réalisable avec le binaire pur, car on aurait eu besoin des 16 entrées du décodeur de clavier pour decoder les chiffres de 0 à 15 avec un clavier de 10 touches (0 à 9).

L'emploi du C/D BCD 16 bits, nécessite en conséquence l'utilisation de 4 comparateurs 4 bits SN 7485 ainsi que 4 mémoires SN 74175 pour chaque moteur

Le schéma de principe de cablage de l'ensemble C/D et comparateur est représenté sur la fig V.9.

II.2) Comparateur:

Il a pour rôle de comparer la valeur affichée (le nombre de pas qu'a fait le moteur) à la valeur préaffichée (nombre de pas qu'on veut atteindre).

La sortie (A = B) du compteur est à zéro tant que les 2 nombres ne sont pas égaux et les impulsions du générateur parviennent toujours au C/D et au translateur.

Quand les 2 nombres sont égaux, la sortie (A = B) est à 1 et les impulsions ne sont plus reçues par le translateur et le C/D.

Pour permettre aux impulsions du générateur, d'accéder au système de fonctionnement des moteurs (translateur et Compteur/Decompteur), une logique de sécurité a été prévue qu'on a appelé logique d'autorisation des impulsions (réf: V.I.3). Elle est commandée à partir des touches +, -, C+, C- et de la sortie du du comparateur de telle sorte que même si le générateur d'impulsions est déclenché, le système ne fonctionne que si on donne les instructions précitées (+, -, ... etc)

La sortie du comparateur permet l'arrêt automatique.

II.3/ Logique de commande du compteur/Decompteur:

II.3.1./ Commande des entrées "up" et "down" commandent le comptage ou le décomptage.

Comptage (commande de "+" ou "C+"):

Quand l'entrée "up" reçoit les impulsions d'horloge, l'entrée "down" doit être à 1.

Decomptage (commande de "-" ou "C-"):

Quand l'entrée "down" reçoit les impulsions d'horloge, l'entrée "up" doit être à 1.

Pour répondre au chronogramme relatif à ce C/D (chapitre II) nous sommes amenés à faire une logique à partir des touches +, -, C+, C- et de l'horloge (impulsion du générateur).

Ces impulsions parviennent en même temps au C/D et au translateur, donc à l'alimentation du moteur sélectionné.

Le C/D compte ou décompte au même rythme que la rotation du moteur.

Le diagramme logique de cette commande est donné fig V.10.

II.3.2/ Remise à zéro et initialisation du C/D:

a) Remise à zéro :

Pour pouvoir remettre à zéro le C/D, soit au démarrage de l'appareil, soit lorsqu'on passe d'un moteur à un autre, il faut commander l'entrée "clear" à partir de la touche "RAZ total" dans le premier cas, ou bien à partir de la position neutre des commutateurs, dans le 2^e cas.

Ceci est prévu par une logique (fig V.11)

b) Initialisation :

Quand on met en fonctionnement un certain moteur, en le connectant par le commutateur sur l'alimentation, il faudra l'initialiser à la valeur affichée préalablement (valeur gardée en mémoire qui indique la position absolue du moteur).

Ainsi le moteur démarre, à partir de cette position, soit dans un sens soit dans l'autre suivant l'instruction donnée.

Le C/D continue le comptage ou le décomptage, à partir de cette valeur.

II.3.3/ Commande de l'entrée "load" du C/D :

Cette entrée autorise le passage du contenu des entrées A, B, C, D aux Sorties Q_A, Q_B, Q_C, Q_D , du C/D. Elle permet donc l'initialisation du C/D.

Elle est commandée à partir de la touche "Start" à travers un inverseur (fig V.12).

En passant sur la position neutre du commutateur, une logique permet l'arrêt du générateur d'impulsions.

Pour pouvoir mettre en fonctionnement le moteur suivant, après commutation, on doit réappuyer sur "Start" qui agit sur "load". Ceci permet l'initialisation du C/D puis la mise en fonctionnement du système.

16 entrées des multiplexeurs
d'affichage pour initialisation du C/D

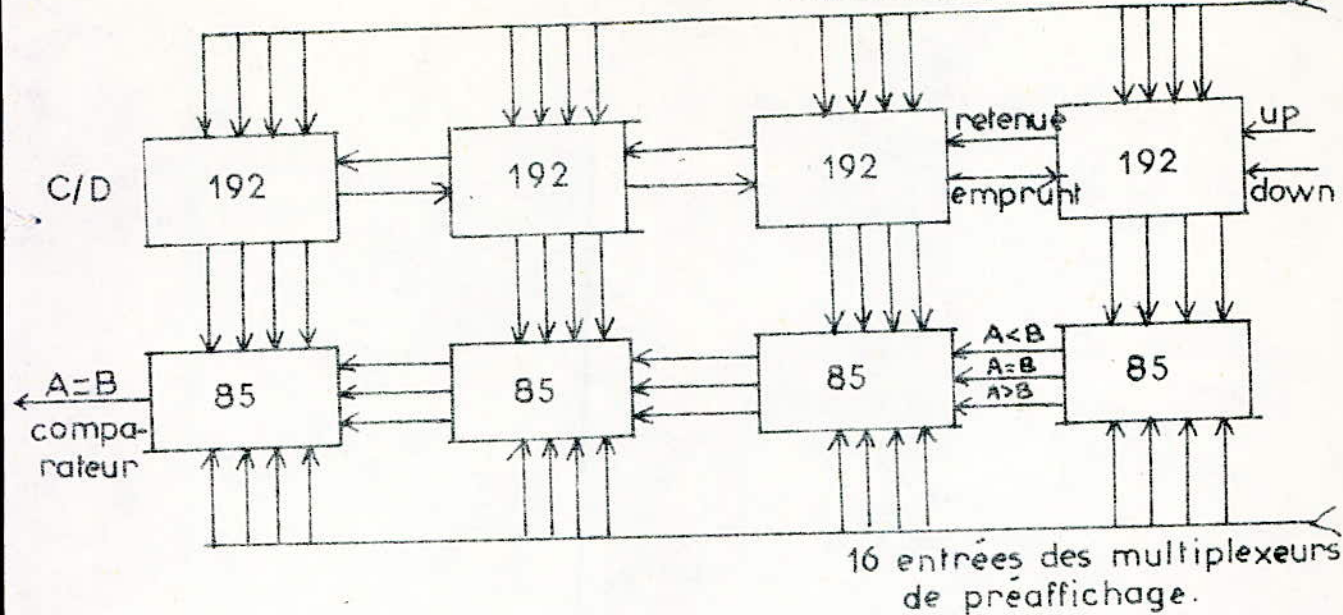


fig.V.7: Schéma du principe de câblage de l'ensemble
C/D et comparateur

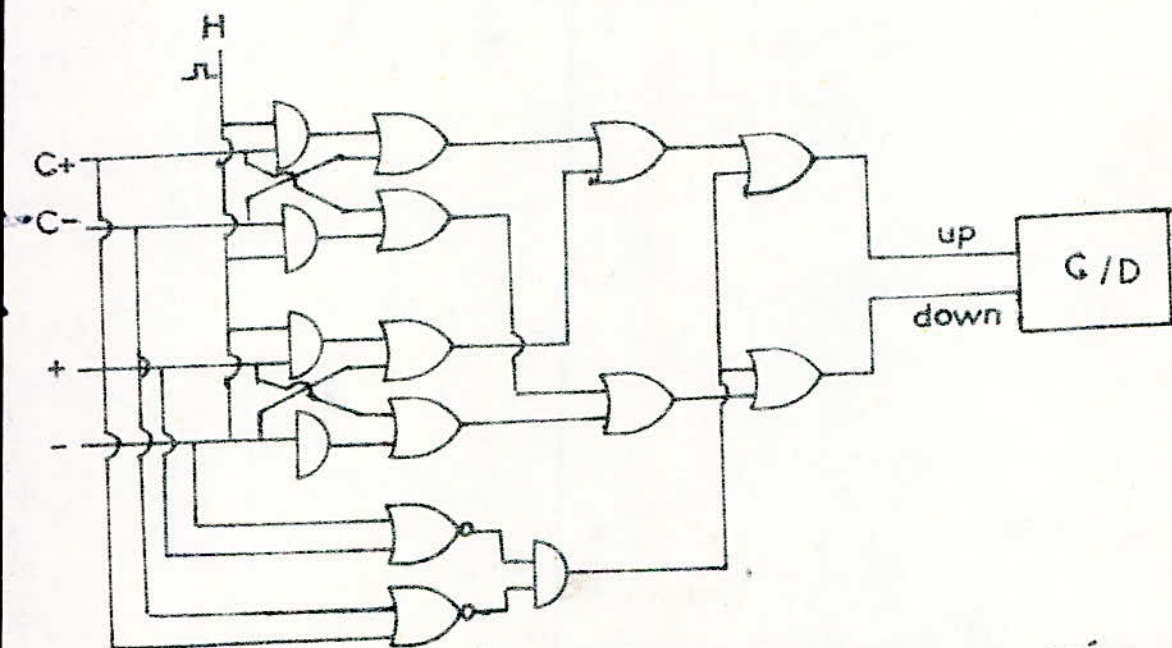


fig.V.8: Logique de commande du compteur/décompteur

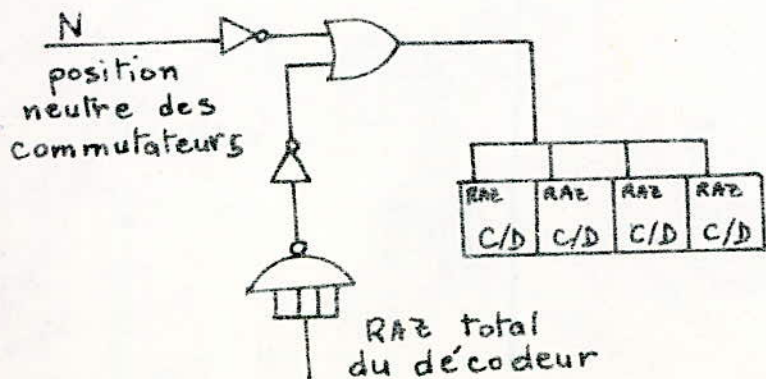


fig.V.9: Logique de remise à zéro
des C/D

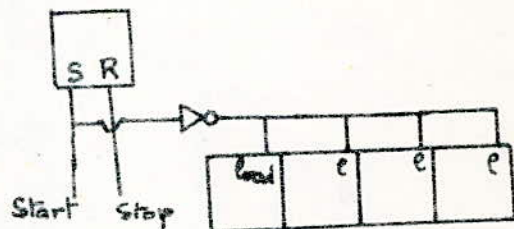


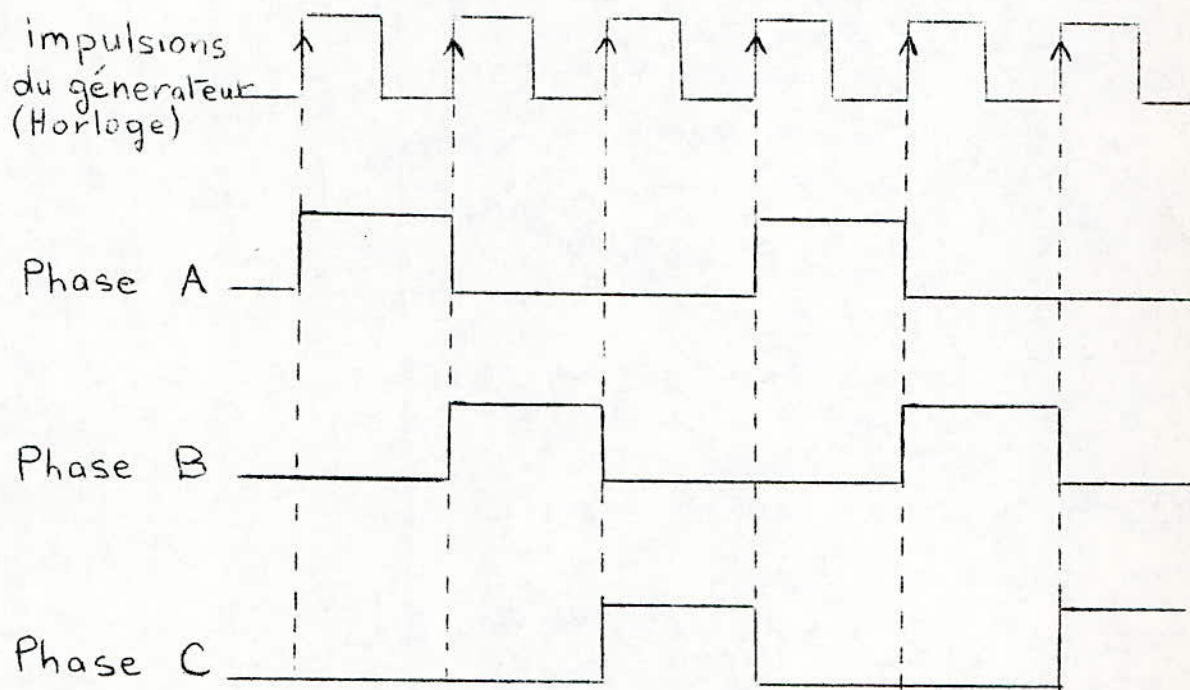
fig.V.10: commande de
l'entrée "Load"

III / Translateur :

Il a pour but de transmettre les impulsions du générateur aux différents enroulements statoriques du moteur suivant leur mode d'excitation .

Les quatre moteurs choisis sont des moteurs à 3 phases dont les enroulements statistiques sont excités phases après phase .

Le chronogramme correspondant est :

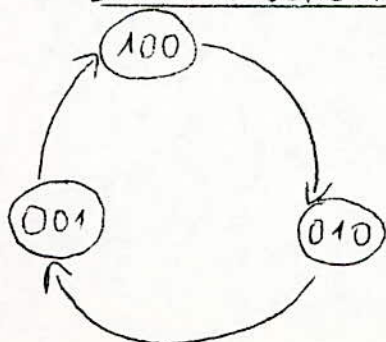


On a donc :

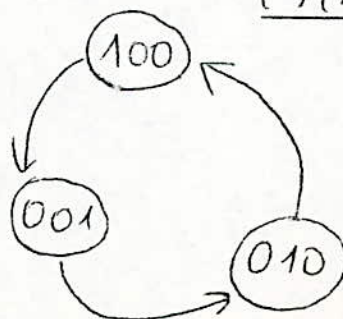
au 1e top d'horloge	A = 1	B = 0	C = 0	(1, 0, 0,)
2e top d'horloge	A = 0	B = 1	C = 0	(0, 1, 0)
3e top d'horloge	A = 0	B = 0	C = 1	(0, 0, 1)

D'où la séquence :

Dans le sens direct de rotation :
(+) (X = 1)



Dans le sens inverse :
(-) (X = 0)



Dans le sens direct de rotation (4) ($X=1$); dans le sens inverse (-) ($X=0$).

Cette séquence permet de tracer une table des états temporaires des différentes phases, dans les deux sens de rotation.

Table des états :

Sens de rotation direct $X = 1$:

Sens de rotation inverse $X = 0$

Sens de rotation	état présent			état futur		
	X	A	B	C	A	B
1	1	0	0	0	1	0
0	0	1	0	0	0	1
1	0	0	1	1	0	0

Sens de rotation	état présent			état futur		
	X	A	B	C	A	B
0	1	0	0	0	1	0
0	0	1	0	0	0	1
0	0	0	1	1	0	0

Pour pouvoir répartir correctement les impulsions sur les 3 phases suivant le chronogramme donné, nous devons utiliser des bascules.

Pour plus de commodité, nous utilisons des bascules R S plutôt que des bascules J K. Celles ci ont l'inconvénient de supporter mal les signaux parasites. Il est évident que l'étage de puissance alimentant le moteur sera la principale source de tels signaux.

Le branchement des entrées et sorties des différentes bascules est donné par des tableaux de Karnaugh déduit de la table des états (fig V. 14)

Nous rappelons auparavant la table de vérité d'une bascule R S sur la figure V. 13.

Le circuit logique du translateur doit comprendre des bascules R S synchrones avec R A Z de forçage pour permettre l'initialisation à zéro au démarrage du système. Nous rappelons sur la fig V 11, la représentation de la bascule R S, R S synchrone et R S synchrone avec forçage.

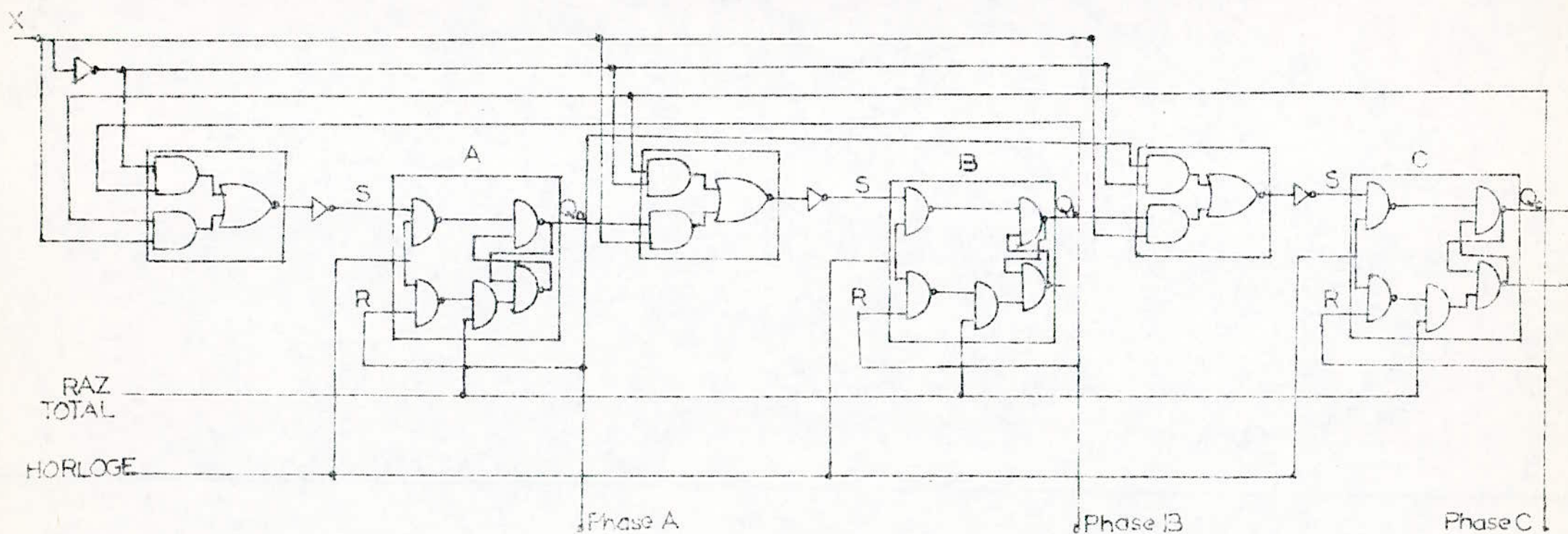


FIG. V.13: CIRCUIT LOGIQUE DU TRANSLATEUR

Composants utilisés:

- 2 SN 7451
- 3 SN 7400
- 1 SN 7408
- 1 SN 7404

TABLEAUX DE KARNAUGH :

BASCULE A :

CX \ AB	00	01	11	10
00	∅	∅	T ₁	S ₀
01	T ₁	S ₀	∅	∅
11	∅	∅	∅	∅
10	T ₀	T ₀	∅	∅

CX \ AB	00	01	11	10
00	∅	∅	1	0
01	1	0	∅	∅
11	∅	∅	∅	∅
10	0	0	∅	∅

CX \ AB	00	01	11	10
00	∅	∅	0	∅
01	0	∅	∅	∅
11	∅	∅	∅	∅
10	1	1	∅	∅

A

$$S_A = CX + B\bar{X}$$

S_A

$$R_A = A$$

R_A

BASCULE B :

CX \ AB	00	01	11	10
00	∅	∅	S ₀	T ₁
01	T ₀	T ₀	∅	∅
11	∅	∅	∅	∅
10	S ₀	T ₁	∅	∅

CX \ AB	00	01	11	10
00	∅	∅	0	1
01	0	0	∅	∅
11	∅	∅	∅	∅
10	0	1	∅	∅

CX \ AB	00	01	11	10
00	∅	∅	∅	∅
01	1	1	∅	∅
11	∅	∅	∅	∅
10	∅	∅	∅	∅

B

$$S_B = AX + C\bar{X}$$

S_B

$$R_B = B$$

R_B

BASCULE C :

CX \ AB	00	01	11	10
00	∅	∅	T ₀	T ₀
01	S ₀	T ₁	∅	∅
11	∅	∅	∅	∅
10	T ₁	S ₀	∅	∅

CX \ AB	00	01	11	10
00	∅	∅	0	0
01	0	1	∅	∅
11	∅	∅	∅	∅
10	1	0	∅	∅

CX \ AB	00	01	11	10
00	∅	∅	1	1
01	∅	0	∅	∅
11	∅	∅	∅	∅
10	0	∅	∅	∅

C

$$S_C = BX + A\bar{X}$$

S_C

$$R_C = C$$

R_C

Dans la pratique la bascule R S a été réalisé à partir d'un circuit intégré SN 7400 (Portes NAND à 2 entrées) et d'un SN 7408 (portes AND à 2 entrées) .

Cette étude permet de tracer logique représenté sur la fig V . 15 .

IV / Circuit de freinage :

Nous avons exposé dans le premier tome, l'étude théorique du circuit de freinage ainsi que son rôle dans la commande des moteurs pas à pas .

Intégré dans le système de commande, il permet de freiner le moteur pas à pas avant l'arrêt total de telle sorte qu'il atteigne sa position d'équilibre sans oscillations .

Pour réaliser ce circuit , l'utilisation de deux multivibrations monostables est nécessaire ;

Les impulsions du générateur déclenche le premier monostable qui à son tour déclenche le deuxième , après un certain retard .

La durée de l'impulsion du premier (qui correspond au retard) est calculée de telle sorte que celle du deuxième soit déclenchée après un temps supérieur à la moitié de l'impulsion du générateur .

Le moteur est ainsi freiné juste avant l'arrêt.

La fig . V . 16 donne la distribution des impulsions au cours du temps.

Le circuit de freinage est déclenché à chaque impulsion d'horloge et attaque successivement les phases . Au moment du freinage, le courant est commuté pendant un court instant (durée de l'impulsion de freinage) de la phase alimentée sur la phase précédente.

Le branchement des deux monostables est donné conformément au chronogramme par la fig V . 17 .

La séquence d'alimentation des phases est donnée par le chronogramme (1) dans le sens direct de rotation ($X=1$) et par le chronogramme (2) dans le sens inverse ($X=0$)

Ceci permet de tracer le circuit logique de la fig V . 18 .

Vu les très faibles fréquences choisies pour commander les 4 paramètres de Van de Graaff, l'arrêt des moteurs sans circuit de freinage est atteint sans oscillations. Cependant comme notre système général de commande séquentielle de plusieurs moteurs pas à pas peut éventuellement servir à d'autres applications fonctionnant à fréquences plus élevées, nous avons prévu le câblage du circuit de freinage sur une carte de circuit imprimé .

Le calcul des résistances correspondant aux différentes fréquences des impulsions de freinage n'a pas été fait dans notre application puisqu'on travaille à très faibles fréquences .

Fig. V. Chronogramme du monostable de freinage.

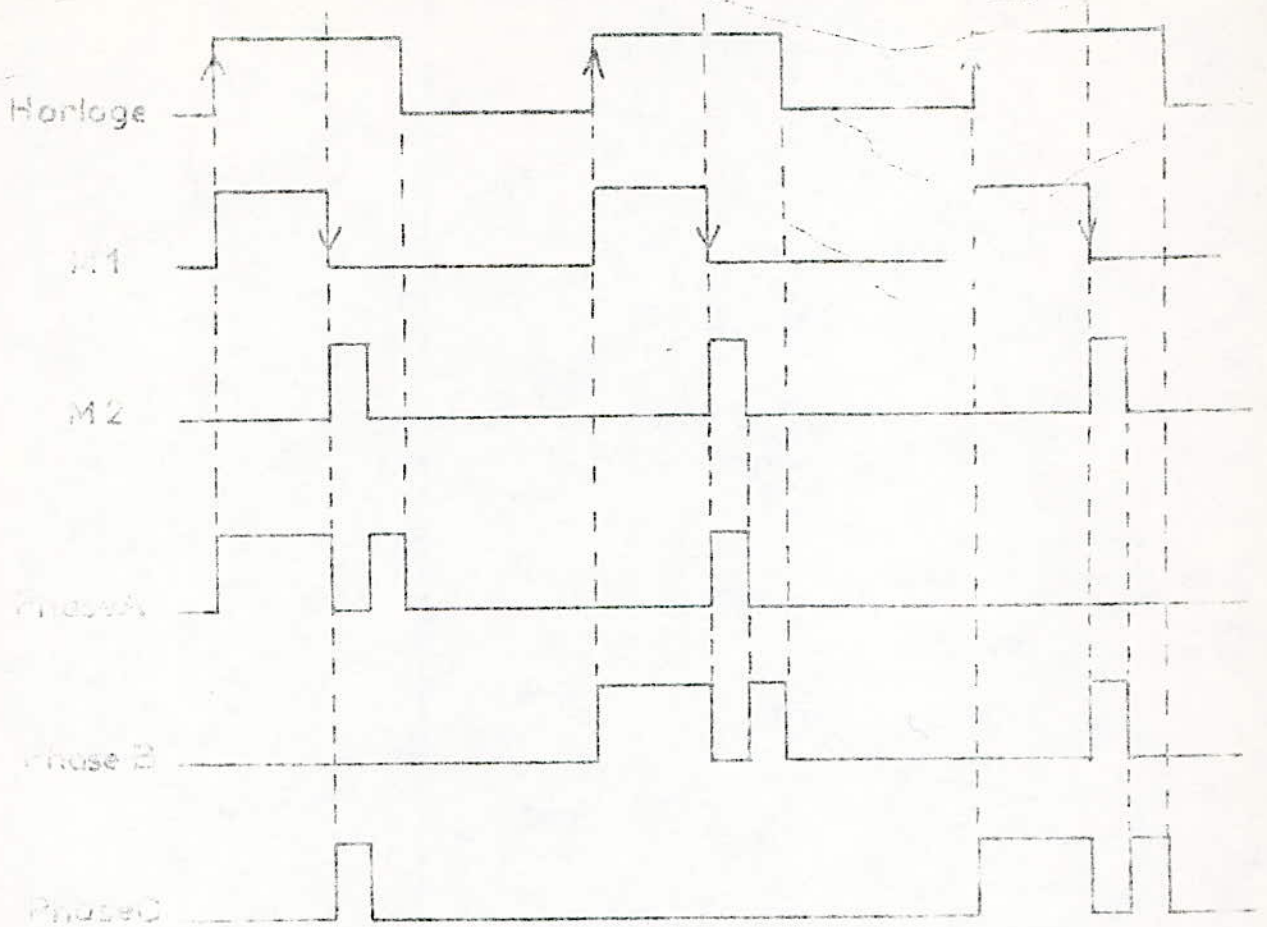


Fig. V. : Schéma de connexions du monostable de freinage.

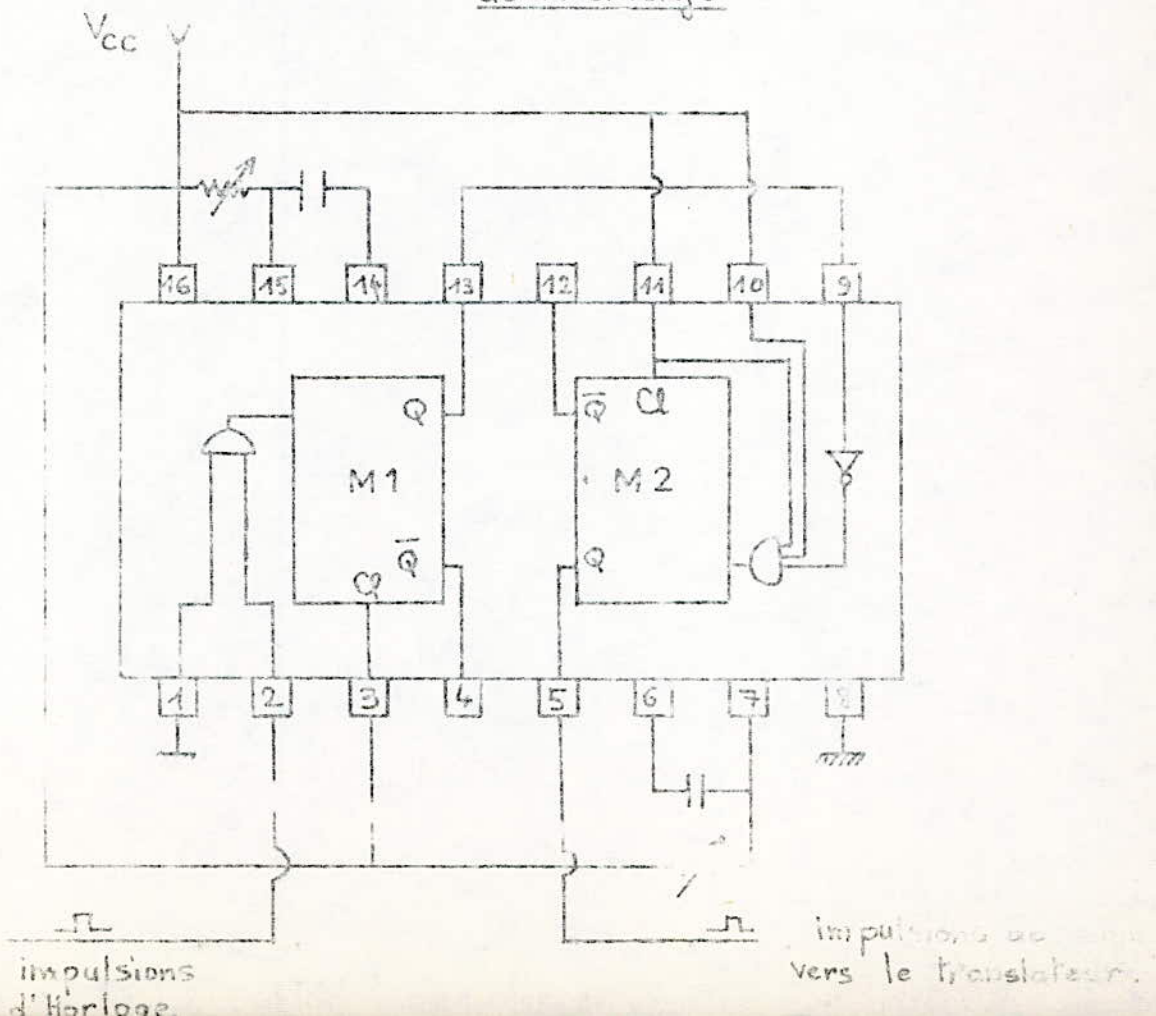
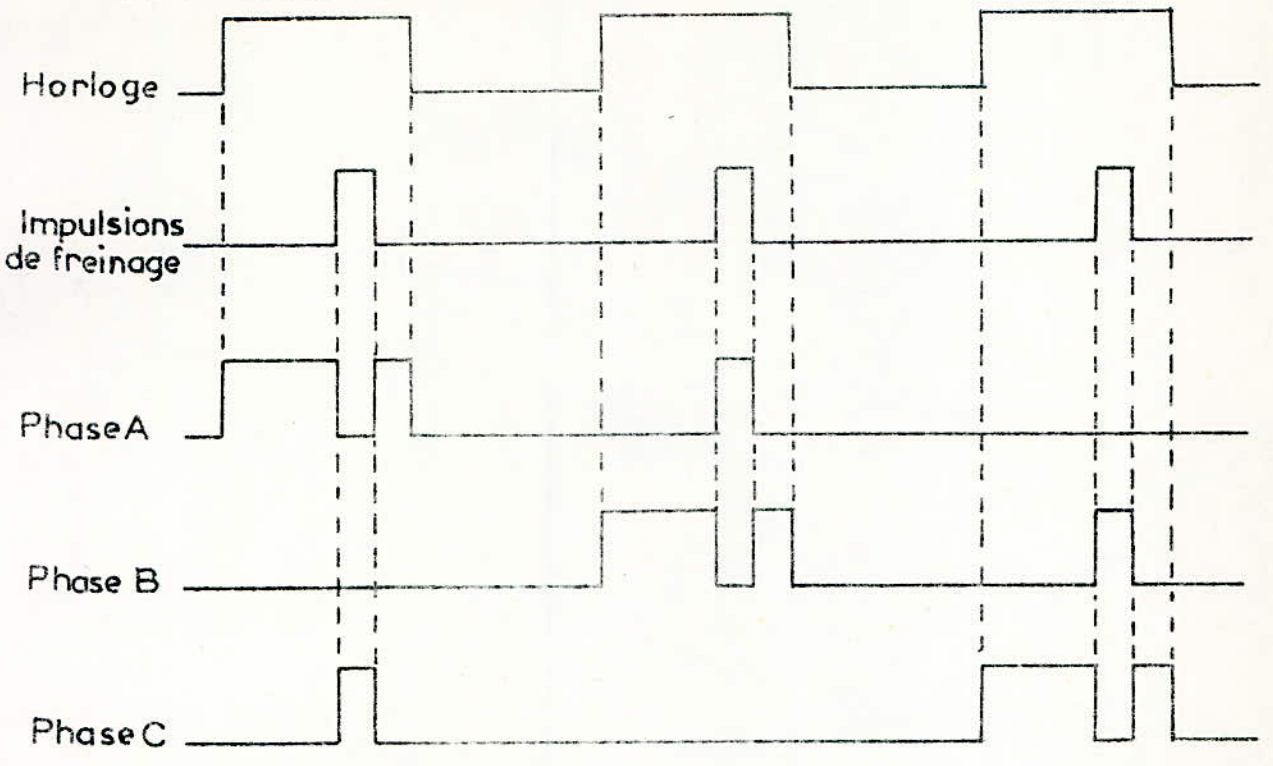
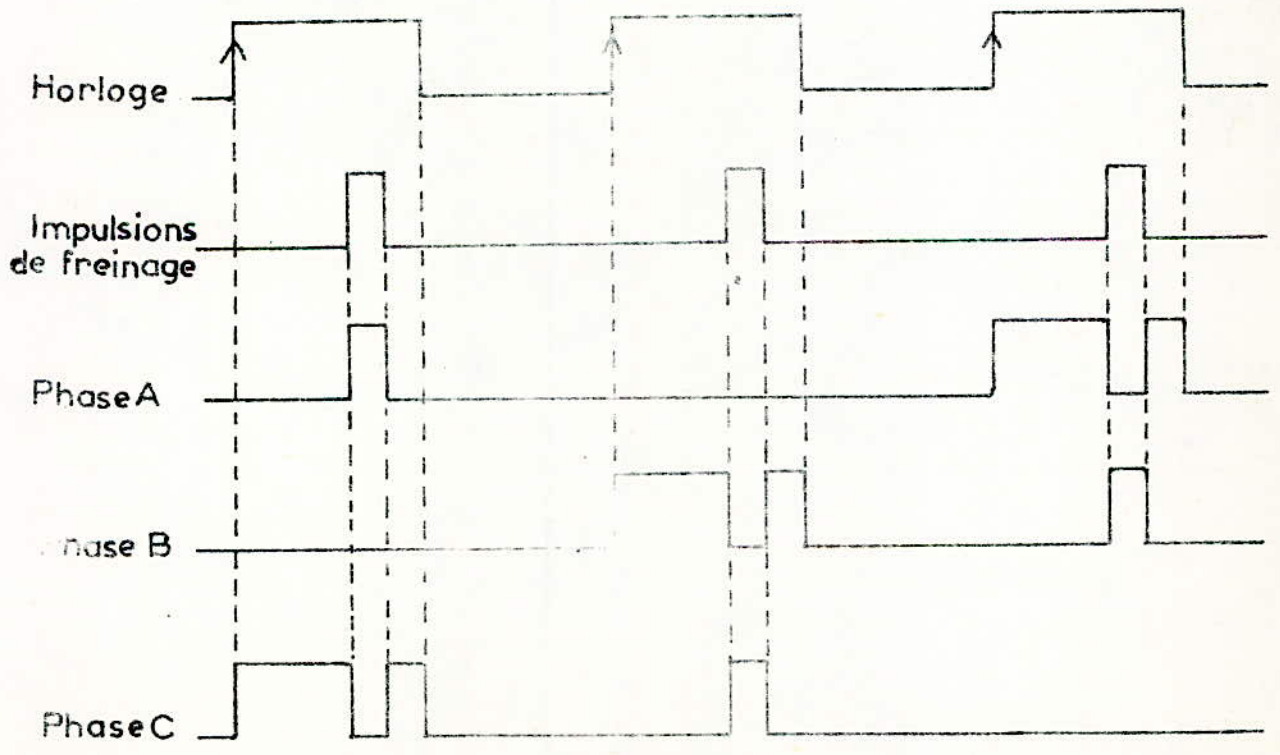


Fig V : Sequence d'alimentation des phases
 ① $X=1$: Sens de rotation direct :



② $X=0$: Sens de rotation inverse :



Dans d'autres application , il sera fait de la même façon que celui du générateur d'impulsions . Les résistances seront branchées de la même façon .

Sur le commutateur , deux résistances du monostable de freinage , correspondant à une même fréquence , seront connectées en parallèle avec les deux résistances du générateur d'impulsion .

Bloc de Puissance

Bien que notre projet ne comporte que l'étude de la partie logique de la commande séquentielle des quatre moteurs pas à pas, nous avons cru bon de donner ici les schémas de principe des alimentations des moteurs.

Le bloc de puissance est constitué de deux étages : un premier comprenant l'amplification de puissance et l'alimentation et un deuxième comprenant le dispositif de sélection des moteurs .

I. Etage de puissance

L'étage de puissance est constitué de trois parties succinctes/ une partie d'amplification , un dispositif d'alimentation en tension à deux niveaux et un élément hacheur .

I- 1 Alimentation à découpage

Nous avons choisi une alimentation à découpage (Hachée) par souci d'amélioration , car elle permet au courant de phase d'approcher la forme idéale d'un créneau.

I-1 - 1 Principe d'une alimentation à découpage

C'est un dispositif qui opère le découpage d'une tension continue

- soit à fréquence variable et temps de conduction réglable
- soit à temps de conduction variable et fréquence réglable

Les coupures ont pour effet , à partir d'une tension continue constante de donner à la sortie une tension continue moyenne de valeur réglable.

Une telle alimentation est donc un véritable transformateur à courant continu abaisseur ou élévateur.

Il existe deux types d'alimentations hachées : alimentation à abaissement de tension ou alimentation à élévation de tension .

Le cas qui nous intéresse ici étant celui des alimentations à abaissement de tension nous n'étudierons que ce dernier.

I- 1 - 1- 1 Principe de l'abaissement de tension: (fig : 1)

L'élément hacheur H est couplé en série ; c'est un interrupteur périodique , en ajoutant un condensateur de lissage de la tension et une inductance L de lissage du courant on améliore le fonctionnement du système.

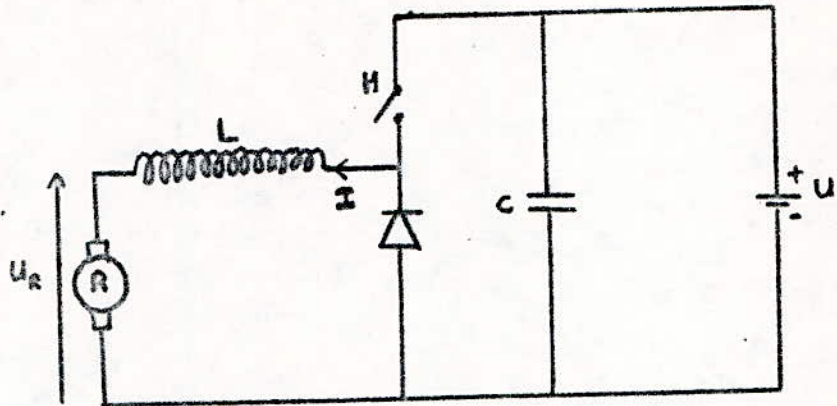


Figure VI.1: schéma de principe d'un hacheur abaisseur de tension

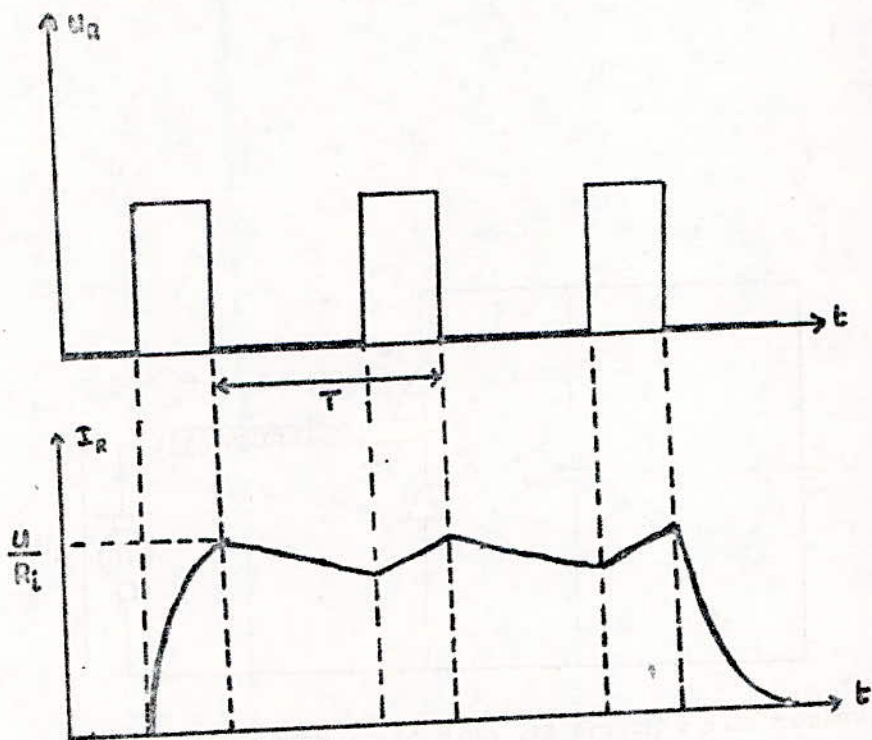


Figure VI.2: forme du courant et de la tension dans le récepteur

(nous verrons plus loin que dans notre cas nous n'utiliseront pas de capacité car nous avons intérêt à avoir des fronts, raides)

Pendant la durée T_0 de conduction de H , le courant dans le récepteur R croît suivant une loi exponentielle (pratiquement linéaire si la constante de temps du circuit L/R est grande), puis pendant la durée d'ouverture $T - T_e$ (T : période de l'interrupteur H), le courant qui circule à travers la diode D dans le circuit LDR décroît de la même façon.

C'est évidemment l'énergie $\frac{1}{2} L I^2$ max emmagasinée dans l'inductance qui se dépense dans le récepteur.

La figure 2 montre, en regard l'un de l'autre, la forme des signaux de tension et de courant.

La tension moyenne U_A peut varier entre zéro et U et le courant moyen entre I_{min} et I_{max} .

I 12: Principe de l'alimentation à découpage Retenu

Le principe de l'alimentation utilisée à était exposé dans le tome I, nous en donnons le fig 3 le schéma et signalons, simplement qu'il s'agit d'un hacheur à abaissement de tension où l'élément hacheur H est le transistor Q_2 .

I - 2 - dispositif d'alimentation à deux niveaux

Le principe d'une alimentation à deux niveaux a également été exposé au tome I ; nous en donnons seulement le schéma dans la figure 4.

I - 3 - étage d'amplification

Nous utilisons pour interface T.T.L. Analogique un simplificateur de puissance (fig 5)

Pour résoudre le problème de gain négatif il suffit de considérer les sorties Q de la logique du lieu de Q ; ainsi lors du déphasage de 180° à la sortie nous retrouvons Q .

Notons que l'attaque est faite en courant pour résoudre le problème d'adaptation.

I - 4 - 1 Interface T.T.L. Analogique

Pour ne pas avoir à utiliser des transistors de grande puissance nous avons divisé l'étage d'amplification de puissance en deux parties conformément à la (fig 6)

La capacité C_0 sert à rendre moins raides les fronts de montée et de descente des impulsions σ de la logique pour permettre aux transistors Q_1 et Q_2 de fonctionner dans leur gamme correcte de fréquence.

Les résistances R_{in} permettent l'attaque en courant.

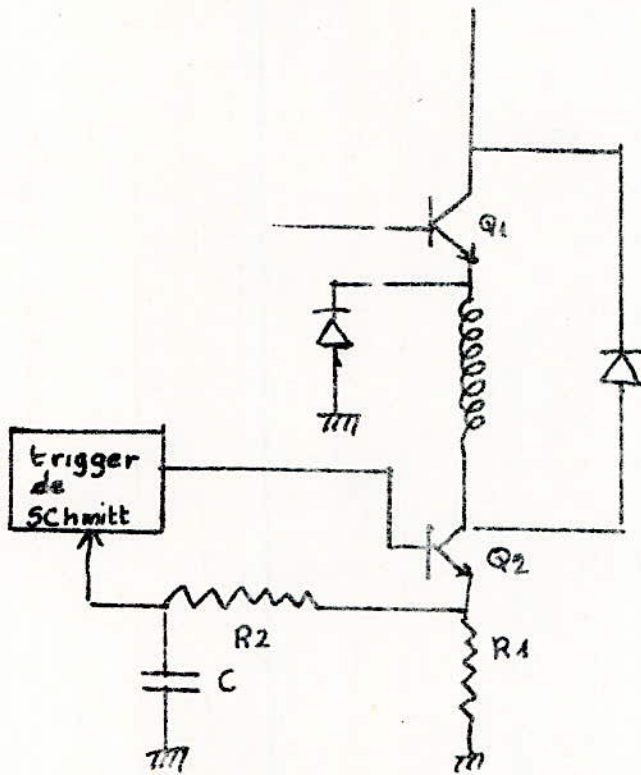


Figure IX.3. schéma de principe d'une alimentation à découpage

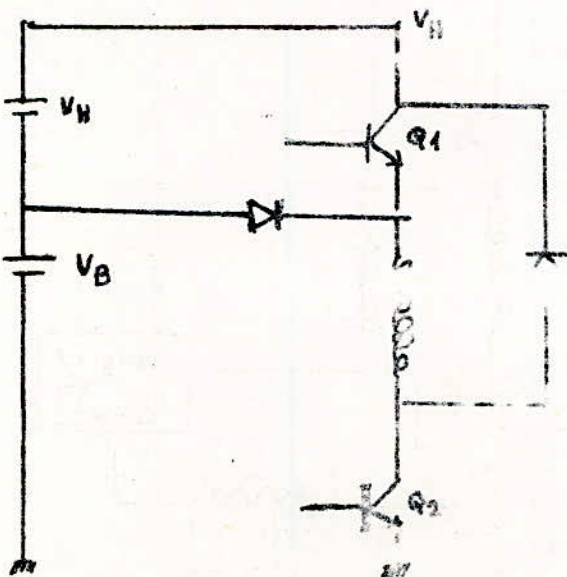


Figure IX.4: schéma de principe d'une alimentation à 2 niveaux

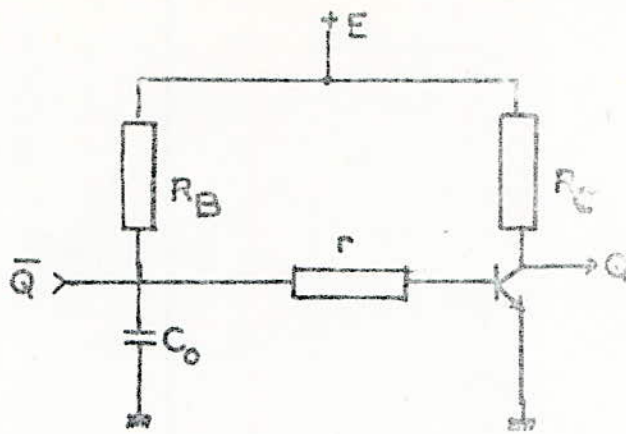


figure III.5: interface TTL - analogique

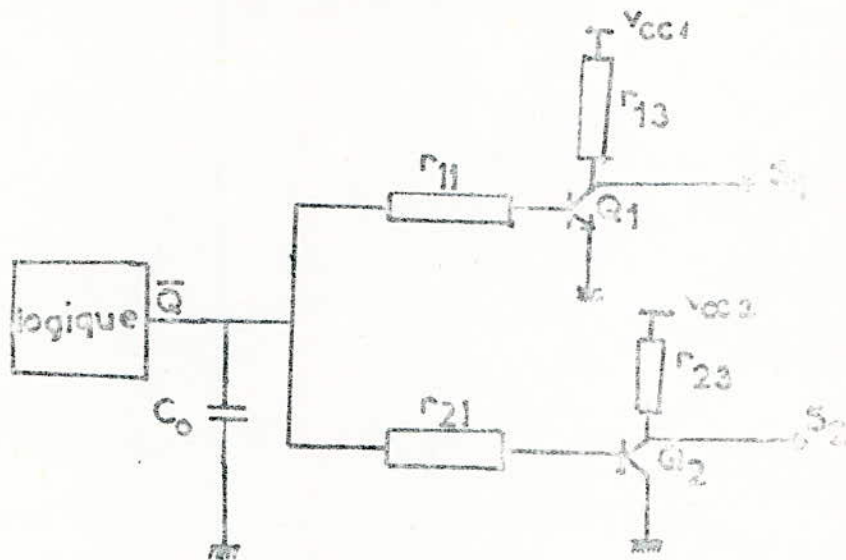


figure IV.6 : schéma adopté pour interface TTL-analogique

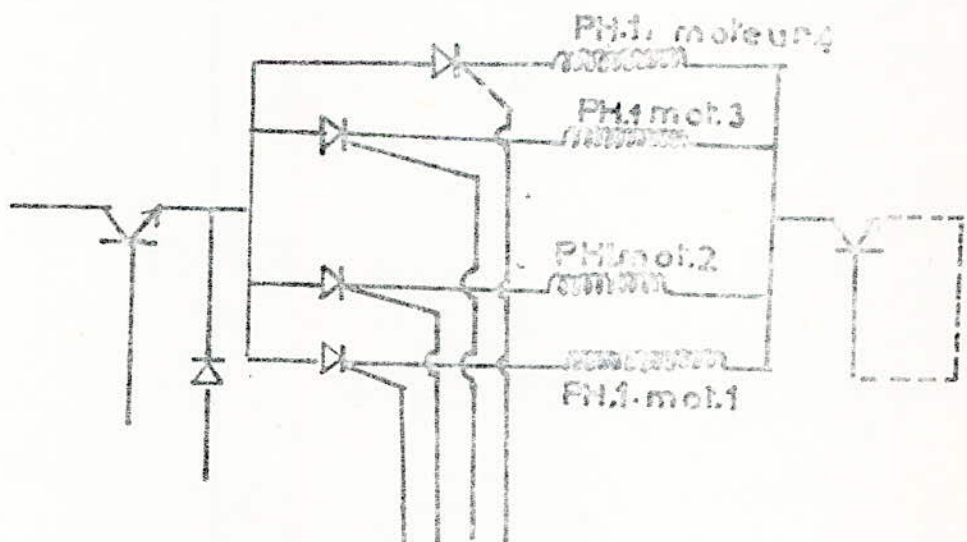


figure IV.10: dispositif de sélection d'une phase des moteurs

I - 4 - 2 Dispositif d'alimentation à deux niveaux.

Le schéma d'un tel dispositif est donné sur la fig 7

Le fonctionnement du dispositif est basé sur la variation du potentiel du point E.

Remarquons d'abord que le bistable constitué par Q₃ et Q₄ utilise pour source de polarisation l'impulsion de la sortie S₁ ^{qui ne fonctionne donc que pendant la durée de cette impulsion.}

Son état de repos est choisi de sorte que Q₄ est bloqué et Q₃ saturé quand rien n'est sur l'entrée e₄.

Quand l'impulsion de commande arrive, l'entrée e₄ n'étant pas excitée, le bistable est dans son état repos initial.

La sortie S₄ de Q₄ est donc au niveau haut et par conséquent le potentiel de base du transistor Q₇ est au même niveau, ce qui met Q₇ à l'état de saturation et le potentiel de E pratiquement égal à V_H.

La phase du moteur se trouve donc excitée par la tension V_H et le courant commence à s'y établir suivant une loi exponentielle.

Lorsque le courant dans la phase atteint sa valeur nominale déclenche un dispositif (trigger de Schmitt) qui va ^{délivrer} un train d'impulsions.

Ce train d'impulsion se trouve appliqué à l'entrée e₄ du bistable et fait basculer ce dernier à son deuxième état de repos.

Le deuxième état de repos est caractérisé ainsi Q₃ bloqué Q₄ saturé.

Une fois dans ce deuxième état le potentiel de la sortie S₄ se trouve ramené pratiquement à la tension S₁ qui bloque le transistor Q₇, tandis que celui de la sortie S₃ est à l'état haut ce qui ramène le potentiel du point E à V_B.

Ainsi l'alimentation à deux niveaux est réalisée grâce à ce bistable on a $V_H = K V_B$ (K)1

I.4.3. découpage de l'alimentation

Le schéma qui permet le découpage de l'alimentation a été expliqué au tome 1

ci dessous la figure 8 donne la réalisation pratique du système de découpage.

De même que le bistable (Q₃, Q₄) le trigger de schmitt utilise pour source de polarisation l'impulsion de commande recueillie à la sortie S₂ de l'amplificateur.

L'état repos initial du trigger est tel que Q₅ est bloqué et Q₆ saturé.

La sortie S₅ (recueillie au collecteur de Q₅) excite la base de Q₈ et le met en saturation.

Donc dès que l'impulsion arrive ou a Q₇ et Q₈ qui sont saturés ce qui permet au courant de s'établir.

Dans la phase, La valeur nominale du courant est détectée grâce à R_{83} ; dès que le courant atteint sa valeur nominale la tension $V = R_{83} I$, toujours appliquée e_3 du trigger, devient supérieure au seuil de basculement du trigger qui le fait basculer à son deuxième état de repos : (Q_6 bloqué, Q_5 saturé)

A ce deuxième état de repos correspond un potentiel de sortie S_5 nul ce qui bloque Q_8 , tandis que la sortie S_6 passe à l'état haut ce qui crée une impulsion à l'entrée du bistable.

A ce moment la phase se trouve sous V_B mais avec le transistor Q_8 bloqué. Le circuit de phase étant ouvert le courant dans R_{83} diminue. Dès ^{que} la tension $V = R_{83} I$ atteint le deuxième seuil de basculement du trigger, celui-ci revient à l'état initial; le transistor Q_8 se sature et le cycle recommence.

Il faut signaler que le bistable (Q_3, Q_4) ne réagit qu'à la première impulsion de e_4 comme une bascule J.K ne réagit qu'à la première impulsion appliquée à J.

I.4.4 Schéma ~~à~~ complet de l'alimentation

Dans ce schéma en plus des trois parties citées, précédemment nous remarquons un transistor Q_9 qui ne sert qu'à simplifier le courant recueilli en S_2 pour maintenir le courant nominal de phase.

Les diodes D_{93} et D_{73} jouent le même rôle; l'une pour VH, l'autre pour VB, tandis que la diode D_{92} isole l'émetteur de Q_9 du potentiel VH des points E en début d'impulsion.

II Dispositif de sélection des différents moteurs

L'élément de base de ce dispositif est la thyristor.

N'ayant pas les caractéristiques des moteurs utilisés, nous supposons que toutes les dispositions nécessaires à la protection des thyristors (C.F. annexe 1 du tome I) sont établies d'office.

Nous donnons sur la figure 10 le dispositif de sélection d'une phase d'un moteur.

Les moteurs à utiliser n'ayant que trois phase, il suffit de prévoir la même dispositif pour chacun des trois groupes de phases.

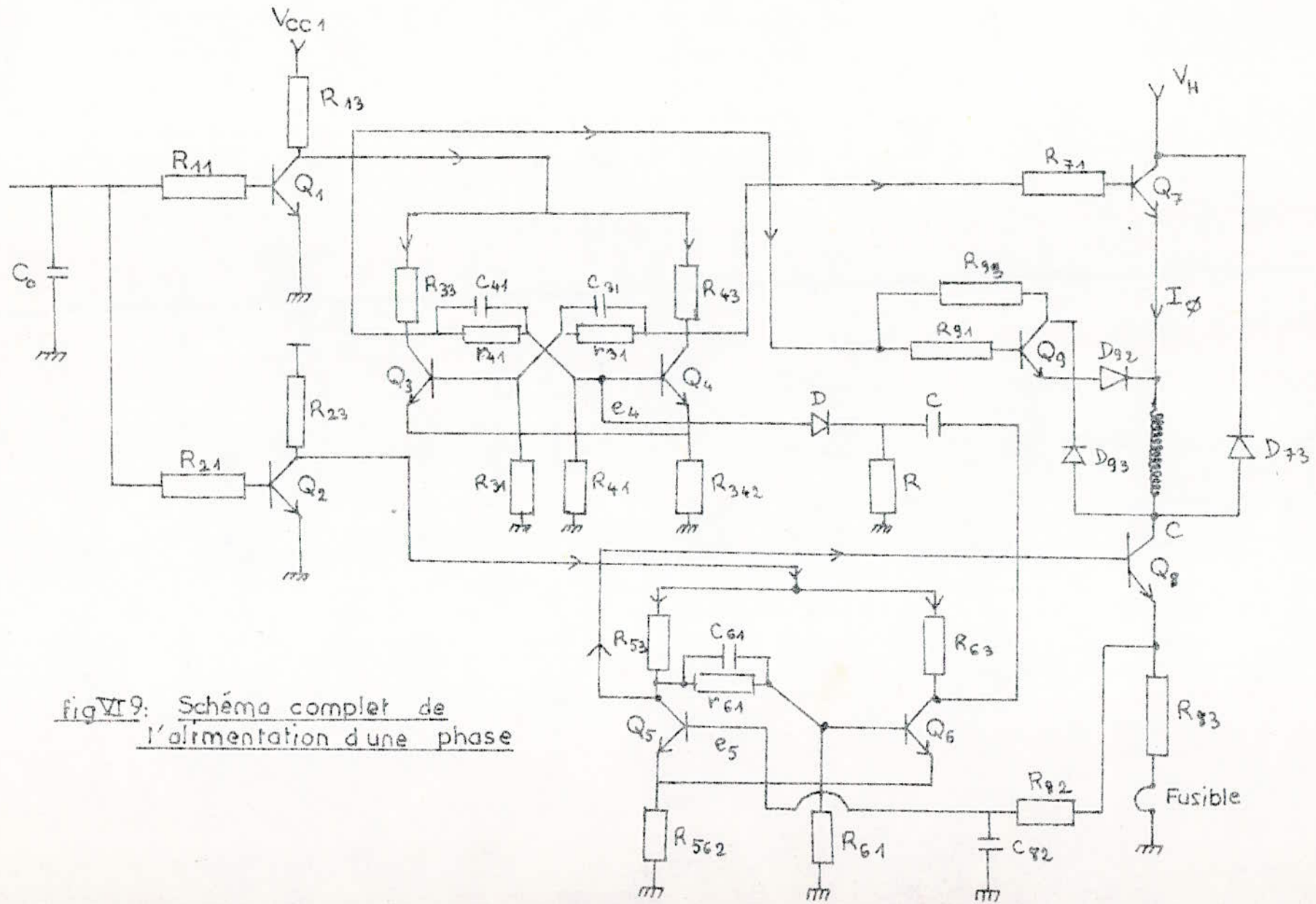


fig VI 9: Schéma complet de l'alimentation d'une phase

Chapitre VII

R E A L I S A T I O N

I) Plaquettes modulaires

Pour réaliser pratiquement la commande des quatre moteurs, nous avons regroupé les circuits constitutifs en un certain nombre de sous ensembles occupant chacun une plaquette. L'ensemble est constitué de 12 cartes formant 16 cm X 29 cm, le tout tenant dans un rack standard.

c) Les causes qui nous ont imposé ce découpage sont:

a) Le nombre maximum de circuits intégrés à placer sur une carte est limité par l'existence de plusieurs liaisons entre ces circuits.

b) Le nombre de liaisons entre la carte et l'extérieur.

L'utilisation de 4 connecteurs à 29 bornes limitent le nombre de liaisons extérieures à 116.

c) L'impossibilité d'implanter une fonction bien déterminée sur la même carte. Par exemple, la mémorisation, l'aiguillage etc...

d) La répétition d'un même câblage quand on se trouve dans l'impossibilité de tout faire tenir sur une seule plaque, par exemple: L'affichage comprend 2 cartes (mémoires et multiplexeurs) qui sont les mêmes que celles constituant le préaffichage.

En partant du schéma bloc de chaque fonction, nous avons réalisé l'implantation réelle des composants et de leurs interconnexions sur des cartes imprimées double-face.

Nous avons d'abord dessiné les circuits à l'échelle 2 puis, réduit l'ensemble dans un rapport inverse par procédé photographique.

Les photographies suivantes représentent les circuits imprimés sans composants de chaque plaquette.

Des notations indispensables au câblage et au repérage des différentes liaisons ont été gravées sur ces cartes.

F Pour faciliter à l'utilisateur de retrouver l'emplacement des plaquettes nous donnons dans ce qui suit la signification des notations gravées sur chaque carte.

I-1- Plaquette du clavier à touches:

Elle sert à réunir les touches permettant la commande du système. Chaque touche est repérée par 4 chiffres indiquant l'emplacement de chaque patte et une notation plus grosse correspond à la fonction de cette touche.

I-2- Décodeur de clavier et registre d'entrée:

Cette plaquette contient le registre à décalage et les circuits permettant de décoder les fonctions à transmettre aux différents étages du système.

Tous les circuits sont identifiés par un nombre, de 2 ou 3 chiffres, qui est la suite du code SN74.

Une patte de chaque circuit intégré est repérée par un chiffre et cela pour faciliter l'implantation des composants.

Les sorties de chaque décodeur du registre à décalage sont repérées par la lettre Q indiquée de 1 à 4. La fonction de chaque touche du clavier est gravée tel que nous l'avons notée dans les chapitres précédents.

"ST" est l'abréviation du mot "strobe". Les bornes correspondant à cette notation sont reliées aux sorties des buffers placés après 4 logiques (d'aiguillage).

Ces logiques ont pour sorties les bornes correspondant à la notation "L".

P1, P2, P3, P4 sont les initiales de préaffichage.

Remarque:

On affecte les notations correspondant aux entrées de l'indice "E"

tandis que celles des sorties sont affectées de l'indice "S".

I-3- Plaquettes "aiguilleur":

Il y a 4 plaquettes identiques intitulées aiguilleur, chacune est affectée d'un numéro correspondant à un moteur. De ce fait considérons, par exemple, la plaquette "aiguilleur 1" côté soudure.

La plaquette permet d'aiguiller les informations relatives au moteur

1. Elle contient 4 notations différentes:

La notation "ma" signifie mémoire d'affichage, ces bornes doivent être alors reliées aux entrées des mémoires du moteur 1.

La notation "m p" permet de repérer les entrées des mémoires du préaffichage.

"C" indiquent les sorties du compteur - décompteur.

"R" indiquent les sorties du registre à décalage.

Chaque notation est affectée d'un indice numérique.

L'indice 1 correspond au poids le plus faible.

Les 2 bornes ne contenant aucune notation sont les sorties des buffers; ces dernières doivent être reliées aux bornes

"L" de la carte intitulée "Décodeur de clavier et registres d'entrée".

I-4 Plaquette: comprenant la commande du C/D, générateur, comparateur, sens de rotation, logique de sélection de multiplexage.

Cette carte regroupe les 4 C/D 4 bits qui constituent le C/D 16 bits ainsi que les 4 comparateurs.

Les sorties Qa, Qb, Qc, Qd répétés ~~quatre~~ fois sur le connecteur représentent les quatre décades de sorties du C/D.

Les sorties bo, b1, b2, b3 représentent celles du comparateur. La commande des entrées du C/D, la commande du sens de rotation, ainsi que la logique de sélection de multiplexage sont représentés sur cette même carte.

Sur le connecteur, les sorties S1 et S2 correspondent aux entrées "Data Select" des multiplexeurs.

La sortie "transl" correspond à l'horloge (impulsions du générateur) qui doit être reliée au translateur. Hm1, Hm2, Hm3, Hm4 doivent être connectés aux horloges des mémoires d'affichage.

1, 2, 3, 4 permettent la liaison entre cette carte et les connexions sur le commutateur, correspondant à l'alimentation des différents moteurs.

Les liaisons servent aux "LED" de sens de rotation

sont représentés par "led:" et "led" de sens de rotation "rot transl" doit être connecté à l'entrée "sens de rotation" du translateur.

I-5 Plaquette: translateur et circuit de freinage:

Sur cette carte, nous avons prévu les sorties Qa, Qb, Qc qui doivent aller vers les trois phases du moteur avec freinage ou sans freinage suivant que l'introduction du circuit de freinage est nécessaire ou non.

F1, F2, F3, F4 correspondent aux bornes des Résistances.

I-6 Plaquettes des mémoires et multiplexeurs:

Nous avons réalisé 4 plaquettes identiques: deux pour le bloc d'affichage et deux pour le bloc préaffichage. Chaque plaquette comporte 2 décades de mémoires (16 bits) correspondants à chaque moteur et les multiplexeurs correspondants.

Une plaquette comprend 8 mémoires SN74175 et 4 multiplexeurs SN 74153.

Sur les connecteurs du bas nous avons:

8 fois les chiffres (1,2,3,4), ceux-ci représentent les entrées des 8 décades de mémoires. Le chiffre 1 représente le poids le plus fort et 4 le plus faible.

Raz₁, Raz₂, Raz₃, Raz₄ représentent les entrées "clear" respectivement des mémoires (16 bits) m₁, m₂, m₃ et m₄ de préaffichage. Sur les 2 plaquettes du bloc d'affichage, ces 4 entrées seront reliées au "RAZ total" de la sortie du clavier.

H₁, H₂, H₃, H₄ représentent respectivement les entrées d'horloges des mémoires m₁, m₂, m₃, m₄ pour les 2 plaquettes du bloc d'affichage; des mémoires mp₁, mp₂, mp₃, mp₄ pour les plaquettes du bloc de préaffichage.

* Sur les connecteurs du haut nous avons:

- A₁, A₂, A₃, A₄ (répétées 8 fois) les sorties d'une décade de mémoires, ces sorties seront reliées aux afficheurs Til 308.

- 1Y et 2Y (répétées 4 fois) représentent les sorties des multiplexeurs. Elles seront reliées aux entrées des compteurs - décompteurs (pour les 2 plaquettes d'affichage)

soit des compteurs (pour les 2 plaquettes de préaffichage).

- B et A sont les entrées des adresses des sélections des multiplexeurs.

- S représente l'entrée "strobe" des multiplexeurs qui sera reliée à la masse (pour les 2 plaquette d'affichage) et à une logique (pour les 2 plaquettes de préaffichage)

Remarque:

L'indice 1 représente le poids le plus fort d'une décade et 4 le poids le plus faible.

I-7: Plaquette contenant les buffers logique des RAZ des compteurs - décompteurs, logique des horloges des mémoires de préaffichage et logique reliée à main - et C-.

* Sur les connecteurs du bas nous avons:

- Les 16 bits qui seront reliées aux sorties des multiplexeurs d'affichages.

- Le "RAZ" des compteur-décompteurs.

- "clear" représente la sortie (-) du décodeur de clavier, de même pour la borne C-.

- 2 autres bornes seront reliées aux bornes - et C - de la carte contenant le générateur.

- "H" sera relié à l'horloge des registres à décalage.

- Hmp₄, Hmp₃, Hmp₂, Hmp₁ désignent des entrées de préaffichage des Horloges

- Hm₁, Hm₂, Hm₃, Hm₄ seront reliées aux entrées des horloges des mémoires d'affichage.

- "C + du déc" sera reliée à la sortie C + du décodeur du clavier.

- "S1 mult" et "S2 mult" seront reliées aux adresses de sélection B et A.

- "S2 des log" et "S1 sortie de la logique" seront reliées aux sorties de la logique de sélection d'adresse.

"RAZmp (1,2,3,4) désignent les quatre "RAZ partiels" des mémoires de préaffichage.

"RAZT déc" indiquent que cette borne sera reliée à la sortie "RAZ total" du décodeur de clavier.

* Sur le connecteur du haut on a:

- La borne "stop" reliée à la touche stop.

- La borne "START" reliée à la touche start.

"K bascule" et "J bascule" seront reliées aux entrées

- K et J de la bascule qui est reliées au générateur.
- "préafcom 1" sera reliée à la borne 1 de préaffichage au niveau du commutateur.
 - "com 1" sera reliée à la borne 1 du commutateur.
 - a 1, a2, a3, a4 seront reliées aux plaquettes "aiguilleur"
 - "log adresse mult 1", Lané2, Lan3 et Lan4 seront reliées aux quatre entrées de la logique des adresses de multiplexeur.

II Panneau avant:

Bien que nous n'ayons pas encore reçu les afficheurs lumineux Til 308 nous avons pu en nous référant au livre "the optoelectronics" de Texas instruments relever les côtes exactes et de ce fait préparer le panneau avant du rack standard chargé de contenir les différentes cartes de circuits imprimés.

Nous n'avons placé sur ce panneau que les composants strictement nécessaires au réglage de l'appareil ainsi qu'à la visualisation des diverses sécurités. On peut remarquer sur le schéma de la fig VII - 1.

Les afficheurs correspondant au préaffichage et à l'affichage chage.

Les deux commutateurs: Moteur 1+2 et Moteur 3+4.

Le clavier à touches.

L'interrupteur général servant à mettre sous tension le système avec son voyant lumineux de contrôle.

Les deux masses électriques et Mécaniques qui ont été volontairement cablées séparément.

Les deux voyants lumineux servant à indiquer le sens de rotation des moteurs.

Le bouton poussoir "test" chargé de tester si tous les 7 segments des afficheurs sont en parfaite état de fonctionnement.

III Panneau Arrière:

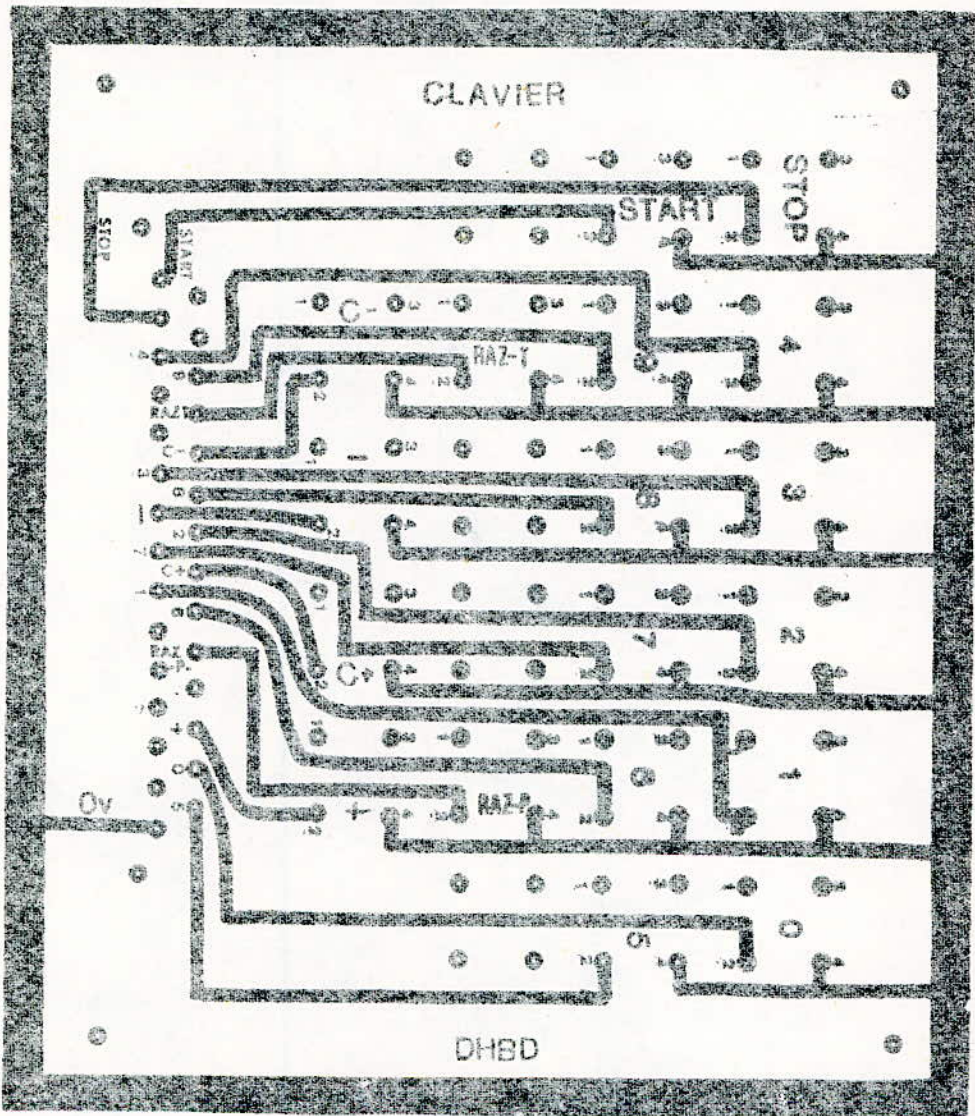
Nous avons volontairement reporté sur le panneau arrière toutes. On y trouve: les connexions une fois pour toutes:

-Les fusibles des alimentations + 5 V des circuits TTL et 220 V du courant alternatif nécessaire pour l'alimentation en puissance des moteurs.

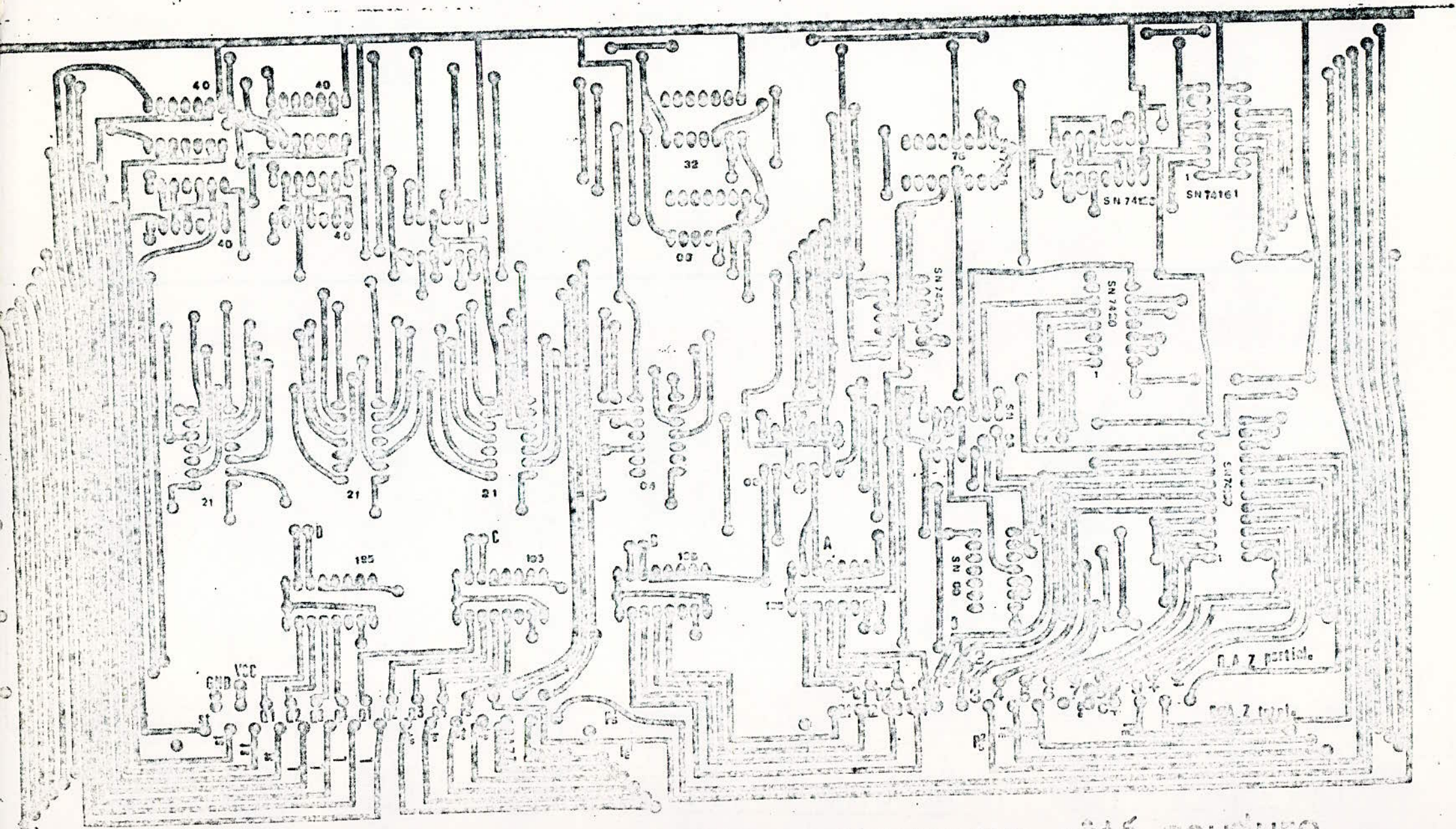
-Le cordon secteur.

-Le raccord reliant une alimentation continue externe de 5 V chargée de fournir la tension nécessaire aux circuits intégrés TTL.

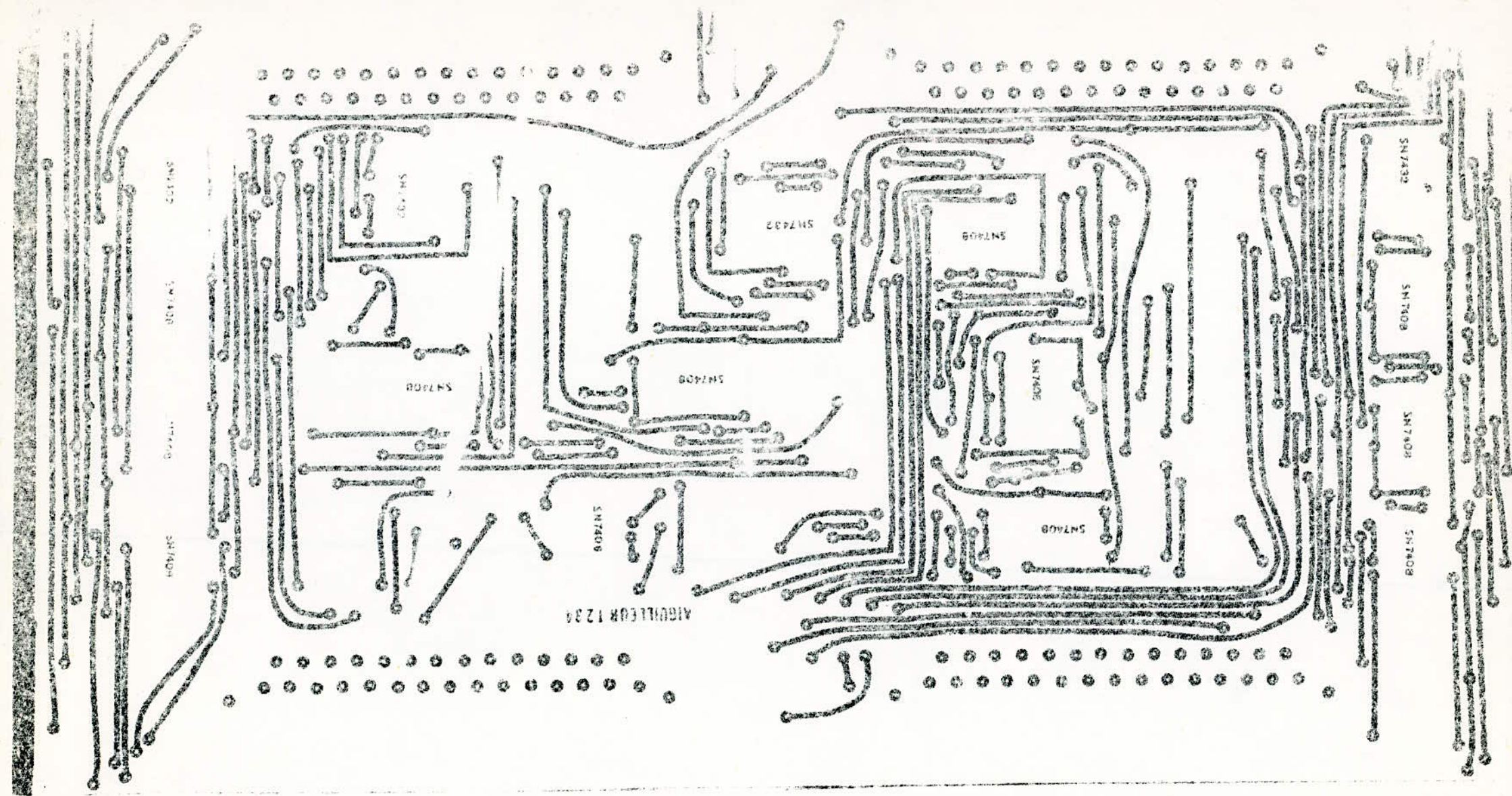
-Les quatre connecteurs reliant l'alimentation de puissance aux moteurs pas à pas.



CLAVIER A TOUCHES



DECODEUR DE CLAVIER ET REGISTRES D'ENTREE. côté soudure

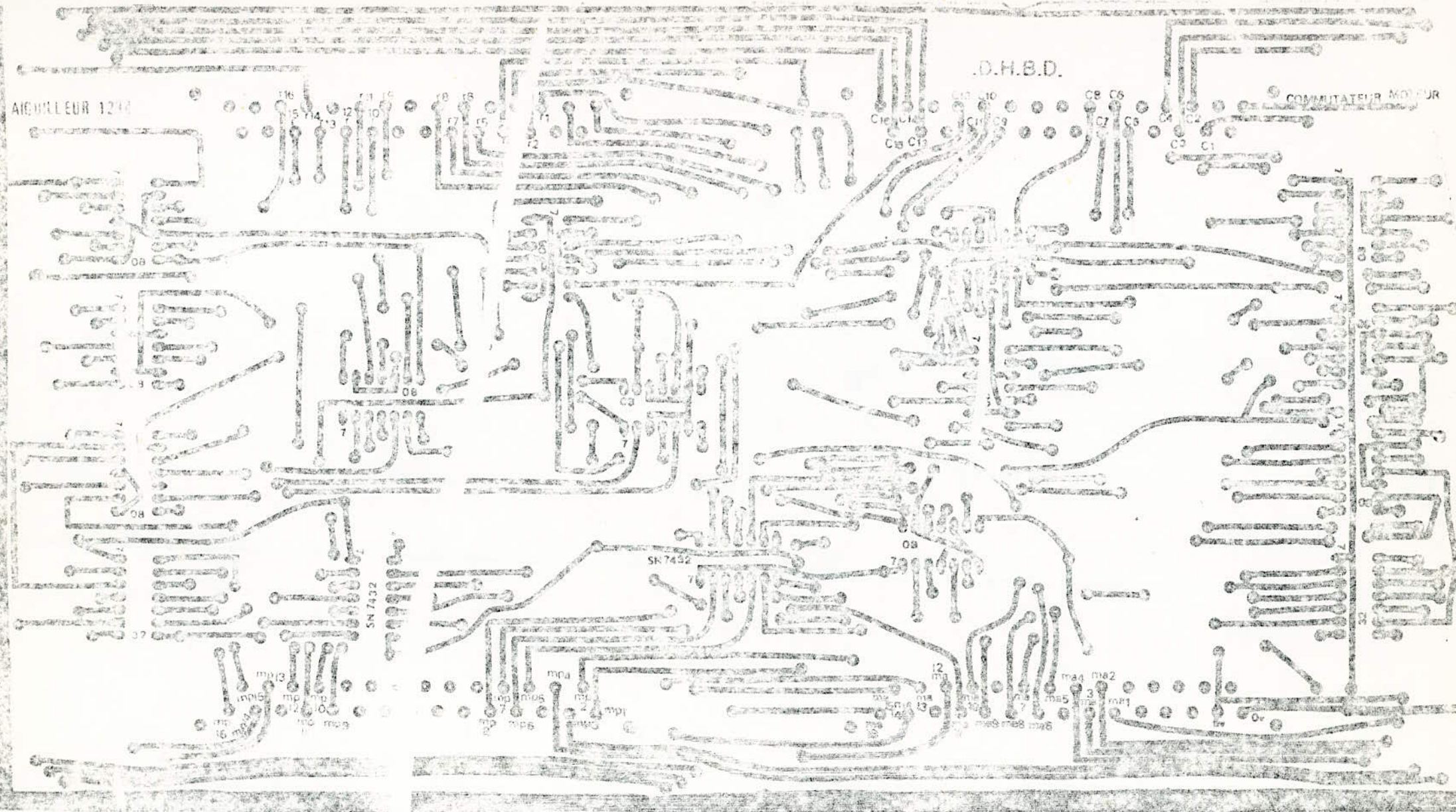


AIGUILLAGE D'UN MOTEUR : côté éléments

AIGILLEUR 1271

D.H.B.D.

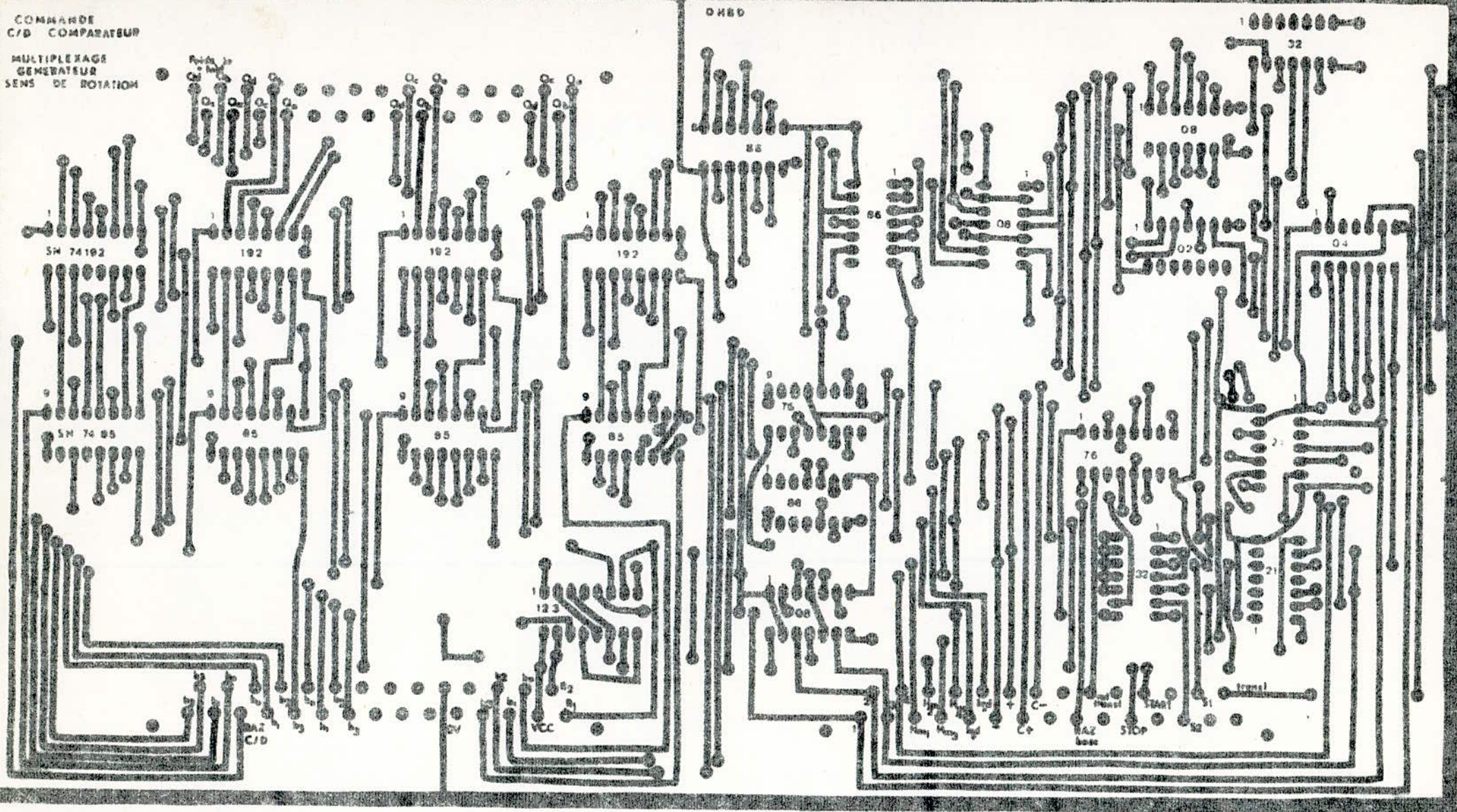
COMMITATEUR MOTOR



ANALYSE D'UN MOTEUR : côté soudure

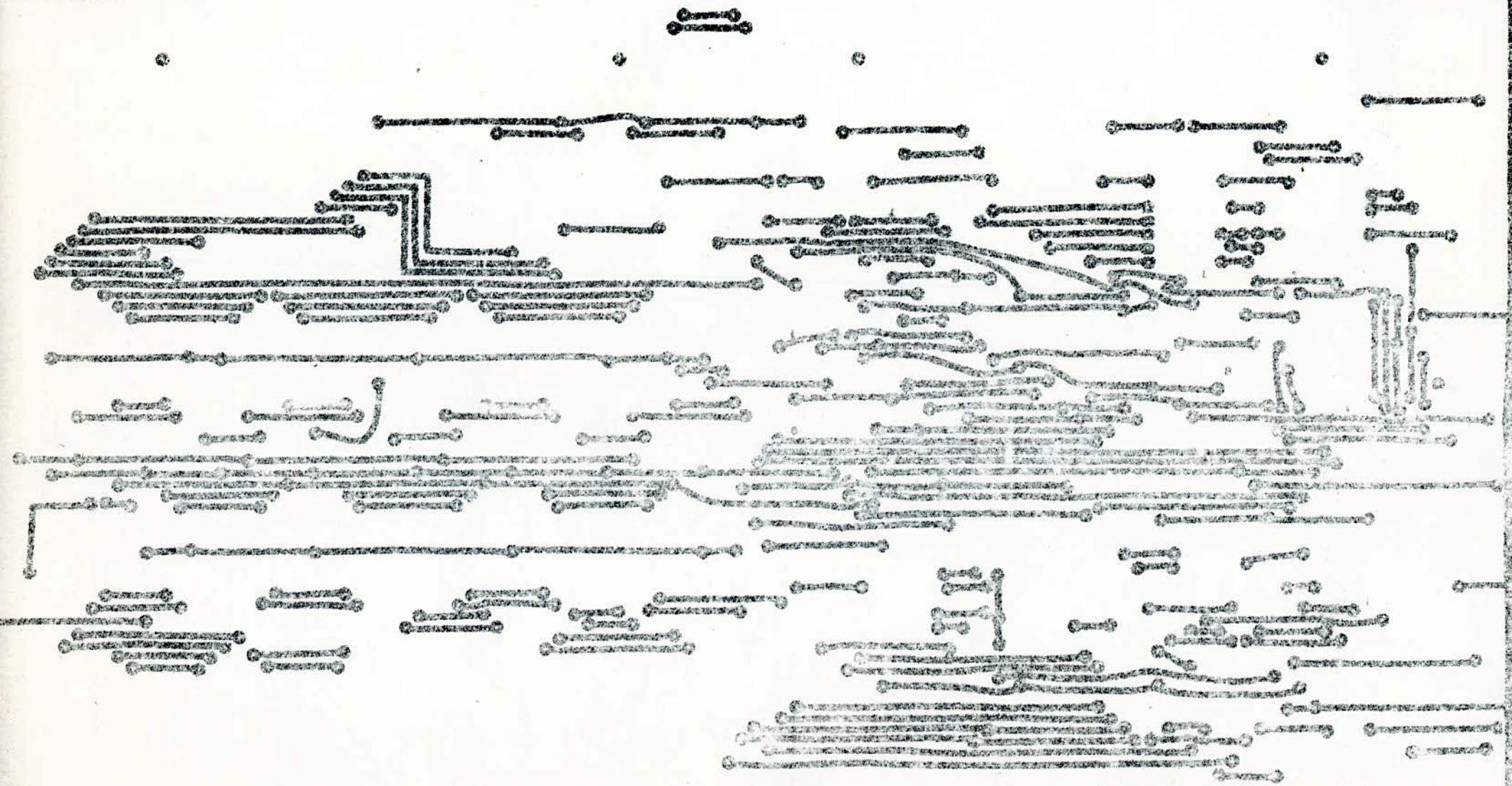
COMMANDE
C/D COMPAREUR

MULTIPLEXAGE
GENERATEUR
SENS DE ROTATION



COMMANDE DES COMPTEURS-DECOMPTEURS ET GENERATEUR , COMPAREURS
LOGIQUE DE SELECTION DE MULTIPLEXAGE , SENS DE ROTATION

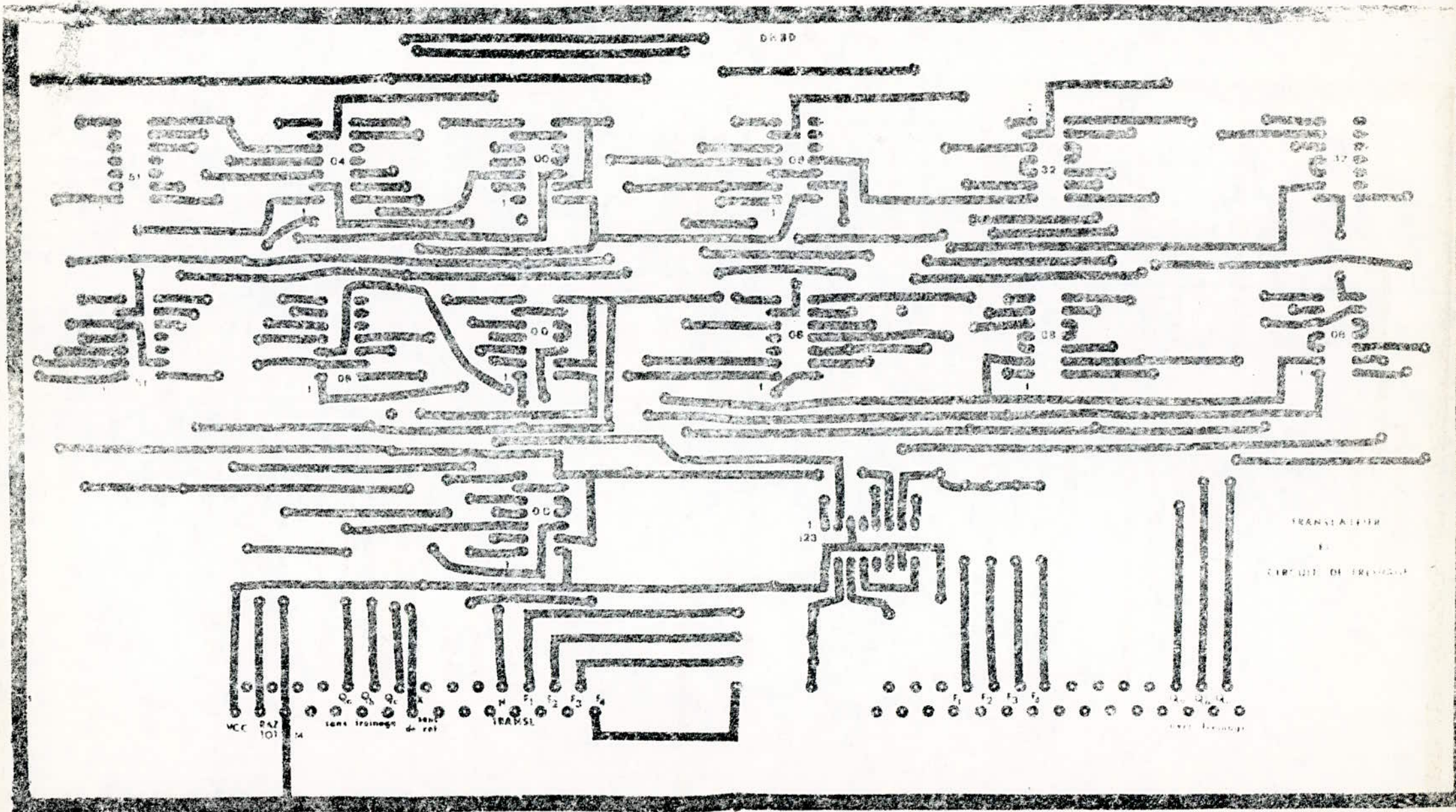
côté soudure



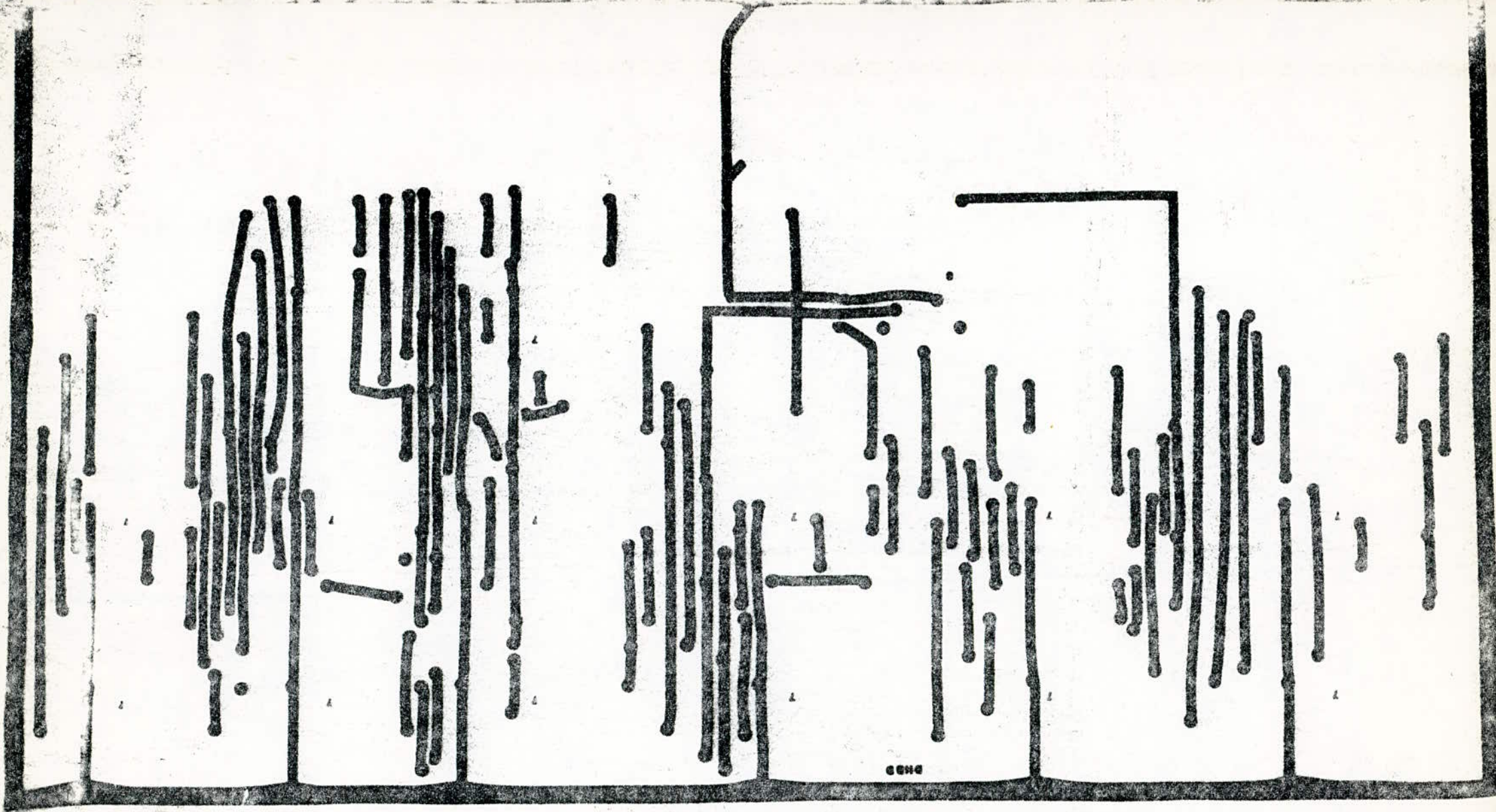
GEN 0

COMMANDE DES COMPTEURS-DECOMPTEURS ET GENERATEUR
 LOGIQUE DE SELECTION DE MULTIPLEXAGE

COMPARATEURS
 côté éléments



TRANSLATEUR DE CIRCUIT DE FREINAGE (coté soudure)

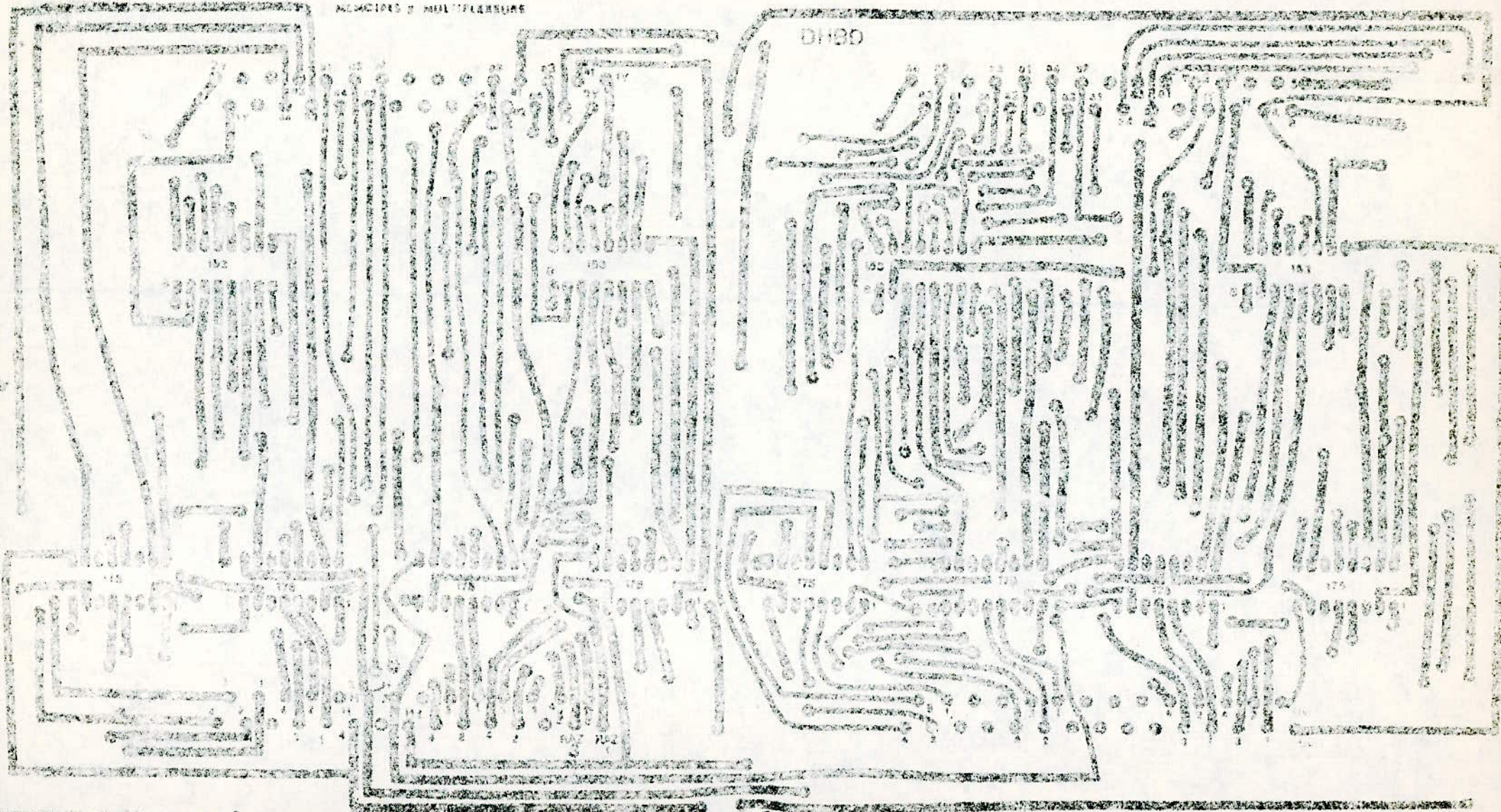


0000

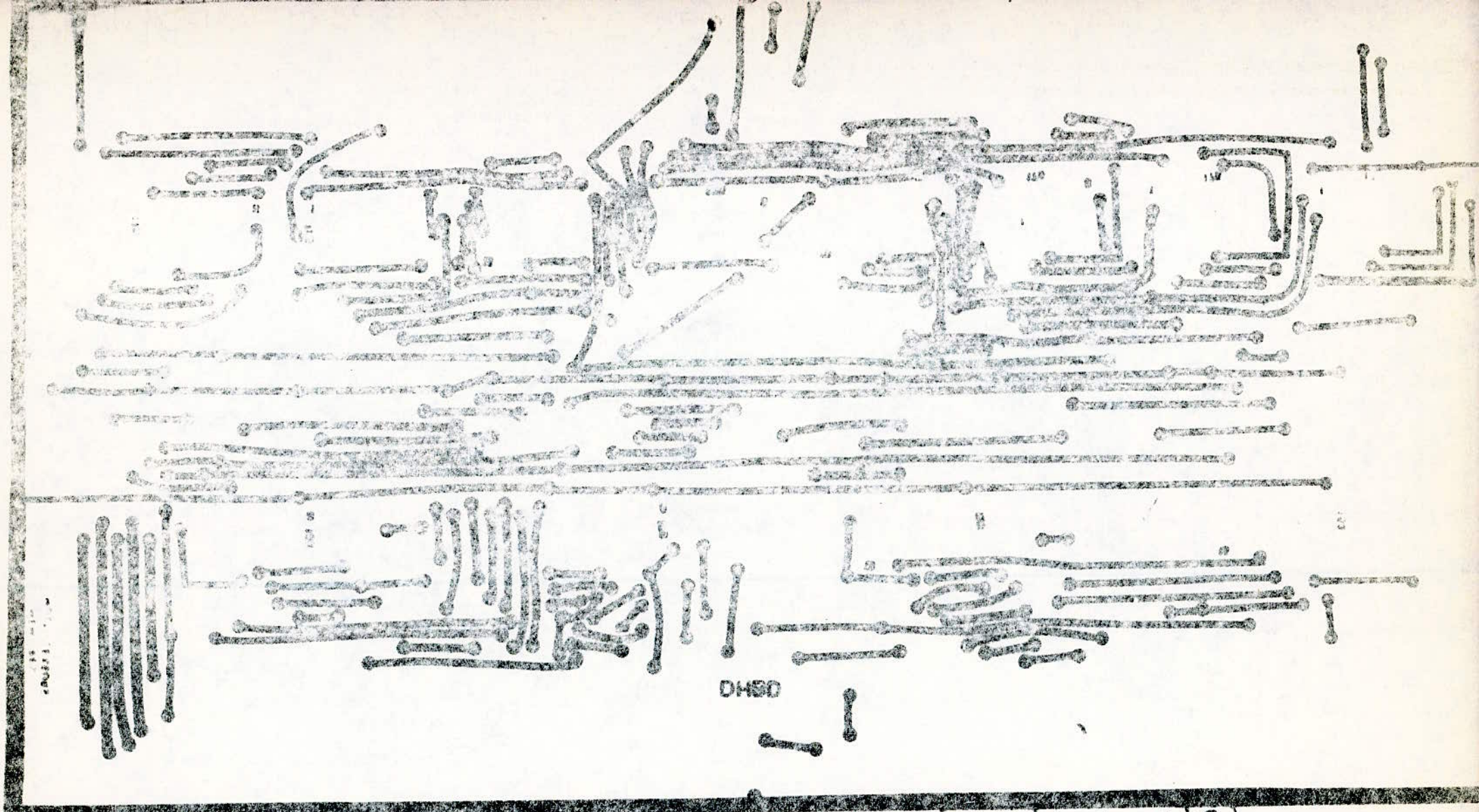
TRANSLATEUR & CIRCUIT DE FREINAGE (coté éléments)

MEMOIRES & MULTIPLEXEURS

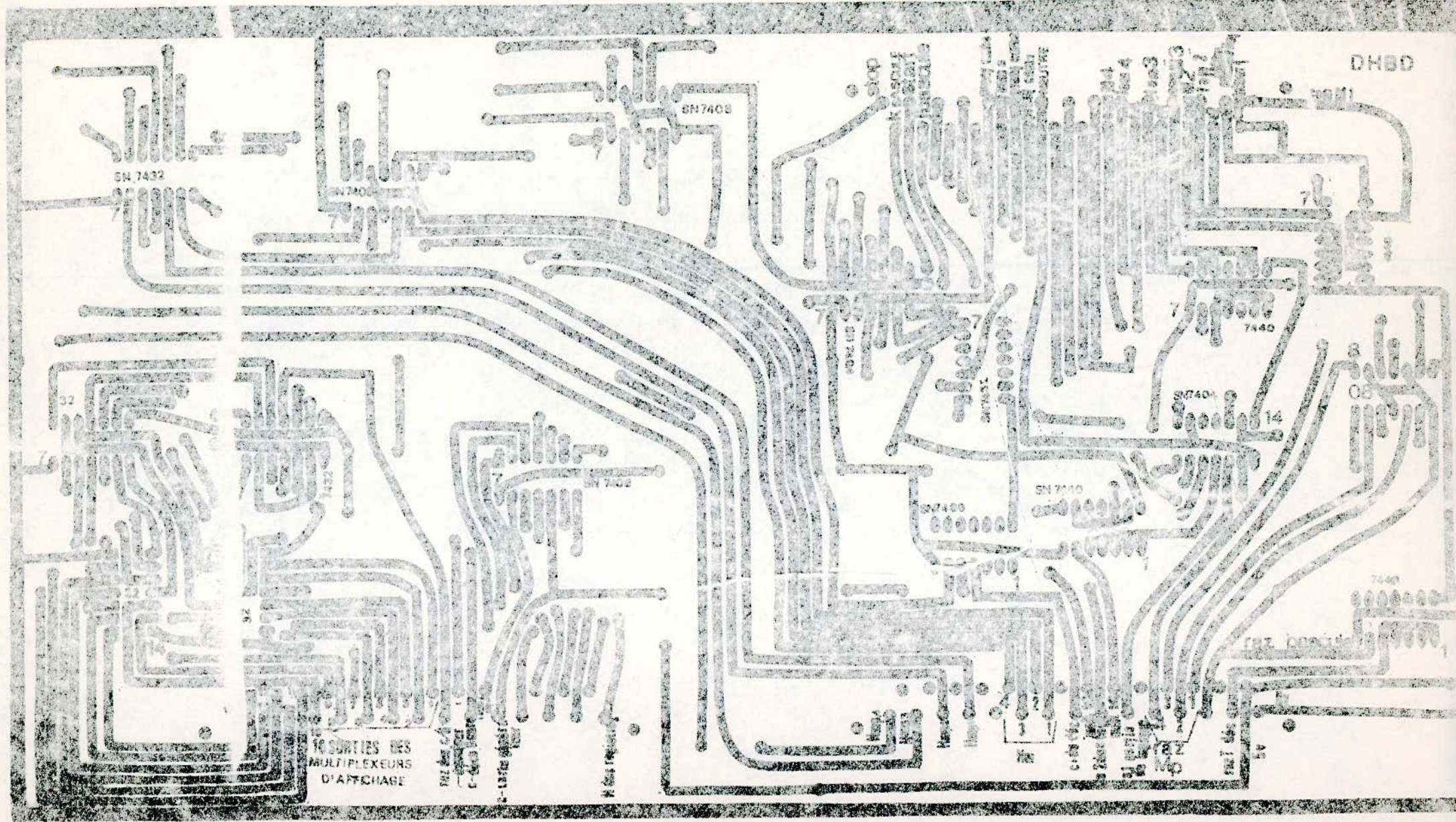
DH80



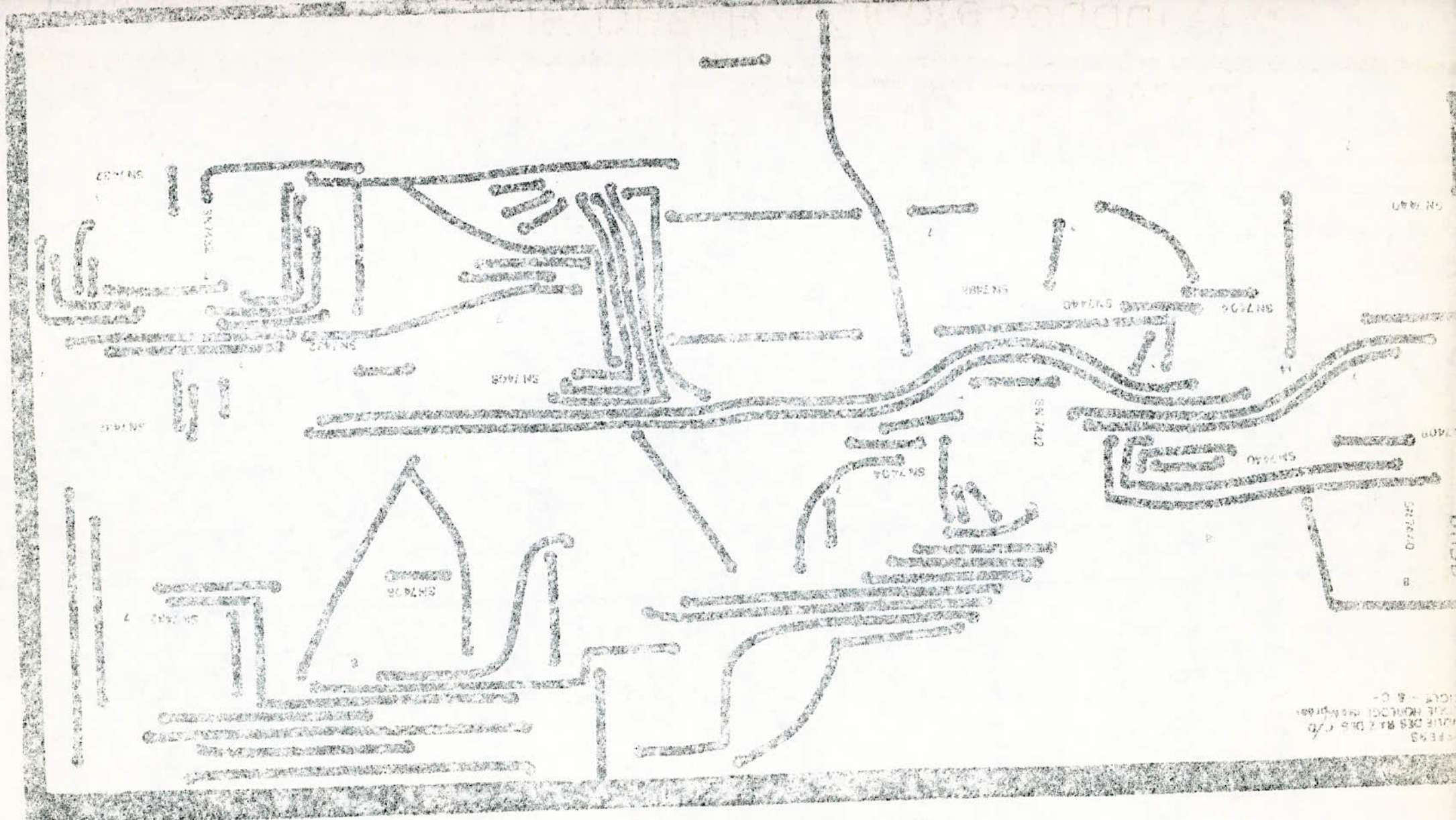
MEMOIRES & MULTIPLEXEURS (coté soudure)



MEMOIRES & MULTIPLEXEURS (cote elements)

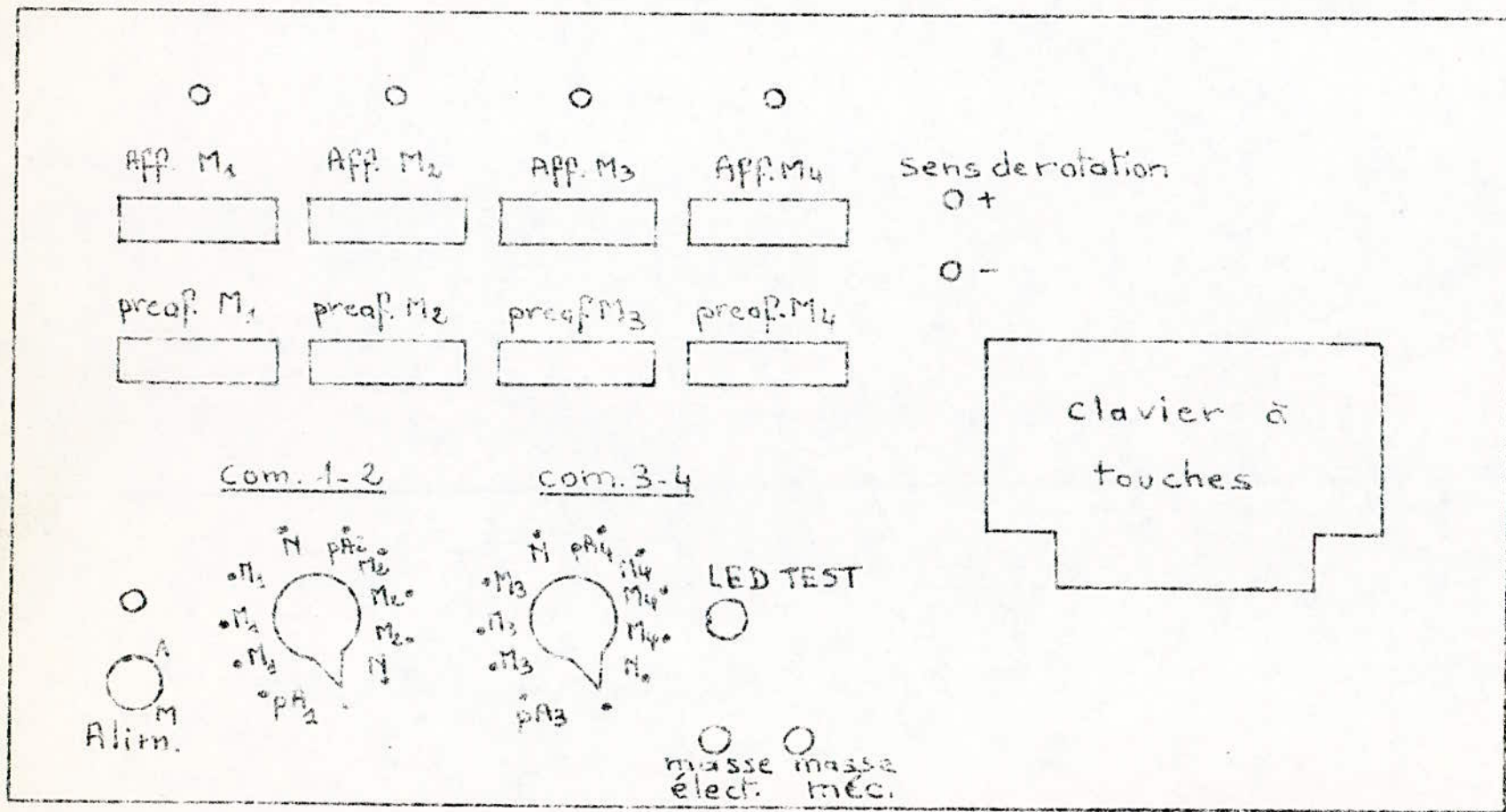


BUFFERS LOGIQUE DES RAZ (coté soudure)



BUFFERS - LOGIQUE DES R-A-Z
 côté éléments

PROF. A. C.
 ÉCOLE NATIONALE DES ARTS ET MÉTIERS
 PARIS



SCHEMA DU PANNEAU AVANT

Commutateur de sélection

I. introduction:

Dans le tome I nous avons dégagé la nécessité d'utilisation d'un commutateur permettant de sélectionner plusieurs paramètres. Par ailleurs, dans le chapitre sécurité du même tome nous avons montré que les paramètres à sélectionner ne sont pas indépendants.

La solution du problème de sélection consiste donc en l'utilisation d'un commutateur à gachets. Afin de déterminer le circuit de connexion des points de contacts du commutateur et le nombre nécessaire des gachets, nous devons analyser en détail le problème de sélection.

Les différentes sélections sont:

- 1^{ère} la sélection du moteur à mettre en service
- 2^e la sélection du préaffichage correspondant
- 3^e la sélection de la logique d'aiguillage
- 4^e la sélection des fréquences de rotation.

II. Sélection du moteur:

La sélection du moteur voulu est obtenue grâce à l'excitation des gachettes des thyristors correspondants. Cette excitation doit subsister pendant toute la durée de sa mise en marche même s'il faut changer de fréquence de rotation.

III. Sélection du préaffichage.

Le préaffichage étant lié au moteur; avant de mettre ce dernier en marche, il faut s'assurer de la correspondance des deux.

La sélection du préaffichage est assurée par un multiplexeur; il est donc nécessaire de générer l'adresse correspondant à chaque préaffichage pour faire sa sélection.

Ces adresses sont obtenues à partir d'une logique à quatre entrées (chacune des entrées correspond à un préaffichage).

Pour assurer la correspondance entre moteurs et préaffichage, il faut donc exciter les gachettes des thyristors et l'entrée de la logique d'adressage correspondants au même moteur.

III. Logique d'aiguillage:

La logique d'aiguillage permet le transfert des instructions relatives à chaque moteur. Elle possède donc quatre entrées, chacune d'entre elle étant excitée quand le moteur correspondant est en cours de fonctionnement.

IV. Sélection de fréquence:

Chaque moteur peut fonctionner avec trois fréquences différentes.
 - Une fréquence de 24 HZ appelée fréquence de fonctionnement en mode rapide.

Elle est utilisée pour la remise à zéro des selsyns
- Une fréquence de 16 HZ dite fréquence de mode automatique.
Une fréquence de 8 ou 4 HZ appelée précédemment fréquence de
fonctionnement en mode continu. Suivant le paramètre à
régler on choisira l'une ou l'autre de ces fréquences.
Nous avons auparavant vu que la fréquence de rotation,
l'aiguillage, l'adressage des multiplesceurs doivent, dans
tous les cas correspondre au moteur en service.
Pour mettre en service un moteur, il faut donc respectivement:
armer les thyristors, sélectionner son préaffichage, valider
la logique d'aiguillage et afficher la fréquence correspondante
tout en ayant la possibilité de la changer sans changer de
moteur.

V. Logique de contrôle:

La logique de contrôle a pour but d'assurer le bon fonctionnement
de la commande.

Elle doit, entre autre, lors du passage d'un moteur à un autre
remettre à zéro le compteur d'impulsions du bloc de contrôle
et l'initialiser à la valeur du contenu de la mémoire de
l'affichage du nouveau moteur.

Il faut donc fournir à la logique de contrôle la commande
correspondant à cette séquence.

VI. Solution:

L'analyse du problème de sélection nous impose l'utilisation
d'un commutateur à 20 positions, mais n'ayant pas à notre
disposition un tel commutateur, nous en avons utilisés deux à
11 positions ~~assistants~~ au magasin.

Le premier comprendra les sélections relatives aux moteurs
1 et 2, le deuxième celles des moteurs 3 et 4.

Du fait que l'on doit sélectionner le moteur, choisir une
fréquence et agir sur la logique d'aiguillage plusieurs gâbets
sont nécessaires.

Ces derniers sont identiques et montés sur un axe mobile
pouvant faire une rotation de 300°.

Nous avons réparti les 11 contacts de chaque gâbet en trois
zones (c f schéma du commutateur fig 1).

Zone 1: La première zone contient quatre contacts sur chaque
gâbet.

Le premier, deuxième et troisième gâbets sont portés aux
potentiel

$$V_{cc}=5v.$$

Le contact 1 des 3 premiers gâbets n'est pas utilisé.

les contacts 2-3-4 des gâbets 1 et 2 sont reliés aux résistances
qui permettent de sélectionner la fréquence.

les contacts 2.3.4 du 3° gâbet sont connectés aux gâchettes
des thyristors.

Le gâbet 4 est relié à son contact n°-1 est relié à son

Le gabot N° 4 est à la masse son contact N° 1 est relié à la logique de sélection du préaffichage.

Les 3 contacts suivants sont reliés à la logique d'aiguillage et aux adresses des multiplexeurs.

Zone 2:

Cette zone comprend un contact sur chaque gabot; seul le contact du gabot N° 4 est utilisé. Il est connecté au R.A.Z du compteur et à la logique d'initialisation de ce dernier.

Zone 3:

Elle est identique à la zone 1, seulement elle concerne un autre moteur.

Le dernier contact de chaque gabot (contact 11) reste en l'air, afin de mettre hors service les moteurs 1 et 2 de façon à pouvoir passer sur l'autre commutateur.

Remarque importante:

Pour passer d'un commutateur à l'autre, il faut éliminer le premier en le positionnant sur le contact 11.

Dans le schéma du commutateur, nous représentons les contacts par des interrupteurs et les gabots ont été développés en segments de droite.

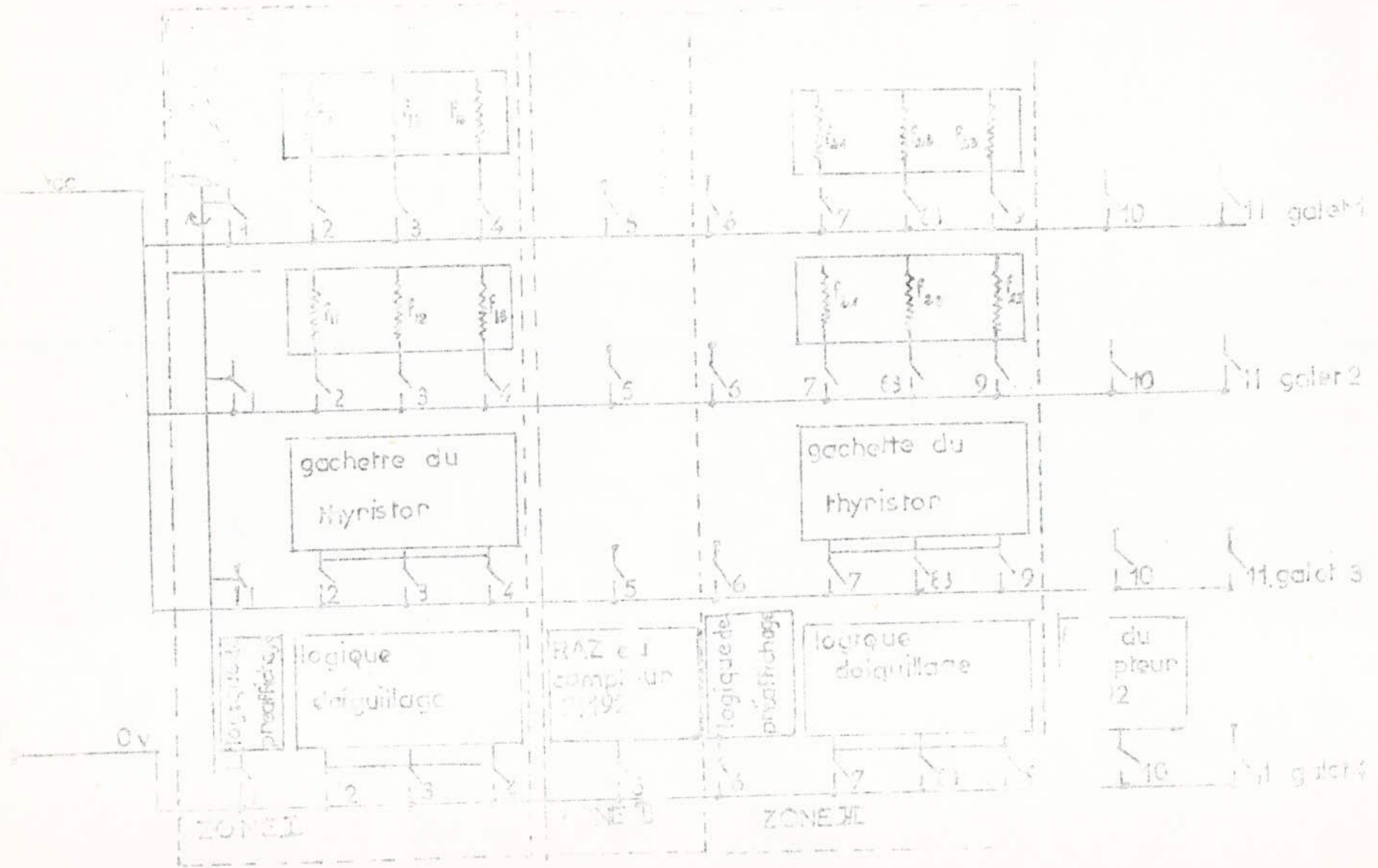


FIG VII.1 SCHEMA DU COMMUTATEUR ET SES LIAISONS A) ES DIFFERENTS BLOCS

CONCLUSION GENERALE

Le développement des circuits logiques a favorisé tout récemment l'utilisation des moteurs pas à pas qui, contrairement aux moteurs classiques, possèdent des alimentations statoriques impulsives.

Comme les performances des moteurs pas à pas sont étroitement liées à l'électronique de commande qui leur est associée, on les désigne parfois sous la vocable de "moteurs électroniques".

Dans notre étude, nous avons voulu rassembler dans un système unique, la commande et le contrôle de la marche séquentielle de quatre moteurs pas à pas.

L'application signalée pour la commande automatique des quatre paramètres de l'accélérateur Van de Graaff du C.S.T.N n'est en fait qu'un exemple d'illustration qui nous a permis de choisir les diverses fréquences de fonctionnement et d'illustrer les problèmes de sécurité qui se posent quand un même dispositif doit servir séquentiellement à plusieurs appareils sans perte d'informations quand on passe de l'un à l'autre.

Ceci étant dit, notre dispositif est polyvalent et peut servir par simple extension à la commande d'un nombre quelconque de moteurs pas à pas travaillant dans des conditions très variables.

Compte tenu du problème très spécifique abordé par notre étude il était bien évident dès le départ que tous les composants nécessaires à sa réalisation n'existaient pas aussi bien à l'école polytechnique qu'au C.S.T.N.

Si tôt l'étude théorique terminée (Tome I), une commande relative aux composants électroniques nécessaires a été faite. Nous avons beaucoup regretté sa non réception à ce jour. De ce fait nous n'avons pu réaliser que les cartes de circuits imprimés servant de support et d'interconnexions entre les composants.

Dès la réception de la commande et la mise en place des C.I. sur les supports prévus à cet effet, les essais de fonctionnement de l'ensemble pourraient être faites en peu de temps.

Etant donné que la conception est entièrement logique, le bon fonctionnement devrait être trouvé très rapidement une attention très sérieuse ayant été apportée à la réalisation du câblage.

Un autre groupe d'élèves ingénieurs pourrait, dès la rentrée de septembre 1979, terminer les essais dès réception du matériel et éventuellement réaliser l'alimentation en puissance des moteurs selon le schéma de principe que nous avons proposé au chapitre VI.

Il est certain que le fonctionnement réel sur table de tout l'ensemble logique + alimentation entre parfaitement dans le cadre d'un autre projet de fin d'étude de ^{de} ingénieurs.

La maquette ainsi réalisée pourrait parfaitement servir dans le cadre d'un laboratoire de TP d'une filière "ingénieurs automaticiens" ou d'une post-graduation en électronique appliquée.

Comme la variation d'un paramètre dépend généralement de relation plus ou moins programmable, il est évident que dans de nombreux cas, la commande des moteurs pas à pas chargée de faire varier ces paramètres pourraient être gérée par microprogramme inscrit dans des mêmes systèmes (microprocesseurs + périphériques associés).

Il est certain que la réalisation de tels systèmes se fera dans un avenir proche et viendra compléter la commande semi-automatique des systèmes tels que celui que nous venons d'étudier.

BIBLIOGRAPHIE

- 1- Texas Instruments: Recueil de notes d'applications
"volume 5"
- 2- J.M Bernard
J.Hugon : de la logique câblée aux microprocesseurs
 - 1°) Tome 2:
Applications directes des circuits
fondamentaux
 - 2°) Tome 3:
Méthodes de conception des systèmes
 - 3°) Tome 4:
Application des méthodes de synthèse
- 3- P.Debraine:
Machines de traitement de l'information
TOME 1:
Etude logique et construction des
circuits
- 4- M.Gaudry: Redresseurs et thyristors
- 5- Texas Instruments: The TTL data book
The optoelectronic
- 6- Cours S.C.S DE Mme G.Mondon
- 7- Radio plan " août 1978 "