

وزارة التربية الوطنية
MINISTERE DE L'EDUCATION NATIONALE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT *Electronique*

المدرسة الوطنية المتعددة التخصصات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

*Conception et réalisation d'une carte de
commande d'un bras manipulateur.*

Proposé par :

M.S.AIT.CHEIKH
C. LARBES

Etudié par :

T. ZENINA
M. SOBANI

Dirigé par

M.S.AIT.CHEIKH
C. LARBES

PROMOTION

juin 1994

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE LEDUCATION NATIONALE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT ELECTRONNIQUE

المدسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

PROJET DE FIN D'ETUDES
pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état
en électronique

SUJET

Conception et réalisation d'une carte de
commande d'un bras manipulateur

proposé par :
M.S. AIT CHEIKH
C.LARBES

étudié par :
T.ZENINA
M.SOBAlHI

Dirigé par:
M.S AIT CHEIKH
C.LARBES

PROMOTION
Juin 94

REMERCIEMENTS

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

Ce projet a été réalisé au département d'Electronique de l'Ecole Nationale Polytechnique, sous la direction de Messieurs **M.S. AIT CHEIKH** et **C.LARBES**, qui ont suivi notre travail avec un intérêt bienveillant et qui nous ont souvent donnée de précieux conseils.

Nous remercions Messieurs, les membres du jury et les enseignants qui ont contribué à notre formation.

Nos remerciements vont également aux Messieurs, **M.OMRANI**, **M.TOUBAL** et **A.KERROUCHI**, enseignants à l'INELEC pour leurs aides et conseils.

Nous remercions nos amis, **RACHID**, **SAID**, **ISMAIL**, **ADEL** et **HAMID** pour leurs aides dans la saisie de notre mémoire.

Enfin, nous remercions tous qui nous ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

DEDICACES

A L'âme de mon père
L'âme de ma mère
Ma deuxième mère
Mes frères et soeurs
Toute ma famille
Tous mes amis

Je dédie ce modeste travail qui
couronne mes longues années
d'études et de persévérances.

Z.Tahar

DEDICACES

A Mes parents
Mes frères
Mes amis: G. Salah, D. Ahmed,
K. Noureddine et M. Ali

Je dédie ce modeste travail qui
couronne mes longues années
d'études et de perseverances.

S. Mohamed

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
دائرة الإلكترونيك
أطروحة مهندس دولة في الإلكترونيك

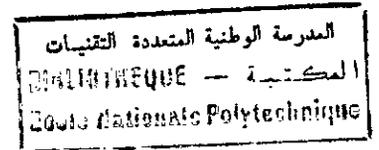
الموضوع : تصميم و إنجاز بطاقة إلكترونية للتحكم و التوجيه
في ذراع متحركة

يتمثل موضوع أطروحتنا في تصميم و إنجاز بطاقة إلكترونية للتحكم و التوجيه في ذراع
متحركة ذات ستة درجات حرية ، هذه البطاقة توصل بعقل إلكتروني.

التحكم في هذه الذراع يتم عن طريق برنامج بلغة البازيك الذي يسمح بتحريك العضو
النهائي لها نحو الهدف المعين.

و كذلك يتم إيصال البطاقة السابقة ببطاقة إلكترونية ثانية ضمنت أيضا لتعويض العقل
الإلكتروني في بعض وظائفه البسيطة.

ABSTRACT



The objectif of this project consists in the design and realization of an electronic card for controlling a robot arm of six degree of freedom.

This card is controlled by a microcomputer through a purpose designed programs enabling the robot arm to move towards different targets.

A simple command card, replacing the microcomputer and its programs and achieving the same objectives, was also built.

RESUME

L'étude porte sur la conception et la réalisation d'une carte de commande d'un bras manipulateur à six degrés de liberté.

Ce dernier est commandé par un logiciel écrit en langage BASIC, permettant le déplacement de l'outil terminal vers l'objectif prédéfini.

Une carte électronique a aussi été conçue et qui réalise les fonctions simples du logiciel.

SOMMAIRE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

INTRODUCTION	3
Généralités sur la robotique	
I.1. Historique	4
I.2. Définition d'un robot.....	5
I.3. Structure générale d'un robot manipulateur.....	5
I.4. Classification des robots.....	8
I.4.1. En fonction de leur Type	8
I.4.1.1. Système point à point (P T P)	8
I.4.1.2. Système à trajectoire continue (C P)	8
I.4.2. En fonction de leur asservissement.....	8
I.4.2.1. Asservissement en boucle ouverte.....	9
I.4.2.2. Asservissement en boucle fermée :	10
I.4.3. Bras manipulateur	11
I.5. Programmation d'un robot :	11
I.5.1. Programmation par apprentissage.....	11
I.5.2. Programmation par langage	12
I.6. Utilisation des robots	13
Etude mécaniques et modélisation des robots manipulateurs	
II.1. STRUCTURE MÉCANIQUE DES BRAS MANIPULATEUR	14
II.1.1. Representation d'un mécanisme.....	14
II.1.2. Les degrés de liberté d'un système mécanique articulé.....	17
II.1.3 Constitution d'une structure mécanique articulée	17
II.1.4. Structure mécanique du mini-robot :	19
II.1.5. Calcul des accroissements angulaire (A A)	20
II.2. MODELISATION DES ROBOTS MANIPULATEURS	22
II.2.1. Introduction	22
II.2.2. Modélisation géométrique directe.....	22
II.2.2.1 Définition.....	22
II.2.2.2 Chaîne cinématique d'un robot manipulateur.....	23
II.2.2.3 Matrice de transformation homogène DH	23
II.2.2.4 Volume de travail	26
II.2.3 Modélisation géométrique inverse.....	26
II.2.3.1. Calcul de modèle inverse	26
II.2.3.2. La méthode analytique	27
II.2.3.3. La méthode itérative.....	27
II.2.4. Application.....	27
II.2.4.1. La modélisation directe du bras manipulateur utilisé.....	27
II.2.4.2. Schéma des repères associés au bras manipulateur	28
II.2.4.3. Tableau des paramètres DH.....	29
II.2.4.4. Matrice DH.....	29
II.2.5 Volume de travail.....	32
II.2.6 Calcul des variables articulaires	33
II.2.6.1 Formulation de la méthode.....	34
II.2.6.2 Organigramme de la méthode de Newton Raphson.....	34
II.2.6.3 Résolution de système linéaire.....	38
II.2.6.4. Discussion de la convergence.....	41
Les moteurs pas à pas	
III.1. Introduction.....	42
III.2 Définition des moteurs pas à pas :	42
III.3 Classification des moteurs pas à pas:	43
III.3.1 Le moteur à réluctance variable :	43
III.3.2- Les moteurs à aimant permanent :	45
III.3.3- Le moteur hybride:	46

III.4 Modes d'excitation :	48
III.4.1. Mode d'excitation monophasé :	48
III.4.2 Mode d'excitation double phase :	49
III.4.3 Mode d'excitation à demi-pas :	50
III.5 Caractéristiques des moteurs pas à pas :	51
III.5.1 Caractéristiques statiques :	51
III.5.2-Caractéristiques dynamiques :	51
III.5.3 Zones de fonctionnements :	52
III.6 Commande des moteurs pas à pas :	54
III.6.1. La connection entre le séquenceur logique et l'étage de puissance :	57
III.7 Asservissement des moteurs pas à pas :	59
III.7.1 Commande en boucle ouverte :	59
III.7.2. Commande en boucle fermée :	60
III.8. Avantage et application des moteurs pas à pas :	60
III.9. Choix des moteurs pas à pas :	61
III.10 Les actionneurs du mini-robot :	62
III.11 Comparaison des trois types de moteurs pas à pas :	62
Conclusion :	64
Conception et réalisation de la carte de commande	
Introduction :	65
IV.1 Carte d'interface P I O (Programming Input Out put) :	65
IV 1.1 Le circuit d'entré-sortie parallèle du Z-80 (PIO) :	65
IV 1.2 Régistres et lignes de contrôle d'un P.I.O. :	65
IV 1.3 Addressage des PIO :	66
IV 1.4 Contrôle du mode de fonctionnement du PIO :	67
IV 1.5 Le circuit PIO :	67
IV.2. Présentation de la carte de commande principale :	69
IV.3 Etage logique :	70
IV.4. Etage de puissance :	73
IV.5. Carte de commande numérique :	76
IV 5.1 Présentation de la carte :	77
IV 5.1.1 L'oscillateur :	77
IV. 5.1.2 Le séquenceur :	78
IV.5.1.3 Le clavier :	83
Programmation	
V.1. Introduction :	84
V.2 Description du système :	84
V.3. Elaboration du logiciel de gestion de minirobot :	85
V.3.1 Description du logiciel COMROB :	85
V.4. Composition de logiciel :	86
V.5. Les organigrammes des programmes :	87
CONCLUSION :	97

INTRODUCTION

INTRODUCTION

L'objet de notre travail est la conception d'une carte de commande numérique d'un bras manipulateur à 6 degrés de liberté. Cette commande consiste à activer les actionneurs de chaque articulation de manière à faire évoluer l'outil terminal du système mécanique vers un point de l'espace donné.

Le cheminement du robot peut se faire suivant :

- Une trajectoire quelconque.
- Une trajectoire prédéfinie à l'avance.
- Une optimisation du temps de parcours.

Les actionneurs de notre bras de type moteur pas à pas lui permettent une bonne adaptation avec ce type de commande.

Ce travail comporte cinq chapitres principaux :

Le premier chapitre décrit une introduction générale à la robotique et donne une définition générale du robot, de sa structure, de sa commande et de différents types de sa programmation.

Le deuxième chapitre englobe deux parties.

La première partie présente une étude mécanique des robots manipulateurs et la seconde concerne leurs modélisations. Le but de ce chapitre est d'associer à notre bras manipulateur le modèle mathématique et la relation entre l'espace des coordonnées cartésiennes de l'organe terminale et l'espace des coordonnées articulaires.

Le troisième chapitre traite des moteurs pas à pas, le but est d'étudier les différentes techniques de leurs commandes.

Le quatrième chapitre décrit la conception et la réalisation de la carte de commande. Cette conception est basée sur l'étude précédente des moteurs pas à pas.

Le cinquième chapitre illustre un logiciel de gestion du bras manipulateur.

Enfin dans la conclusion, nous discutons des résultats obtenus.

Chapitre I

Généralités sur la Robotique

I.1. Historique

Le développement très important, que connaissent actuellement les moyens et méthodes de production automatisée, résulte d'un processus d'évolution continue.

Après la seconde guerre mondiale la fabrication en séries prend une importance accrue en même temps que le coût de la main d'oeuvre augmente. On voit alors apparaître des machines à commande numérique dont le principal avantage est la reconfiguration aisée par changement de programme.

L'automatisation se poursuit et fait appel à des machines qui gardent l'adaptabilité des machines à commande numérique.

Parallèlement, les fonctions de manipulation, de montage de contrôle et d'aide à la décision deviennent plus importantes pour satisfaire les objectifs de la production automatisée de haut niveau. Les techniques d'automatisation indépendantes primitivement, doivent s'appliquer et se développer aujourd'hui conjointement. La naissance des robots, il ya une trentaine d'années environ, a permis de satisfaire en partie ces nouvelles fonction.

On distingue communément deux étapes dans cette courte histoire :

- Les robots de la première génération qui ne sont pas munis de capteurs qui leur permettraient de percevoir l'environnement du travail.
- Les robots de la deuxième génération, qui sont munis de la fonction perception de l'environnement, un robot de ce type constitue un système automatique hautement adaptatif qui se caractérise par la réalisation de tâches dont l'exécution est guidée, par une interaction constante avec son environnement .

Aujourd'hui, la robotique traite des machines bien tangibles qui sont :

- Les robots mobiles sur roues, sur pattes.
- Les robots manipulateur qui n'ont pas nécessairement une structure analogue aux bras humain et qui saisissent, déplacent, ou façonnent des objets.

- Les robots contrôleurs qui vérifient et tiennent des objets.

I.2. Définition d'un robot

Un robot est un manipulateur reprogrammable, polyvalent, capable de manipuler des matériaux, des pièces, des outils et des dispositifs spécialisés selon des mouvements programmés variables.

En d'autres termes, c'est un manipulateur intelligent destiné à exécuter une vaste gamme de tâches.

Il est évident qu'il existe d'autres machines spécialisées, autre que des robots, pouvant exécuter des tâches semblables. La différence réside dans le fait que le robot, n'est pas une machine spécialisée, mais plutôt une partie d'une chaîne de production automatique flexible.

I.3. Structure générale d'un robot manipulateur

Un robot manipulateur est l'ensemble formé par :

1. Une structure mécanique qui supporte l'organe terminal à situer.
 2. Des actionneurs qui servent à agir sur la structure précédente pour en modifier la configuration et donc la position de l'organe terminal.
- Les caractéristiques idéales que doit présenter un actionneur en robotique sont:
- * Une faible inertie pour augmenter la rapidité de réponse du robot manipulateur.
 - * Une grande rigidité pour éviter le déplacement de l'organe terminal sous l'action de la charge qu'il supporte.
 - * Une plage de vitesse continûment variable de $-V_0$ à V_0 .

- * Des non-linéarités réduites (frottement sec, jeu ...).

Les actionneurs les mieux adaptés que l'on rencontre sont :

- * les moteurs à courant continu.
 - * les moteurs pas à pas.
 - * les actionneurs hydrauliques et pneumatiques.
3. Des capteurs divers nécessaires à la commande, parmi lesquels on distingue les capteurs proprioceptifs qui permettent la saisie de l'état mécanique du robot et les capteurs extéroceptifs qui indiquent l'état de l'environnement du robot manipulateur .
 4. Un système de commande qui pilote les actionneurs du robot manipulateur à partir de la définition du mouvement à exécuter transmise par le système décisionnel et des informations délivrées par les capteurs proprioceptifs.
 5. Un système de communication qui gère les messages transmis entre le système décisionnel et l'opérateur via une console de visualisation alphanumérique ou graphique , un système d'analyse et de synthèse vocale, un syntaxeur ...
 6. Un système décisionnel qui assure la fonction de raisonnement et élabore le mouvement du robot manipulateur à partir de la définition de la tâche à exécuter transmise par l'opérateur à l'aide du système de communication.

Cette structure générale d'un robot manipulateur est définie par la fig I.1

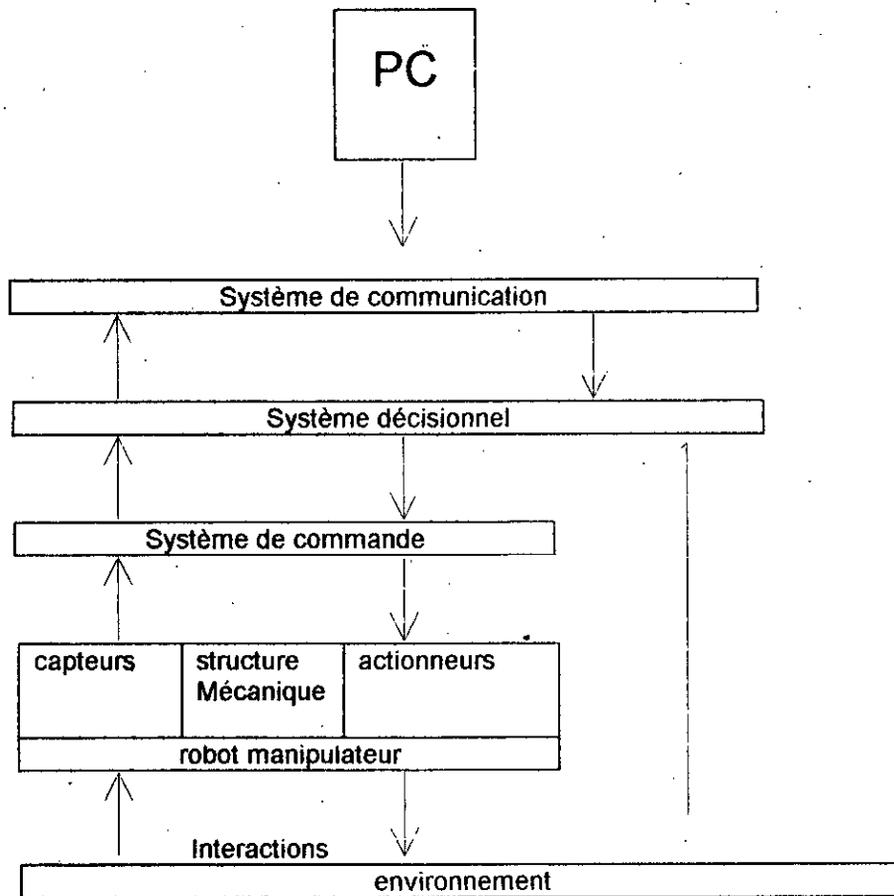


Fig I.1 : Structure générale d'un robot manipulateur.

I.4. Classification des robots

On peut classer les robots de trois façons différentes:

1. en fonction de leur type.
2. en fonction de leur asservissement .
3. suivant la structure de leur bras manipulateur .

I.4.1. En fonction de leur Type

I.4.1.1. Système point à point (P T P)

Les robots de soudure par point sont un bon exemple de robot P T P, un tel engin se déplace d'un point à souder à l'autre .Pour un système P T P le cheminement de l'outil terminal et sa vitesse d'évolution entre deux points n'ont aucune importance fonctionnelle .

I.4.1.2. Système à trajectoire continue (C P)

L'outil terminal des robots à trajectoire continue suit un chemin predefini, à allure relativement régulière .Les degrés de liberté de ces machines évoluent tous simultanément de façon à obtenir un suivi précis de la trajectoire .

I.4.2. En fonction de leur asservissement

Les systèmes robotisés peuvent être asservi en boucle ouverte ou en boucle fermée.

I.4.2.1. Asservissement en boucle ouverte

L'exécution d'un mouvement n'a aucun effet sur les commandes qui l'on provoqué. Les robots asservis en boucle ouverte utilisent généralement des moteurs pas à pas (Fig1.2) qui tournent d'un pas angulaire élémentaire à réception d'une impulsion de commande.

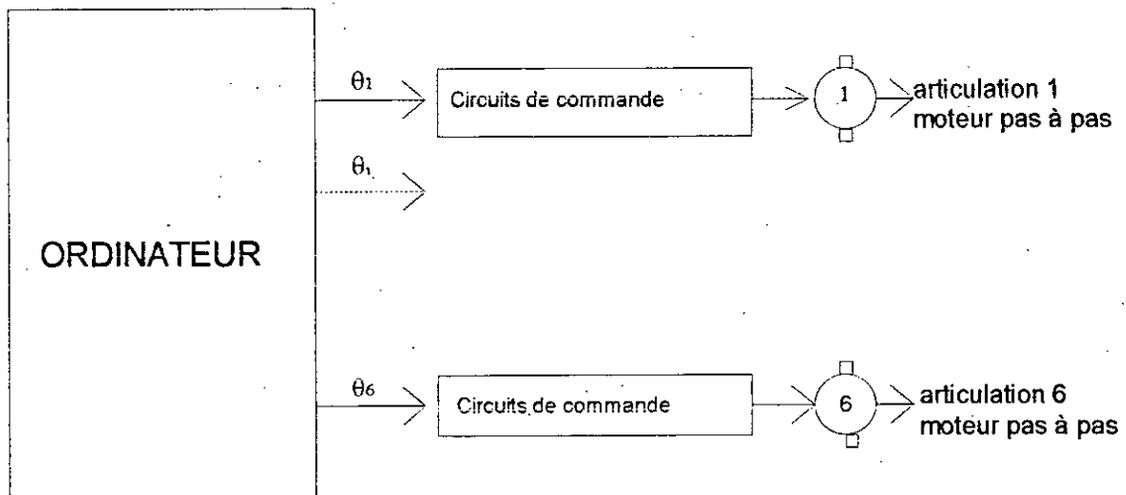


Fig I.2 : Structure d'un robot à six degrés de liberté, Fonctionnant en boucle ouverte.

I.4.2.2. Asservissement en boucle fermée

En boucle fermée, l'exécution d'un mouvement à un effet sur la commande qui l'on provoquée . La plupart des robots modernes sont asservis en boucle fermée. La position de chaque articulation est contrôlée par une boucle à contre réaction .

La figure I.3 montre la structure de l'asservissement d'un degré de liberté en boucle fermée. L'axe du moteur peut mettre une articulation en rotation ou être couplé à la vis d'un vérin mécanique pour actionner sa glissière .

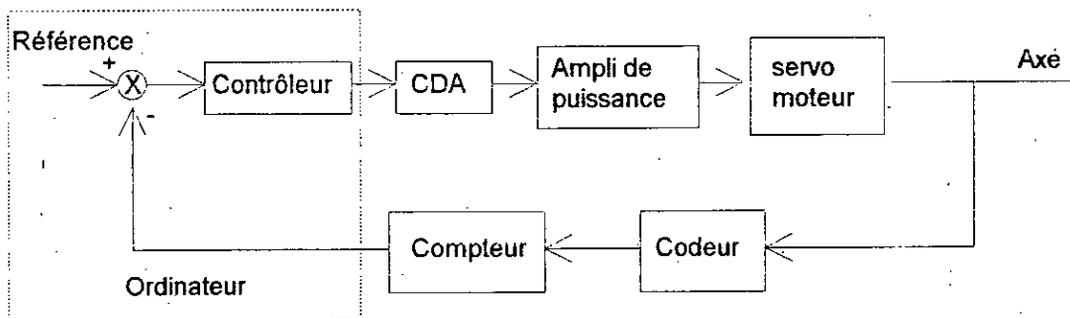


Fig I.3: Schéma bloc d'un système robotique fonctionnant en boucle fermée.

I.4.3. Bras manipulateur

Il s'agit de l'ensemble mécanique qui constitue le support de base du robot, le bras articulé et le poignet possèdent généralement six degrés de liberté.

On classe généralement les robots en fonctions des systèmes de coordonnées dans lesquels ils travaillent:

Cartésien : comprend trois axes de translation (T T T)

Cylindrique : comprend deux axes de translations et un axe de rotation(TTR)

Sphérique : comprend un axe de translation et deux axes de rotation (TRR)

Articulé : comprend trois axes de rotation (RRR)

I.5. Programmation d'un robot

Il existe deux modes de programmation par apprentissage et par écriture d'un programme dans un langage de programmation adéquat .Ces deux méthodes se différencient par la façon dont elles sont employées .

I.5.1. Programmation par apprentissage

Dans ce mode de programmation , l'opérateur fait décrire à l'organe terminal du robot le parcours nécessaire pour accomplir le travail demandé. Les déplacements élémentaires du bras sont mémorisés de façon à être répétés pendant l'exécution du programme. Deux différentes méthodes de mémorisation de la trajectoire sont possible:

- La mémorisation de quelques positions intéressantes pour l'exécution des tâches à accomplir sans se préoccuper de savoir ce que fera le robot entre une position et l'autre .
- La mémorisation des différentes positions par lesquelles passe le bras en utilisant une horloge interne qui détermine la fréquence d'échantillonnage.

I.5.2. Programmation par langage

Dans ce cas l'opérateur décrit les séquences d'opérations désirées comme instructions d'un programme écrit dans un langage évolué tel que Basic , Pascal , Fortran , dont l'exécution donne lieu en suite à la répétition du travail par le robot.

En plus des langages évolués ordinaires utilisés pour programmer des tâches simples, on a des langages spéciaux qui répondent mieux aux difficultés suivantes:

1. La difficulté de décrire l'univers d'un robot en terme purement quantitatifs.
2. La prévention des collisions .
3. Les informations provenant des capteurs, peuvent être très difficiles à interpréter par le programme .
4. La difficulté de visualiser, dans un espace tridimensionnel.

Parmi Les programmes spéciaux nous trouvons :

- Le MAL et le ARMBASIC: qui sont des extensions du langage Basic.
- Le VAL qui a été développé par Unimation pour les différents modèles du robot Puma.
- Le langage SIGLA : conçu par Olivetti et qui permet de synchroniser plusieurs robots .

tous ces langages sont aujourd'hui exploitables industriellement et contribueront sans doute de manière importante à l'essor de la robotique .

I.6. Utilisation des robots

Les robots industriels ont été fabriqués pour accroître la productivité et améliorer la qualité au sein des processus industriels.

Certains des domaines actuellement couverts par la robotique sont :

- l'alimentation et déchargement des machines outils
- la manutention, par exemple en fonderie
- le soudage
- la peinture au pistolet
- l'assemblage
- les opérations d'usinage, telles que le perçage et le chariotage
- le contrôle qualité.

Chapitre II

**Etude Mécanique
& Modélisation
des Robots Manipulateurs**

II.1. STRUCTURE MÉCANIQUE DES BRAS MANIPULATEUR

La structure mécanique d'un robot manipulateur industriel est un ensemble de corps rigides, assemblés à l'aide de liaisons. Elle constitue le lien physique entre un lieu de référence et le lieu de la tâche à réaliser par le robot :

- Le lieu de référence est un référentiel situé à la base du robot avec une orientation quelconque, mais connue.
- Le lieu de la tâche est défini par un vecteur selon un point d'application et une direction, relatifs au référentiel de la base.

II.1.1. Représentation d'un mécanisme

Une norme (AFNOR) définit la représentation des différentes combinaisons des liaisons mécaniques élémentaires. Elle permet la simplification de la représentation graphique. En robotique, seuls trois types sont employés :

- la liaison encastrement qui constitue le lien entre la base du robot et le support.

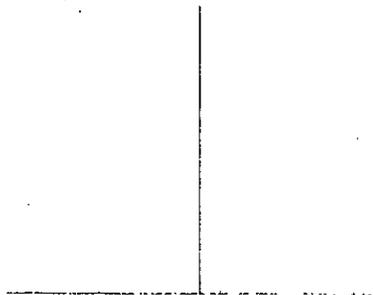


Fig II.1. : Liaison encastrement

- la liaison pivot R ayant un degré de liberté en rotation.

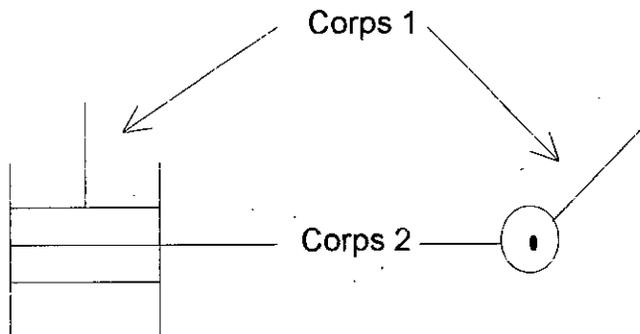


Fig II.2. : Liaison pivot

- la liaison glissière T qui permet une seule mobilité en translation

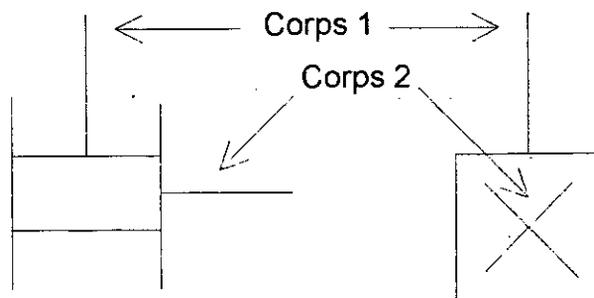


Fig II. 3. : Liaison glissière

- La figure ci dessous donne une representation graphique du bras manipulateur utilisé dans le cadre de notre projet:

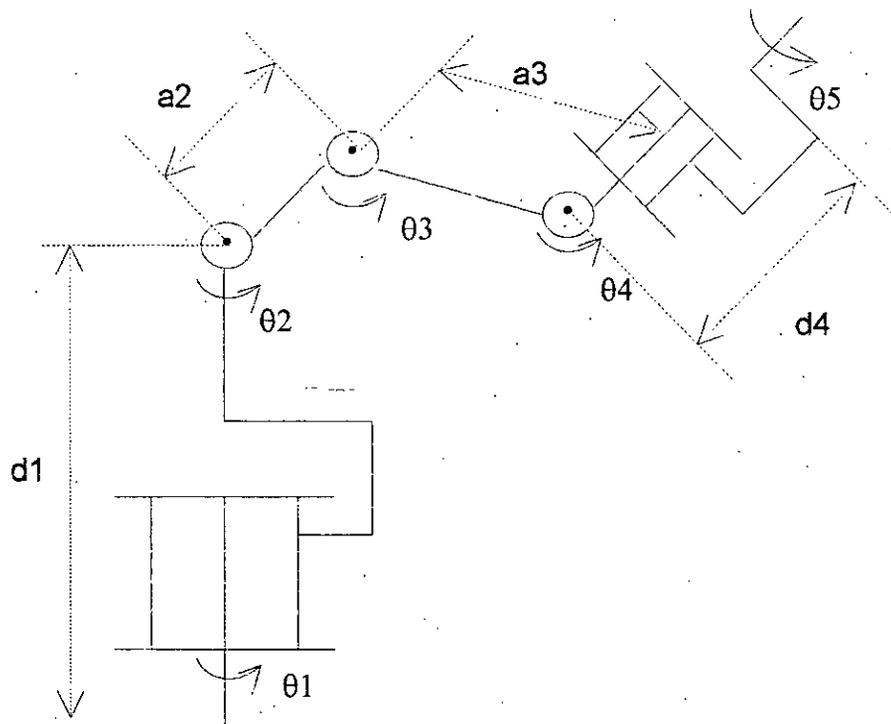


Fig II.4. : Reprerentation graphique de bras manipulateur utilisé

II.1.2. Les degrés de liberté d'un système mécanique articulé

Le nombre de degrés de liberté ou axes de liaison représentent le nombre de mouvement élémentaire (rotation ou translation) par rapport au référentiel de base appliqués à un solide indéformable lié à l'extrémité de la structure mécanique.

II.1.3 Constitution d'une structure mécanique articulée

La structure mécanique d'un robot se distingue par trois ensembles (voir fig II.5.) . Le véhicule, le porteur et l'organe terminal .

- * le véhicule : il assure le transport de toute la structure mécanique vers la zone d'action.
- * Ce sous-ensemble est inexistant sur les robots industriels à poste fixe, ce qui est le cas de notre bras.
- * le porteur : son rôle consiste à mener l'organe terminal du robot vers un lieu précis de l'espace , une combinaison de trois degrés de liberté (rotation et/ou translation) est nécessaire pour cet ensemble.
- * l'organe terminal : l'organe terminal assure l'orientation d'un vecteur passant par l'extrémité du porteur. trois degrés de liberté en rotation autour de trois axes concourant sont nécessaire pour atteindre toutes les orientations possibles.

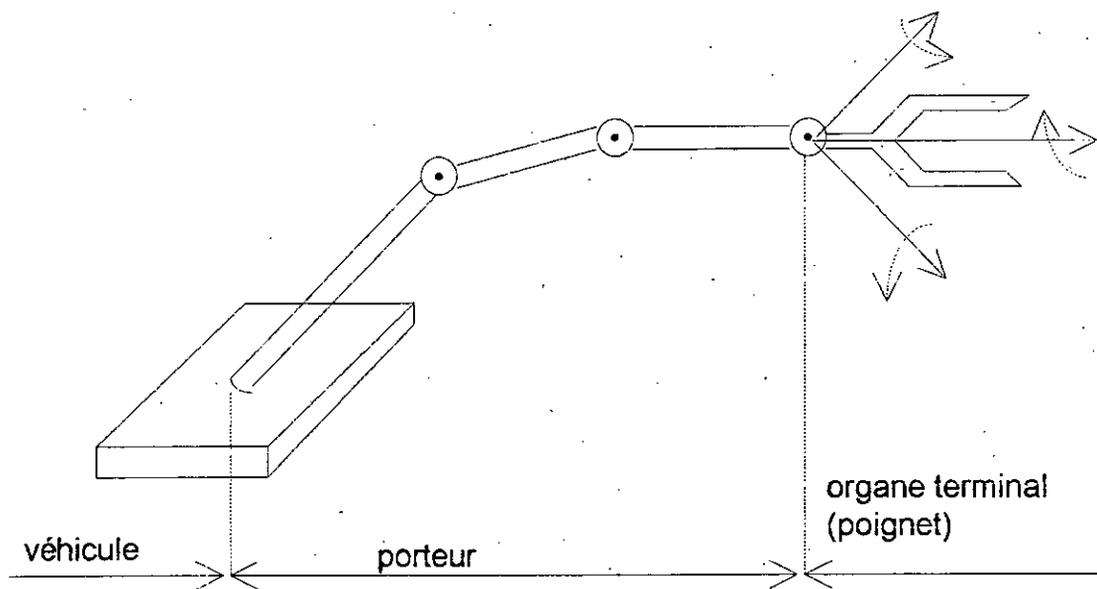


Fig II.5. : Structure mécanique d'un robot manipulateur.

II.1.4. Structure mécanique du mini-robot :

la fig II.6. représente le bras manipulateur étudié, sa géométrie et ses six degrés de liberté lui donnent une souplesse maximal à l'exécution pratique des différentes tâches programmées.

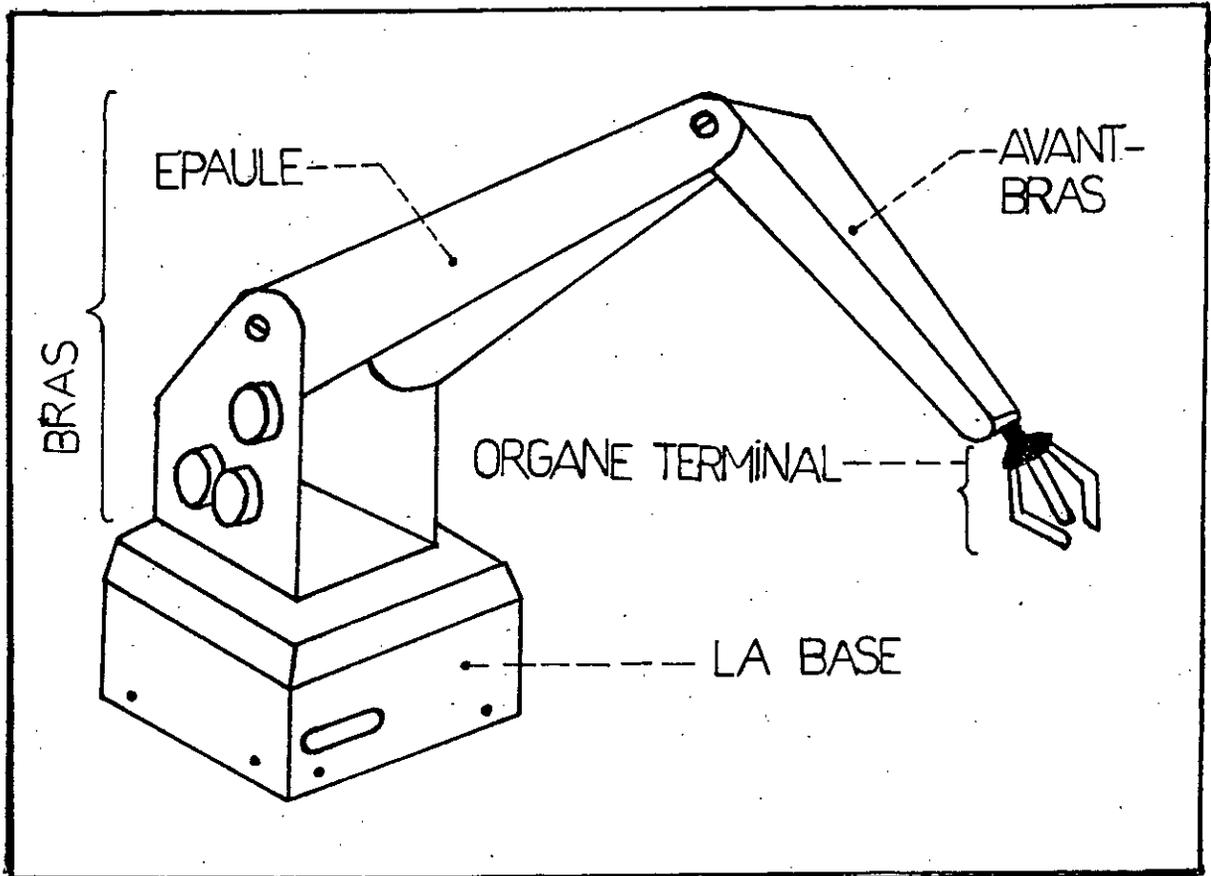


Fig II.6: le bras manipulateur mini-robot

1. Son véhicule est constitué par une base fixe qui contient la carte d'interface et le moteur qui commande la rotation de bras.
2. Le porteur est constitué par les parties fondamentales suivantes :
 - * Le bras : qui tourne sur la base au moyen de l'engrenage principal , il porte cinq moteurs et leurs reducteurs qui s'accouplent avec les engrenages de l'avant-bras, l'épaule et du poignet.
 - * L'épaule : tourne autour d'un axe horizontal de bras, la partie inférieure qui porte les engrenages et les câble qui mettent en mouvement l'avant-bras, le poignet et la main .

* l'avant-bras : qui tourne autour d'un axe horizontal sur l'épaule et porte les engrenages conique du poignet .

3. l'organe terminal est constitué par :

* le poignet : celui-ci a deux mouvements de rotations ; la rotation autour de l'axe de la main (tangage) et la rotation de la main autour de l'axe horizontal (vers le haut et vers le bas) . .

* La première rotation est obtenue en mouvant les deux engrenages coniques dans des directions opposées et la seconde en mouvant le couple conique dans la même direction.

- la main , elle est dotée de trois doigts ayant ses extrémités en caoutchouc et peut simplement s'ouvrir et se fermer .

II.1.5. Calcul des accroissement angulaire (A A)

Les calculs indiqués ci-dessous permettent de connaître la relation entre chaque pas du moteur et l'accroissement angulaire de chaque joint .

Ces constantes sont nécessaires pour l'utilisateur qui veut atteindre des objectifs bien précis dans l'environnement de bras manipulateur .

1. accroissement angulaire de bras (A A B) :

$$A A B = \text{angle du pas} \times \text{rapport 1} \times \text{rapport 2} \quad (2.1)$$

$$= 7,3 \times \frac{20 \text{ dents}}{72 \text{ dents}} \times \frac{12 \text{ dents}}{108 \text{ dents}}$$

$$= 0.2253 \text{ degés par pas .}$$

$$= 4.4384 \text{ pas par degé .}$$

2- accroissement angulaire de l'épaule (A A E) :

$$A A E = \text{Angle du pas} \times \text{rapport 1} \times \text{rapport 2} \quad (2.2)$$

$$= 7,3 \times \frac{14 \text{ dents}}{72 \text{ dents}} \times \frac{12 \text{ dents}}{108 \text{ dents}}$$

$$= 0.1577 \text{ degrés par pas}$$

$$= 6.3405 \text{ pas par degré.}$$

3. accroissement angulaire de l'avant-bras (A A C) :

$$A A C = A A E \quad (2.3)$$

$$= 0.1577 \text{ degrés par pas}$$

$$= 6.3405 \text{ pas par degré.}$$

4- accroissement angulaire de poignet (A A P) :

$$A A P = A A B \quad (2.4)$$

$$= 0.2253 \text{ degrés par pas}$$

$$= 4.4384 \text{ pas par degré.}$$

5- accroissement angulaire de la Main (A A M) :

$$A A M = 7.3 \frac{20 \text{ Dents}}{72 \text{ Dents}} \cdot \frac{12 \text{ Dents}}{108 \text{ Dents}} \quad (2.5)$$

$$= 0.2253 \text{ degrés par pas}$$

le mouvement de la main par pas de moteur est :

$$= \frac{\pi \cdot d \cdot 0.2253}{360 \times 2}$$

$$= 0.0256 \text{ mm} \quad \text{avec } d = 26 \text{ mm diamètre de la poulie.}$$

Mouvement total de la main de l'ouverture à la fermeture est : 40.0 mm .

l'angle réalisé par chaque doigt = 50°

On a donc : $\frac{50}{40.0} \cdot 0.0256 = 0.03195$ degrés par pas .

II.2. MODELISATION DES ROBOTS MANIPULATEURS

II.2.1.Introduction

Un robot manipulateur est caractérisé par une structure articulée simple ou multiple, dont les segments sont mobiles les uns par rapport aux autres . C'est ensemble à pour objectif de mener l'organe terminal vers un lieu géométrique imposé par la tâche qui est définie dans un espace opérationnel. [5]

Lorsque'on choisit un robot manipulateur , pour réaliser une telle tâche, la difficulté de la synthèse de la commande provient du fait que ses actionneurs n'agissent pas directement dans l'espace opérationnel, mais dans l'espace généralisé.[5]

Donc il est nécessaire de faire une transposition de l'espace opérationnel vers l'espace généralisé, qui est l'objectif de ce présent chapitre .

II.2.2.Modelisation géométrique directe

II.2.2.1 Définition

le modèle géométrique direct d'un robot manipulateur est la fonction f qui permet d'exprimer la situation de l'organe terminal en fonction de la configuration du robot manipulateur .

La situation de l'organe terminal est définie par m coordonnées opérationnelles que nous notons :

$$x = (x_1 \ x_2 \ \dots \ x_m)^T .$$

La configuration du robot manipulateur est définie par n coordonnées généralisées que nous notons:

$$q = (q_1 \ q_2 \ \dots \ q_n)^T \dots$$

telque q représente une distance d ou un angle θ suivant le type de liaison. d'ou le modele geometrique du robot manipulateur est

$$x = f(q)$$

II.2.2.2 Chaîne cinématique d'un robot manipulateur.

Un robot manipulateur est constitué de n corps solides articulés entre eux, suivant une structure de chaîne par des liaisons rotoides R ou/et prismatique P . [4].

Le premier corps de la chaîne est articulé sur un bâti fixe et le dernier corps supporte l'organe terminal.

On associe à chaque corps c_i un repère orthonormé R_{i+1} .

II.2.2.3 Matrice de transformation homogène DH .

La matrice de transformation définit les relations géométriques qui existent entre deux repères consécutifs R_i et R_{i-1} , en fonction de la variable d'articulation $q_i = \theta_i$ s'il s'agit d'un axe de rotation, $q_i = d_i$ s'il s'agit d'un axe de translation.

La position et l'orientation de repère R_i par rapport à R_{i-1} sont définies par les quatre paramètres dits de DENAVIT HARTINBERG (DH) [16] :

a_i : représente la longueur de la perpendiculaire commune aux axes Z_{i-1} et Z_i

d_i : représente la valeur de la coordonnée de l'origine du système d'axe O_i sur l'axe Z_{i-1} .

α_i : c'est l'angle entre l'axe Z_{i-1} et l'axe Z_i obtenus en tournant Z_{i-1} vers Z_i autour de l'axe X_i

θ_i : c'est l'angle entre X_i et X_{i-1} mesuré autour de Z_i

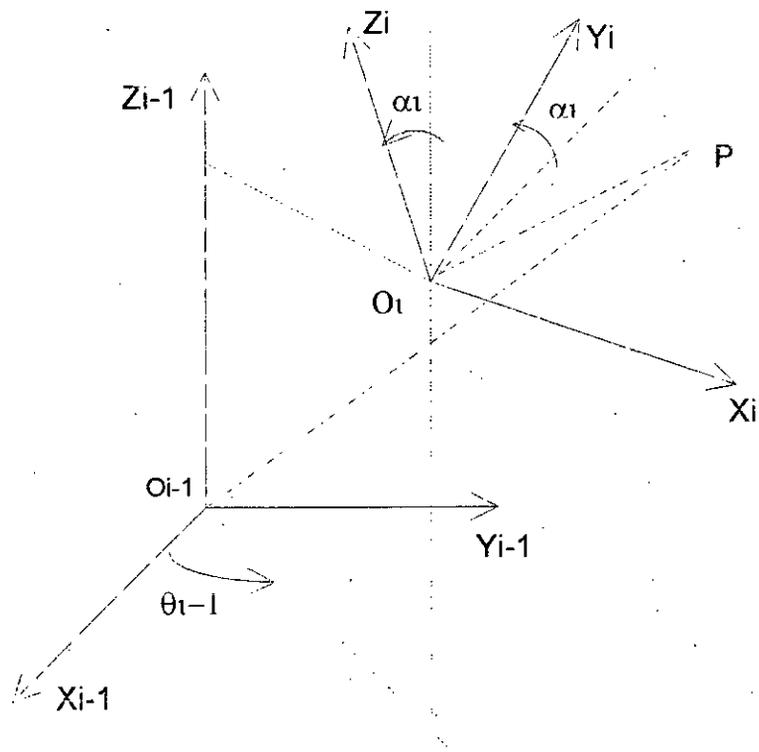


Fig II.7 : Représentation graphique de deux repères successifs

Ces paramètres contribuent à la définition d'une matrice $T_{i-1, i}$ homogène de passage d'un référentiel $i-1$ à un référentiel i est donnée par [4] :

$$T_{i-1, i} = \begin{bmatrix} \cos \theta_i & -\sin \theta_i \cos \alpha_i & \sin \theta_i \sin \alpha_i & a_i \cos \theta_i \\ \sin \theta_i & \cos \theta_i \cos \alpha_i & -\cos \theta_i \sin \alpha_i & a_i \sin \theta_i \\ 0 & \sin \alpha_i & \cos \alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

le produit de ces matrices élémentaires donne la matrice de passage homogène de repère R_0 lié au bâti au repère R_n lié à l'organe terminal :

$$\begin{aligned} T_{0, n}(q_1 \dots q_n) &= T_{01}(q_1) \cdot T_{12}(q_2) \cdot \dots \cdot T_{n-1, n}(q_n) \\ &= \prod_{i=0}^{n-1} T_{i, i+1}(q_{i+1}) \end{aligned}$$

Donc on a :

$$\vec{OP} / R_0 = T_{0, n} \cdot \vec{OP} / R_n$$

avec P un point quelconque de l'espace.

Cette matrice s'obtient par rotation et translation de repère R_i dans le repère R_{i-1} , d'où la structure suivante de la matrice [16] :

$$T_{i-1,i} = \begin{bmatrix} C_{i-1,i} & d_{i-1,i} \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

avec $C_{i-1,i}$ est la matrice de dimension 3×3 d'orientation de repère R_i et $d_{i-1,i}$ est le vecteur qui donne la position de l'origine de référentiel R_i dans le référentiel R_{i-1} .

II.2.2.4 Volume de travail

Le volume de travail d'un robot manipulateur est défini comme étant l'espace physique engendré par un point de l'organe terminal lorsque la configuration du robot évolue.

Pour réaliser une telle tâche, l'opérateur doit choisir un point but qui appartient à ce volume.

II.2.3 Modélisation géométrique inverse.

Au moment de la conception ou de la synthèse de la commande d'un robot manipulateur, le problème se pose de déterminer les coordonnées généralisées qui correspondent aux coordonnées opérationnelles données [5].

Résoudre ce problème consiste à calculer une fonction réciproque $q_i = f^{-1}(x_i)$ qui constitue un modèle géométrique inverse du robot manipulateur.

La difficulté de cette révolution réside dans le fait que la fonction f est non-linéaire.

II.2.3.1. Calcul de modèle inverse

La détermination du modèle inverse f^{-1} s'effectue selon deux méthodes :

- la méthode analytique
- la méthode itérative.

II.2.3.2. La méthode analytique

La méthode analytique consiste à établir toutes les fonctions f^{-1} reliant chaque variable articulaire à toutes les variables opérationnelles et ceci quelle que soit la configuration du robot. Cette méthode assure la détermination de toutes les solutions possibles.

Plusieurs méthodes analytiques sont disponibles telle que la méthode de quaternion [15], [16]

II.2.3.3. La méthode itérative

la méthode itérative [5] permet d'extraire le modèle inverse de manière générale mais a l'inconvénient de nécessiter un grand nombre de calculs et peut poser des problèmes de convergence pour la détermination numérique des q_j , on peut avoir recours à:

1. La méthode de NEWTON RAPHSON de linéarisation de la matrice [15].
2. La méthode utilisant la matrice Jacobienne [15]
3. La méthode d'optimisation [15]

II.2.4. Application

II 2.4.1. La modélisation directe du bras manipulateur utilisé

Nous allons étudier, dans cette section, l'application pratique des matrices de déplacement de type DH, qu'on a vue dans la section précédente sur le bras manipulateur utilisé dans le cadre de ce projet. Ce dernier constitué d'un porteur et d'un poignet, le porteur se compose de trois segments bras, avant-bras et l'épaulé. L'appellation poignet recouvrant les autres articulations qui existent à l'extrémité du bras.

II 2.4.2. Schéma des repères associé au bras manipulateur

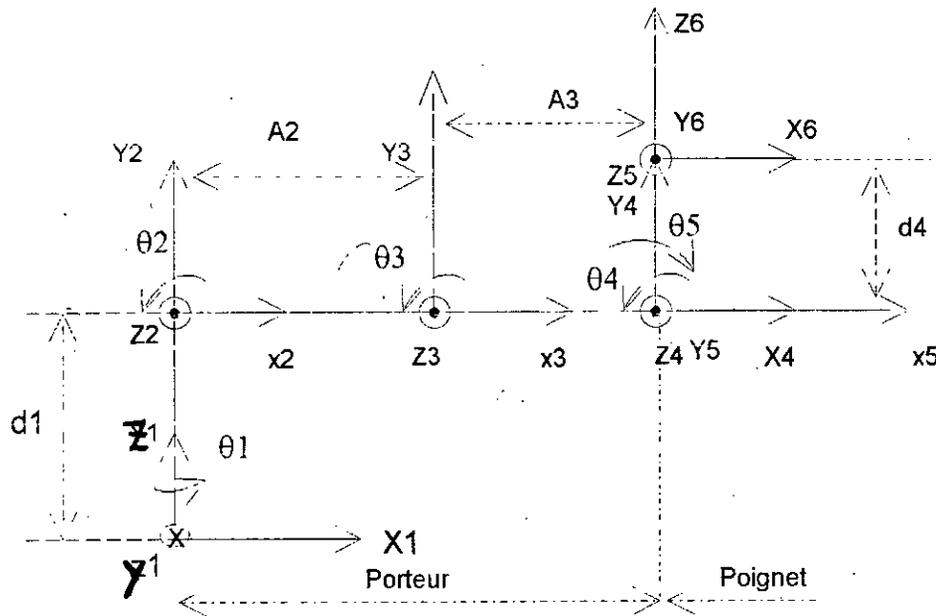


Fig II.8 : Schéma des repères associés au bras manipulateur.

La configuration représentée correspond à :

$$\theta_i = 0 \quad (i=1,5)$$

II.2.4.3. Tableau des paramètres DH

Articulation	θ_i	α_i	a_i	d_i
1	θ_1	$90^\circ = \alpha_1$	$0 = a_1$	d_1
2	θ_2	$0 = \alpha_2$	a_2	$0 = d_2$
3	θ_3	$0 = \alpha_3$	a_3	$0 = d_3$
4	θ_4	$90^\circ = \alpha_4$	$0 = a_4$	$0 = d_4$
5	θ_5	$0 = \alpha_5$	$0 = a_5$	d_5

La sixième variable articulaire θ_6 définit l'ouverture et la fermeture de la pince.

II.2.4.4. Matrice DH

Les matrices de transformation sont alors obtenues en portant les paramètres du tableau ci dessus dans la matrice élémentaire $T_{j-1, j}$:

$$T_{12} = \begin{bmatrix} C_1 & 0 & S_1 & 0 \\ S_1 & 0 & -C_1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_{23} = \begin{bmatrix} C_2 & -S_2 & 0 & a_2 C_2 \\ S_2 & C_2 & 0 & a_2 S_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_{34} = \begin{bmatrix} C_3 & -S_3 & 0 & A_3 C_3 \\ S_3 & C_3 & 0 & A_3 S_3 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_{45} = \begin{bmatrix} C_4 & 0 & -S_4 & 0 \\ S_4 & 0 & C_4 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_{56} = \begin{bmatrix} C_5 & -S_5 & 0 & 0 \\ S_5 & C_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

On obtient alors la matrice de passage totale du référentiel R_1 au référentiel R_6 en effectuant le produit de ces matrices :

$$\mathbf{T}_{16} = \mathbf{T}_{12} \times \mathbf{T}_{23} \times \mathbf{T}_{34} \times \mathbf{T}_{45} \times \mathbf{T}_{56} = \prod_{i=1}^5 \mathbf{T}_{i+1}$$

$$\mathbf{T}_{16} = \begin{bmatrix} t_{11} & t_{12} & t_{13} & x_p \\ t_{21} & t_{22} & t_{23} & y_p \\ t_{31} & t_{32} & t_{33} & z_p \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

avec:

$$t_{11} = c_1 c_4 c_5 c_{2+3} - c_1 s_2 + 3 s_4 c_5 - s_1 s_5$$

$$t_{21} = s_1 c_4 c_5 c_{2+3} - s_1 s_2 + 3 s_4 c_5 + c_1 s_5$$

$$t_{31} = s_2 + 3 c_4 c_5 + s_4 c_5 c_{2+3}$$

$$t_{12} = -c_1 c_2 + 3 c_4 s_5 + c_1 s_2 + 3 s_4 s_5 - s_1 c_5$$

$$t_{22} = -s_1 c_2 + 3 c_4 s_5 + s_1 s_2 + 3 s_4 s_5 + c_1 c_5$$

$$t_{32} = -c_4 s_5 s_{2+3} - s_4 s_5 c_{2+3}$$

$$t_{13} = -c_1 s_4 c_{2+3} - c_1 c_4 s_{2+3}$$

$$t_{23} = -s_1 s_4 c_{2+3} - s_1 c_4 s_{2+3}$$

$$t_{33} = -s_4 s_{2+3} + c_4 c_{2+3}$$

$$x_p = (a_3 - d_4 s_4) c_1 c_{2+3} - d_4 c_1 c_4 s_{2+3} + a_2 c_1 c_2$$

$$y_p = (a_3 - d_4 s_4) s_1 c_{2+3} - d_4 s_1 c_4 s_{2+3} + a_2 s_1 c_2$$

$$z_p = (a_3 - d_4 s_4) s_{2+3} + d_4 c_4 c_{2+3} + a_2 s_2 + d_1$$

et

$$c_i = \cos \theta_i$$

$$s_i = \sin \theta_i$$

$$s_{i+J} = \sin (\theta_i + \theta_J)$$

$$c_{i+J} = \cos (\theta_i + \theta_J)$$

II.2.5 Volume de travail

Le volume de travail est déterminé, en tenant compte de deux limitations :

1. La plage de variation d'une coordonnée généralisée est bornée :
 $\theta_i \in [\theta_i \text{ min} , \theta_i \text{ max}]$
2. Les dimensions principales des corps constituant le robot manipulateur sont fixés.

Dans notre cas les plages de variation des θ_i sont indiqués dans le tableau suivant :

i	1	2	3	4	5	6
$\theta_i \text{ min}$	0°	-25°	-90°	-90°	-90°	0
$\theta_i \text{ max}$	360°	120°	50°	90°	90°	50°

Les dimensions de bras manipulateur sont définis par les valeurs numériques suivantes:

$$d_1=24 \text{ cm} \quad a_2=a_3=19 \text{ cm} \quad d_4=4 \text{ cm}$$

II.2.6 Calcul des variables articulaires

La méthode DH nous a permis d'extraire le système non-linéaire suivant, reliant la position à atteindre par l'organe terminal (x_p, y_p, z_p) et les variables articulaires θ_i ($i = \overline{1,5}$):

$$x_p = (a_3 - d_4 s_4) c_1 c_{2+3} - d_4 c_1 c_4 s_{2+3} + a_2 c_1 c_2$$

$$y_p = (a_3 - d_4 s_4) s_1 c_{2+3} - d_4 s_1 c_4 s_{2+3} + a_2 s_1 c_2$$

$$z_p = (a_3 - d_4 s_4) s_{2+3} + d_4 c_4 c_{2+3} + a_2 s_2 + d_1$$

C'est un système de trois équations et quatre inconnues, dont θ_1 peut être déduit à partir de schéma des repères associés au bras manipulateur (Fig II.3)

$$\theta_1 = \text{Arctg} (y_p / x_p).$$

On résout ce système par la méthode de Newton Raphson [15] qui consiste à:

- linéariser le système.
- résoudre le nouveau système linéaire par la méthode de Gauss.

On remarque que la cinquième variable articulaire (θ_5) ne configure pas sur ce système, à cause du mouvement de l'organe terminal. (voir page 20). D'après la caractéristique de ce mouvement, on distingue que $|\theta_5| = |\theta_4|$, il reste à l'utilisateur de choisir le sens de rotation de θ_5 , suivant la tâche voulue

II.2.6.1 Formulation de la méthode

Nous avons le système suivant :

$$f_1(\theta) = x_p - \left((a_3 - d_4 s_4) c_1 c_{2+3} - d_4 c_1 c_4 s_{2+3} + a_2 c_1 c_2 \right) = 0$$

$$f_2(\theta) = y_p - \left((a_3 - d_4 s_4) s_1 c_{2+3} - d_4 s_1 c_4 s_{2+3} + a_2 s_1 c_2 \right) = 0$$

$$f_3(\theta) = z_p - \left((a_3 - d_4 s_4) s_{2+3} + d_4 c_4 c_{2+3} + a_2 s_2 + d_1 \right) = 0$$

Soit :

$$\theta^{(0)} = (\theta_2^{(0)}, \theta_3^{(0)}, \theta_4^{(0)})$$

Un point initial donné considéré comme une approximation de la solution. Le développement en série de Taylor de ces fonctions nous donne:

$$f_i(\theta^{(n)}) + \sum_{j=2}^4 \Delta \theta_j^{(n)} \frac{\partial f_i^{(n)}}{\partial \theta_j} = 0 \quad (i = \overline{1,3})$$

$$\theta^{(n+1)} = \theta^{(n)} + \Delta \theta^{(n)}$$

II.2.6.2 Organigramme de la méthode de Newton Raphson

Les paramètres qui sont utilisés dans l'organigramme :

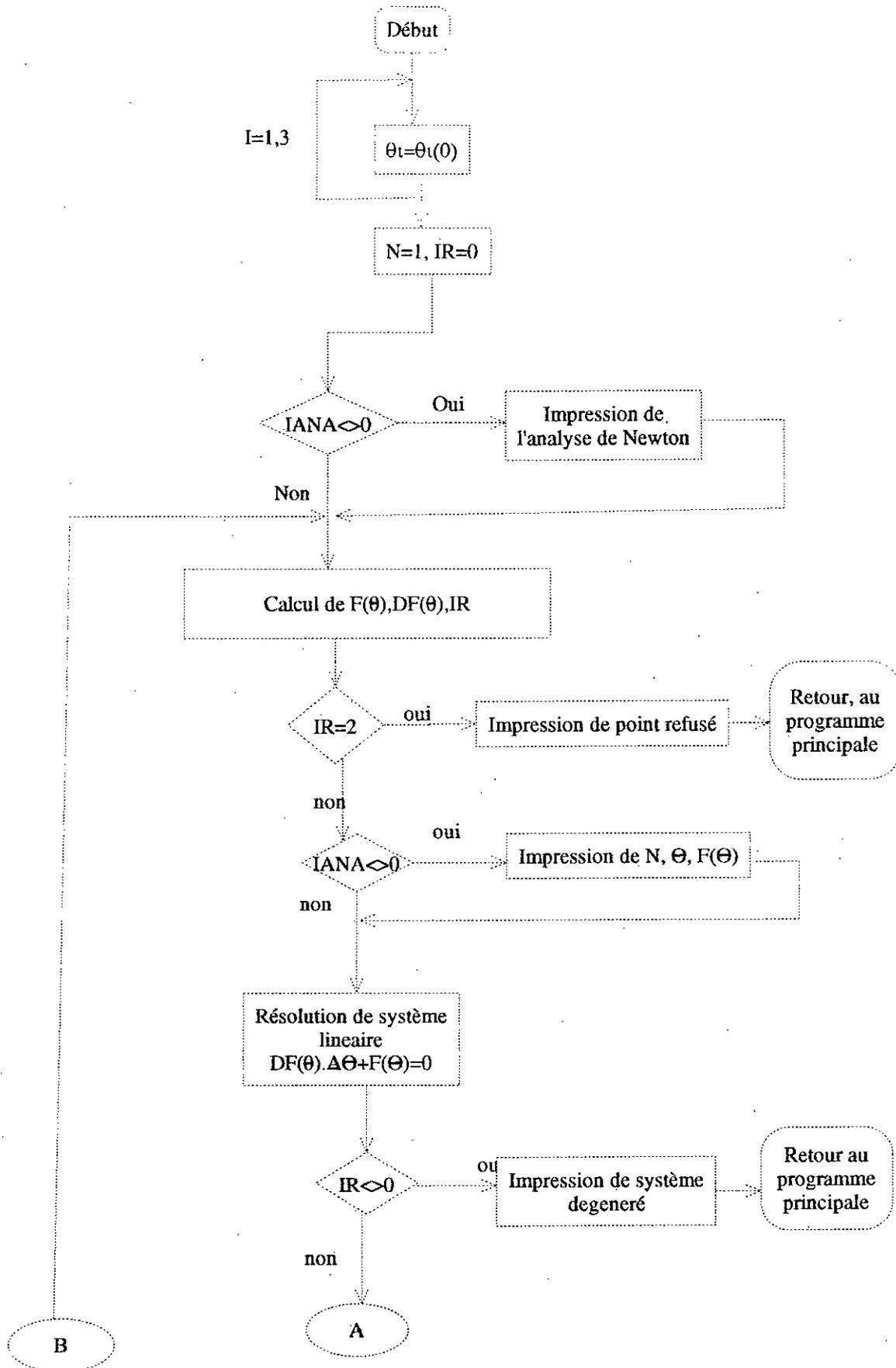
N : nombre d'itérations.

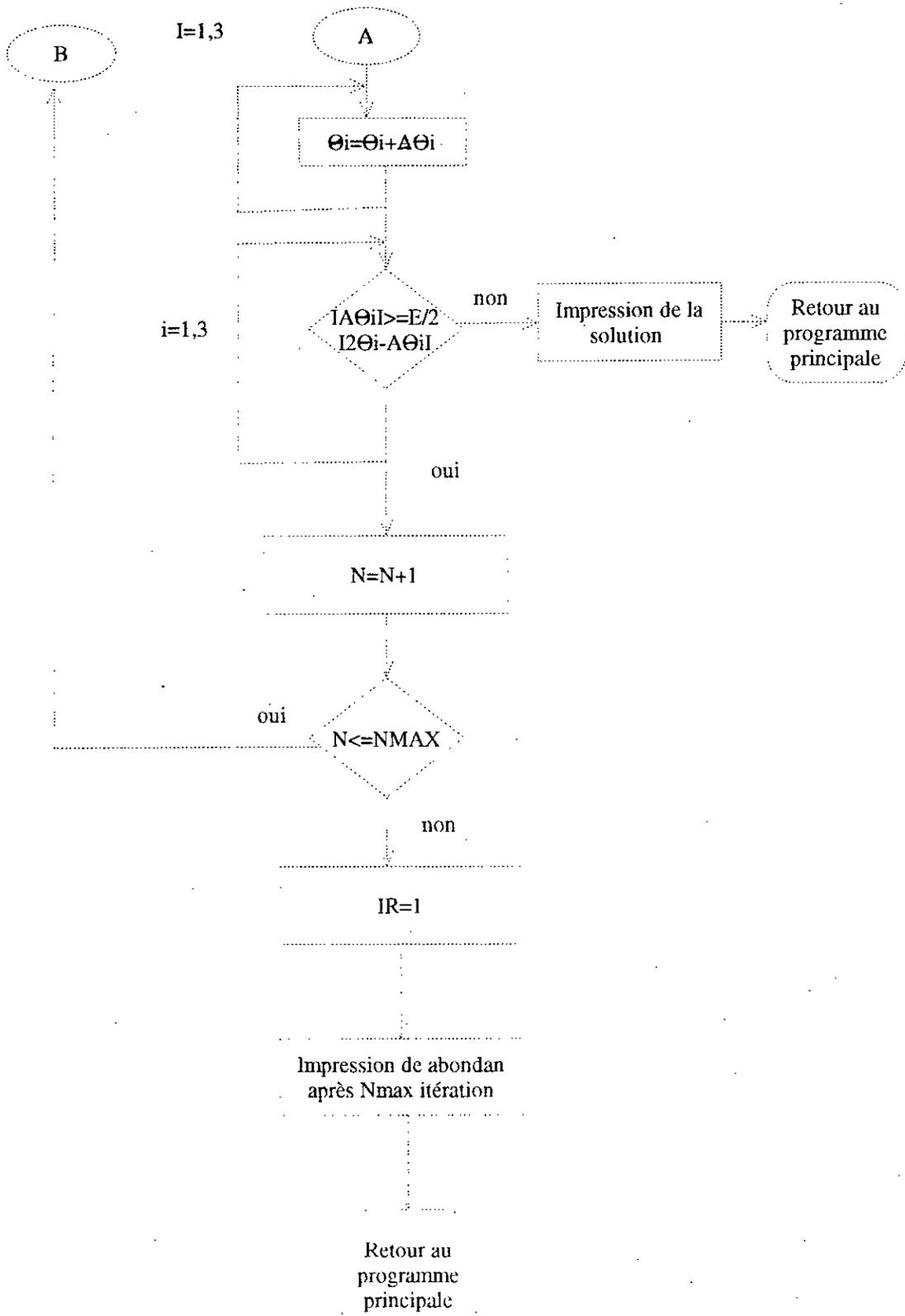
N MAX : nombre maximal d'itérations désirés.

ε : représente la précision relative.

- . IANA=0 : permet d'imprimer les vecteurs θ et $F(\theta)$.
- I R : control le bon déroulement de calcul.
- I R = 0 : le calcul s'est déroulé normalement
- I R = 1 : la solution n'a pas été trouvé après Nmax iterations
- I R = 2 : cela veut dire qu'un incident s'est produit au cours de calcul.

Organigramme de la méthode de Newton Raphson





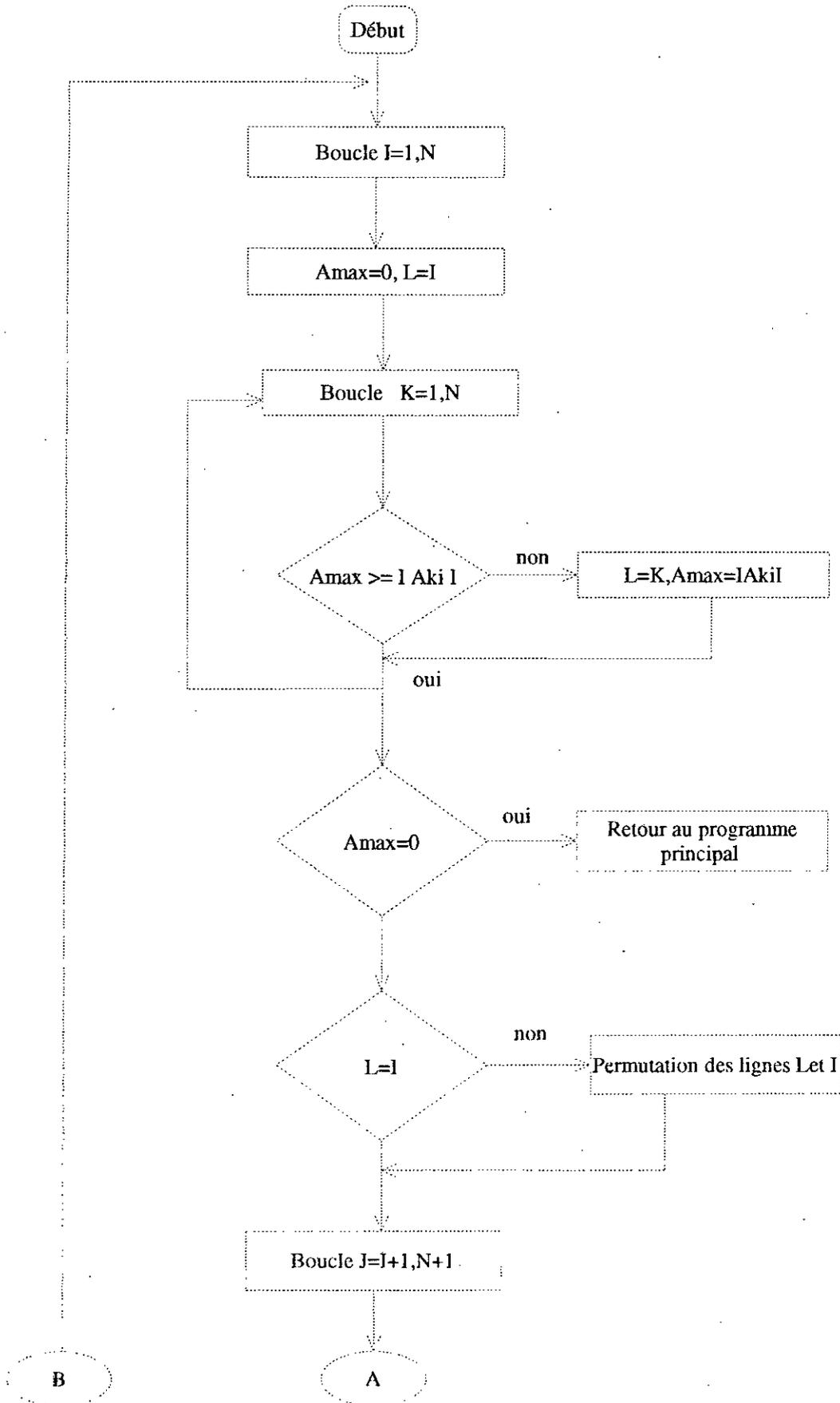
II.2.6.3 Résolution de système linéaire.

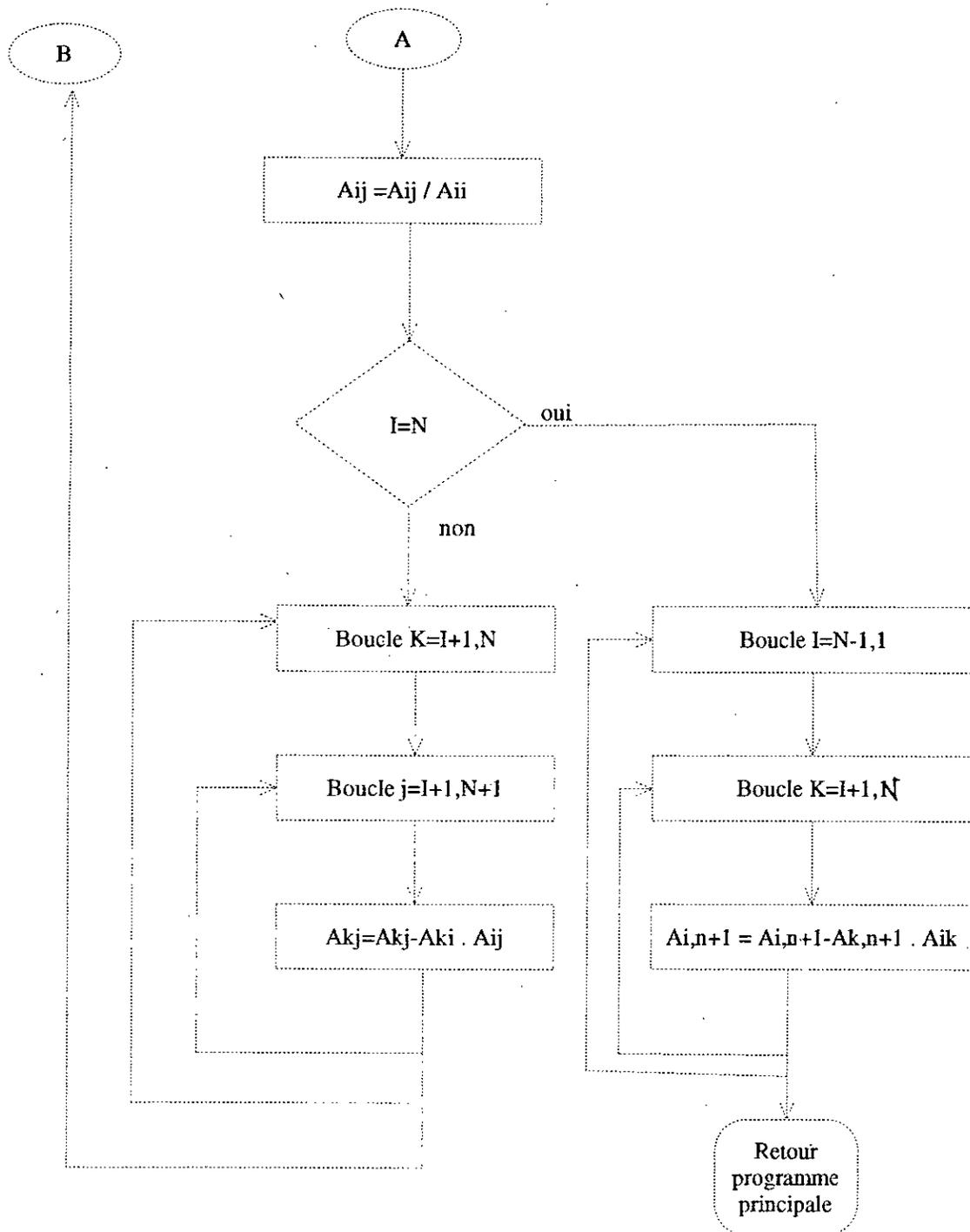
La solution de système linéaire :

$$DF(\theta) \cdot \Delta\theta + F(\theta) = 0$$

sera obtenue par le sous programme de Gauss dont l'organigramme est le suivant :

Organigramme de la méthode de Gauss





II.2.6.4. Discussion de la convergence

La méthode de Newton Raphson converge sous les conditions suffisantes suivantes:

- 1- Si les fonctions $f_i(\theta)$ admettent des dérivées partielles premières continues dans un convexe contenant la solution θ^* . Cette condition est vérifiée pour les expressions de nos fonctions f_i .
- 2- Si la matrice jacobienne est non singulière dans un voisinage de θ^* .
- 3- Si le vecteur initial $\theta^{(0)}$ est suffisamment proche de θ^* .

Cependant, il est nécessaire de noter que la présence d'une racine multiple ralentit la convergence.

Chapitre III

Les Moteurs Pas à Pas

III.1. Introduction

Bien que les premiers moteurs pas à pas remontent au début des années 1930, ceux-ci ne se sont vraiment développés que depuis 1960, grâce à l'apparition des microprocesseurs et aux énormes progrès des semiconducteurs et par conséquent de l'électronique de puissance.

A l'inverse des moteurs classiques dont l'arbre tourne de façon continue, les moteurs pas à pas sont des moteurs dont la rotation s'effectue par mouvements angulaires discrets, ce qui facilite le rôle d'interfaçage entre les systèmes de traitement numériques et leur environnement mécanique: périphériques, machines-outils, robots...

III.2 Définition des moteurs pas à pas :

Un moteur pas à pas est un moteur électrique synchrone qui convertit directement un signal électrique digital en une série de mouvement angulaire discret.

Sa caractéristique fondamentale est donc d'effectuer à chaque commutation du courant dans les différents enroulement du stator, un déplacement angulaire bien précis appelé "pas".

Le pas est l'angle de rotation du moteur lorsque au moins l'un des enroulements du stator est excité.

Le stator, qui constitue la partie fixe du moteur pas à pas possède un certain nombre de dents, sur lesquelles sont disposées les bobines d'alimentation formant ainsi les phases du moteur.

La partie tournante de moteur appelée rotor, dépend du type du moteur.

Les principaux types de moteurs pas à pas sont:

- Le moteur à réluctance variable (RV)
- Le moteur à aimant permanent (AP)
- Le moteur hybride. (H)

Tous ces moteurs constituent des éléments de liaison idéal entre l'électronique et la mécanique mais, différent par le principe de fonctionnement, les performances et les avantages qu'ils apportent à chaque application.

III.3 Classification des moteurs pas à pas:

Les moteurs pas à pas sont classés en fonction de leur structure mécanique interne et du phénomène physique qui est à l'origine du couple, nous distinguons ainsi trois grandes catégories [4]:

- Les moteurs à réluctance variable
- Les moteurs à aimant permanent
- Les moteurs hybrides

III.3.1 Le moteur à réluctance variable :

Il peut être considéré comme étant le plus simple type des moteurs pas à pas, en général le stator et le rotor sont constitués d'un matériau à haute perméabilité pour permettre à un flux magnétique important de les traverser.

La figure (III.1) montre un coupe schématique d'un simple moteur à reluctance variable, ce moteur à trois phases, contient six dents statorique et quatre dents rotoriques.

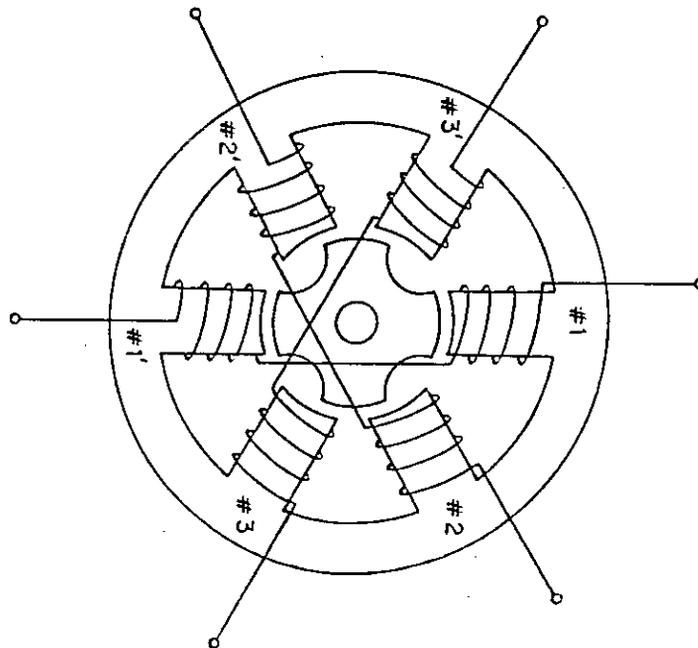


Fig III.1: moteur à reluctance variable de trois phases.

3. Les différents types de moteurs à reluctance variable sont:

- * Le moteur à étage unique qui concerne le modèle expliqué précédemment.
- * Le moteur à plusieurs étages : dans ce modèle chaque étage correspond à une phase, le stator et le rotor ont le même nombre de dents.

III.3.2- Les moteurs à aimant permanent :

Ces des moteurs dont le rotor est un aimant permanent, la fig III.3 montre le schéma d'un moteur à quatre phases et qui contient un rotor cylindrique magnétisé dans la direction radiale, et un stator ayant quatre dents chacune enroulée par une bobine.

La direction magnétique du rotor alignée avec la direction de la phase excitée, ce qui résulte d'un pas d'angle θ généralement grand. (dans cet exemple, l'angle de pas est égale à 90°).

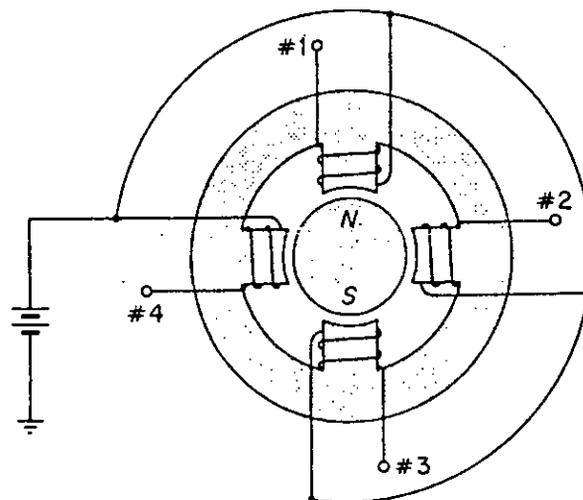


FIG III.3 : moteur à aimant permanent de quatre phases.

Ce type de moteur fonctionne par la réaction entre un champ électromagnétique et un aimant permanent, selon l'excitation électrique des phases du stator, le circuit magnétique va se fermer en attirant devant un pôle Nord du stator un pôle Sud de rotor.

III.3.3- Le moteur hybride:

Le moteur pas à pas hybride ou magnéto-reluctant associe le phénomène de réluctance variable à une excitation par aimant permanent. L'aimant peut-être disposé dans le stator ou dans le rotor, c'est cette dernière disposition qui est la plus courante.

La fig.(III.4) montre une coupe schématique d'un tel moteur. Il existe deux stators identiques portant chacun huit pôles, munis de cinq dents espacées de $360/48=7,5^\circ$.

Le rotor également double, comporte deux roues de cinquante dents espacées régulièrement .

Les roues sont décalées entre elles d'un demi-pas angulaire. Un aimant, interposé, entre les éléments du rotor magnétique l'un en N et l'autre en S.

Les stators portent deux enroulements communs répartis chacun sur la moitié des pôles soient A et B ces bobinages, quand le bobinage A est alimenté, seuls les pôles N1,S1,N1',S1' sont excités, les dents du rotor sont alors calées en face des dents des pôles N1 et N1' l'alimentation du bobinage B, qui excite les pôles N2,S2,S2' et N2' permet de caler en face des dents des pôles N2 et N2' les dents voisines du rotor en effectuant un déplacement angulaire d'un quart de pas du rotor soit 1/200 éme de tour.

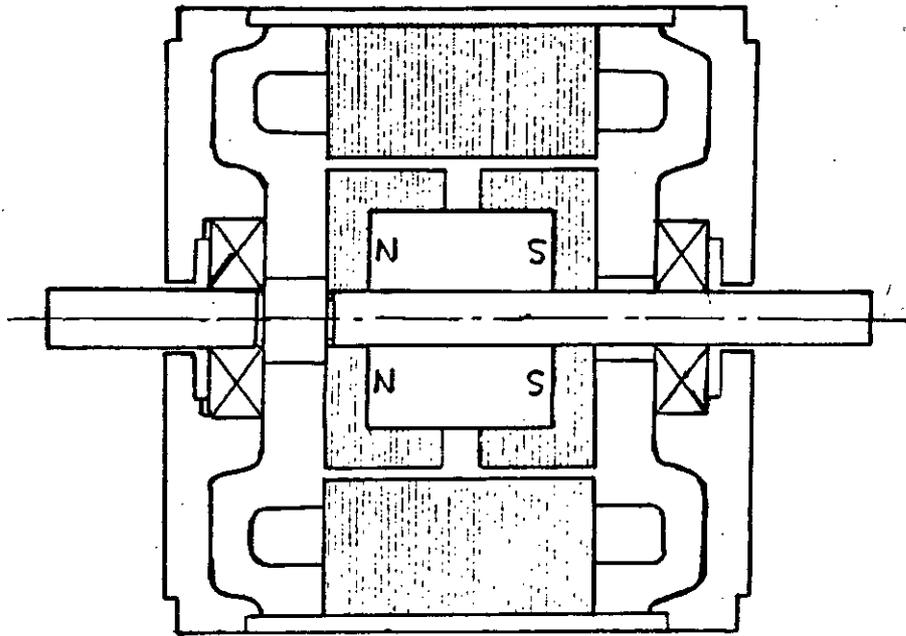


Fig III.4.1: vue en coupe montrant la position de l'aimant

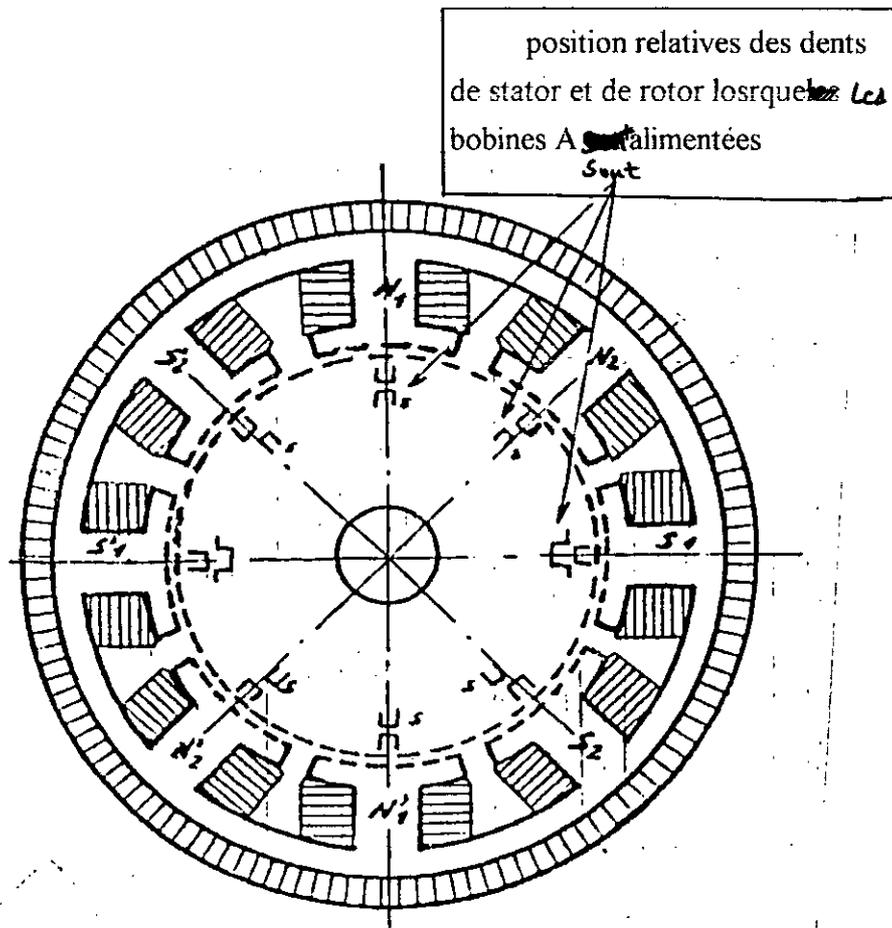


Fig III.4.2 : vue en coupe de la disposition des pôles.

La configuration de ce moteur fait que le flux crée par les bobines n'a pas d'influence démagnétisante sur le flux de l'aimant

III.4 Modes d'excitation :

La rotation du moteur s'effectue par une séquence de permutation circulaire des configurations d'excitation dans un sens ou dans l'autre. Les excitations actuelles peuvent être classées selon les modes suivants [9], [10]:

III.4.1. Mode d'excitation monophasé:

La fig. III.5 montre le chronogramme des signaux d'excitation d'un moteur à quatre phases.

La phase excitée est représentée par un signal d'amplitude Unité. dans l'autre cas elle est non excitée.

Pour faire tourner le moteur dans le sens des aiguilles d'une montre, on applique la séquence d'excitation suivante:

ph1--- ph2--- ph3--- ph4--- . dans l'autre sens la séquence est : ph4--- ph3--- - ph2--- ph1.

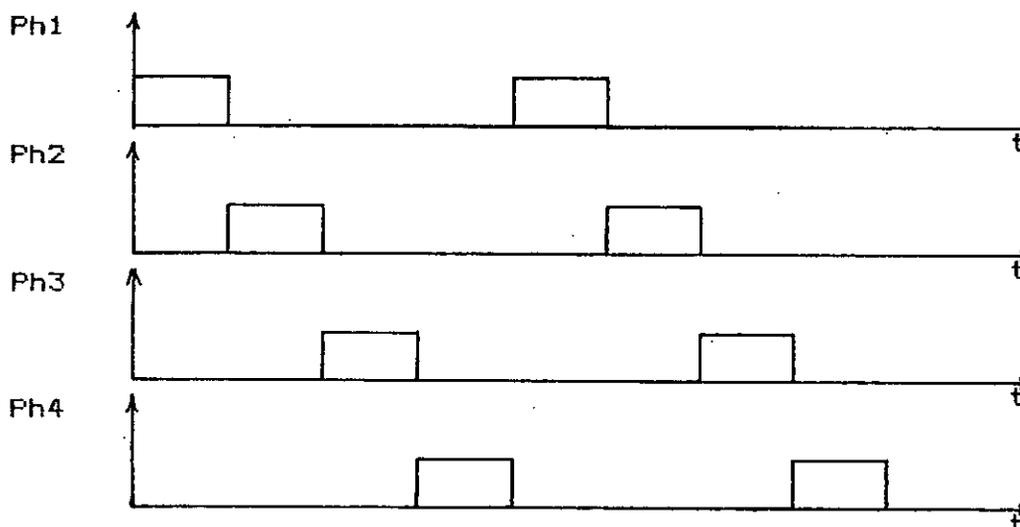


Fig III.5 : chronogramme d'excitation monophasé

Cependant le moteur est caractérisé par une fréquence limitée de démarrage au delà de laquelle, il perd son synchronisme.

Tout accroissement de cette limite permet de réduire la durée de démarrage ou de freinage.

Cette fréquence décroît avec le couple résistant. une augmentation du couple moteur entrainerait donc un accroissement de la fréquence de démarrage. ceci. nous amène à utiliser la technique de superposition des phase qui consiste à exciter deux phases à la fois.

III.4.2 Mode d'excitation double phase :

C'est le mode d'excitation le plus ancien et le plus répandu. la fig. III.6 montre le chronogramme des signaux d'excitations d'un moteur à quatre phases. dans ce mode deux phases du moteur sont excitées à la fois.

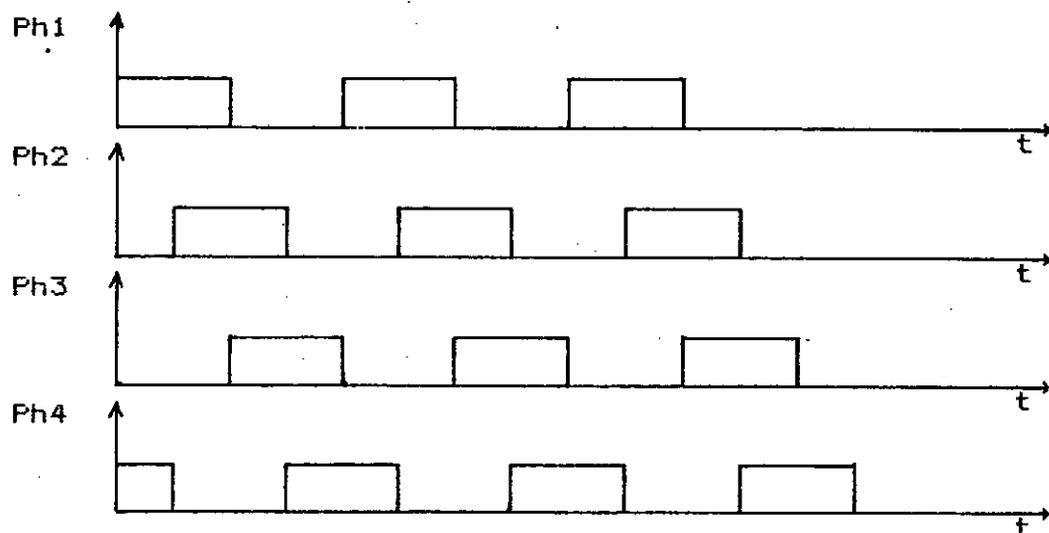
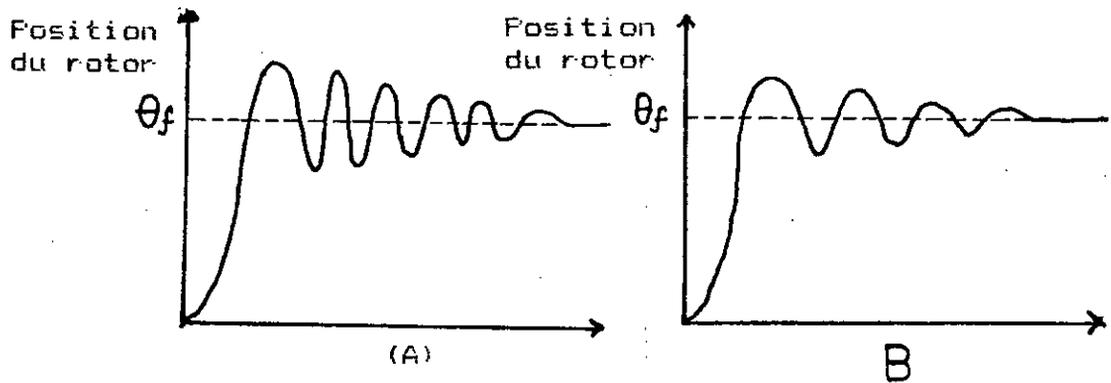


Fig III.6 : chronogramme d'excitation double phase.

La différence principale entre les deux modes d'excitations précédents réside dans leurs réponses transitoires (voir la fig.III.7).



a-excitation par le mode monophasé
b-excitation par le mode double phase

Fig III.7 : Réponse de moteur

III.4.3 Mode d'excitation à demi-pas :

La combinaison en alternance des deux modes précédents permet un fonctionnement en demi-pas la fig.III.8 montre le chronogramme d'un tel mode.

Les fonctionnements statiques et dynamiques ne sont pas rigoureusement identiques d'une position à une autre, car les couples moteurs sont différents.

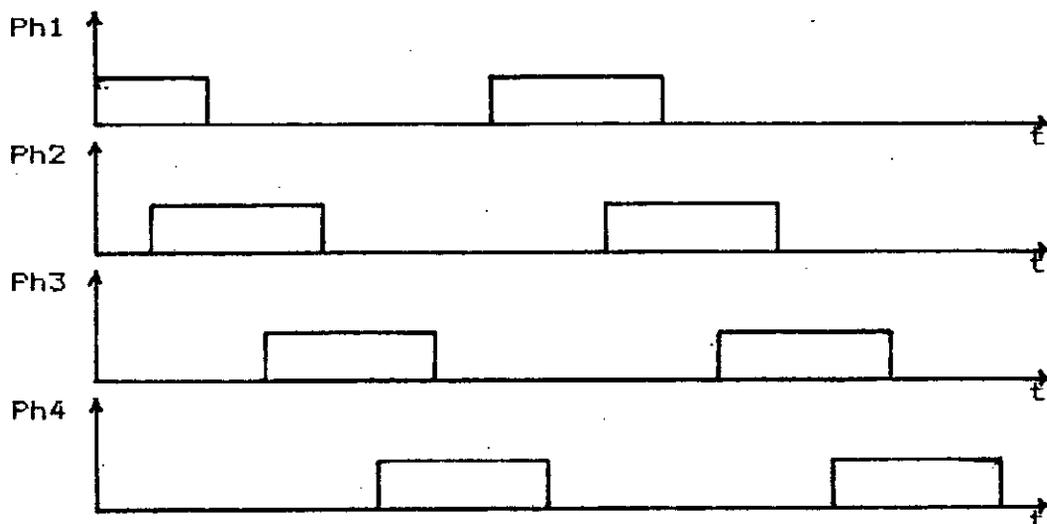


Fig.III.8 : chronogramme d'excitation à demi-pas.

III.5 Caractéristiques des moteurs pas à pas :

Le choix d'un moteur pas à pas se fait selon ses performances statiques et dynamiques.

III.5.1 Caractéristiques statiques :

Ces caractéristiques concernent le moteur à l'état de repos, elles sont essentiellement liées à la constitution mécanique et électrique du moteur:

- a- L'angle de pas: c'est la valeur de l'angle de rotation effectué par le moteur sous l'action d'une impulsion de courant, passant de l'un de ces bobinages au suivant.
- b- Le couple de détente: C'est le couple maximal qui peut être appliqué sur l'arbre du moteur non alimenté, sans qu'il n'y ait de rotation d'un pas .
- c- Le couple de maintien: C'est le couple maximal disponible sur l'arbre du moteur alimenté sans provoquer de rotation continue.
- d- La précision du positionnement: C'est l'erreur entre la position réelle et la position théorique, les erreurs ne sont pas cumulatives, mais dépendent beaucoup des coefficients de frottements secs et visqueux.

III 5.2-Caractéristiques dynamiques

Ces caractéristiques sont celles que l'on peut obtenir pendant la phase de fonctionnement sans perte de pas; c'est-à-dire qu'à chaque impulsion de courant correspond un pas et un seul., elles sont déterminées par [9], [7] :

- a- Le couple dynamique: c'est le couple du moteur en rotation, il dépend essentiellement de l'alimentation et n'est pas une caractéristique du moteur mais de l'ensemble moteur plus alimentation, tenu de la charge.

- b- La fréquence maximale de démarrage - arrêt (start-stop) : c'est la fréquence maximale de commutation, permettant un fonctionnement démarrage monté en vitesse puis arrêt sans perte de pas d'un moteur à vide.
- c- La relation entre la fréquence des impulsions d'excitation, la vitesse de rotation et le nombre de pas est :

$$n = \frac{60 f}{s}$$

n: vitesse de rotation [tr / mn]

f: la fréquence [Hz]

S: nombre de pas

III.5.3 Zones de fonctionnements:

La figure donnée ci-dessous fig III.9 présente les zones de fonctionnement suivantes :

* zone de démarrage arrêt (1.3) : correspond à un fonctionnement synchrone avec contrôle de la position, mais aussi de l' énergie d'accélération. Ainsi, si on envoie sur les différentes phases d'un moteur un train d'impulsions de courant de fréquence donnée, il faut que le moteur démarre et s'arrête à la fin du train d'impulsion dans la position voulue.

* zone de fonctionnement en sur-vitesse (4) : ce régime intervient lorsque la fréquence des impulsions est trop grande : la phase suivante est excitée alors que le rotor est encore en phase d'accélération.

* zone de fonctionnement erratique (2) : dans cette zone, le fonctionnement est irrégulier.

* zone limite correspondante à une fréquence trop importante.

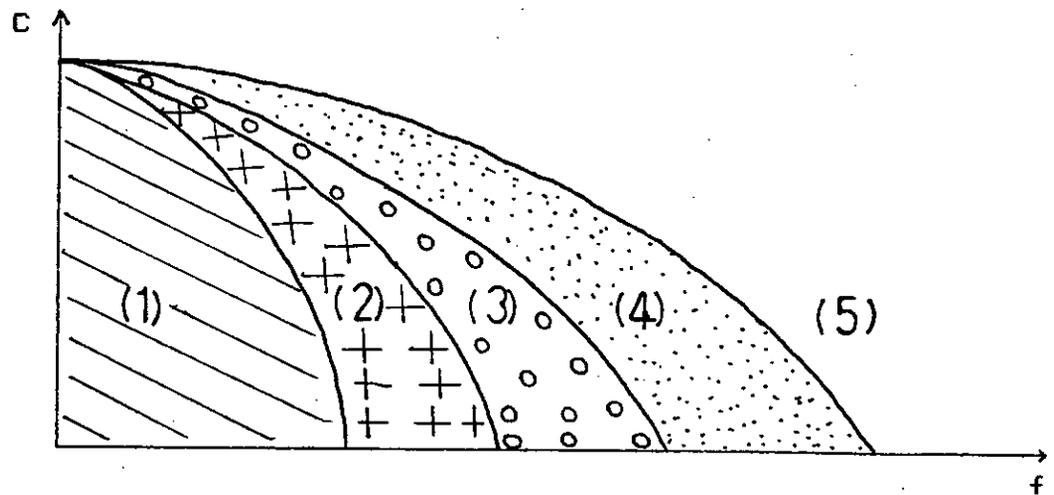


Fig.3.9 Couple en fonction de la fréquence d'excitation des phases.

1-3- : zones de démarrage.

2- : zone de fonctionnement erratique.

4- : zone de fonctionnement en sur-vitesse

5- : domaine limité correspond à une fréquence trop importante.

III.6 Commande des moteurs pas à pas:

un simple système de commande d'un moteur pas à pas est représenté par le schéma synoptique de la fig.III.10, ce système est composé par deux blocs, l'un représente le séquenceur logique et l'autre l'étage de puissance pilote(driver).

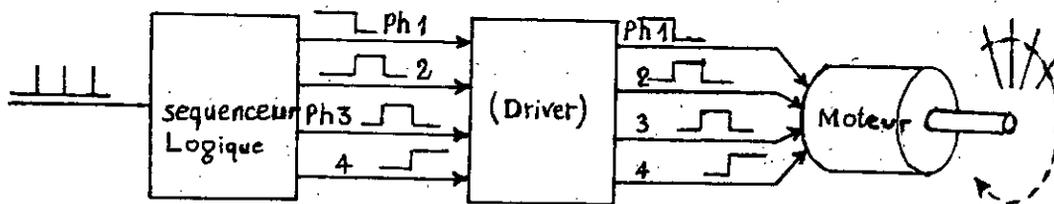


Fig III.10: système de commande d'un moteur pas à pas.

Le séquenceur logique: c'est un circuit séquentiel qui génère des signaux électriques à différentes formes selon le mode d'excitation des enroulements. Cet étage est souvent composé par des registres de décalage et des portes logiques. La fig.III.11 montre un séquenceur logique bidirectionnel destiné au contrôle par le mode double excitation d'un moteur à quatre phases.

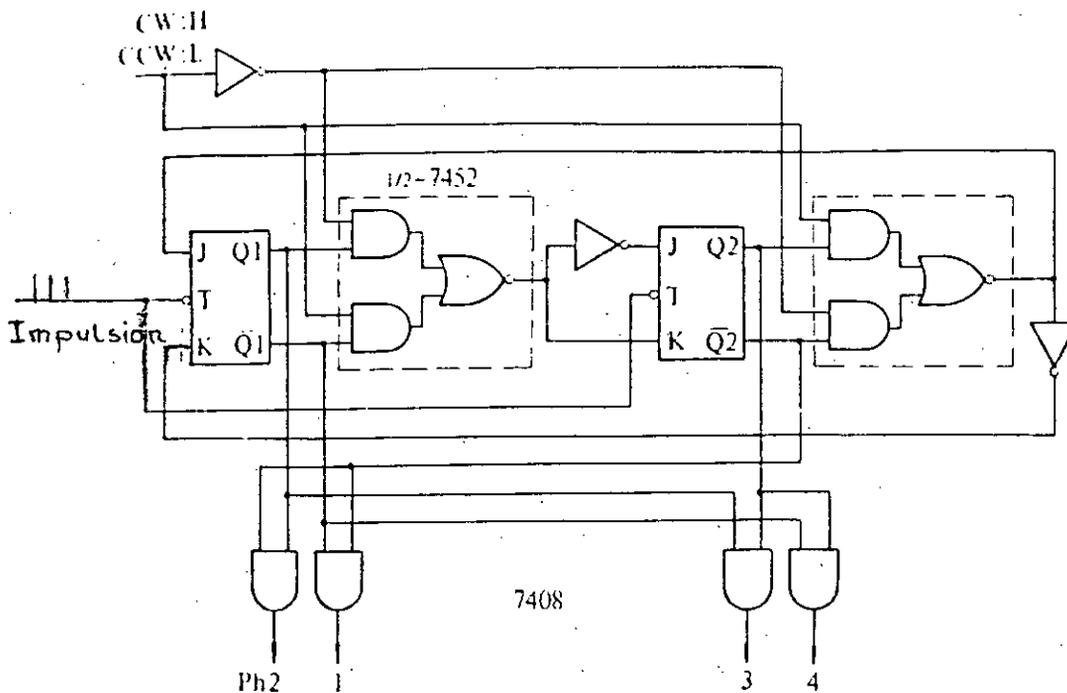


Fig III.11 : séquenceur logique bidirectionnel pour un moteur à 4 phases

Le séquenceur logique peut-être remplacé par un système à micro-processeur qui est caractérisé par une flexibilité de software Fig III.12

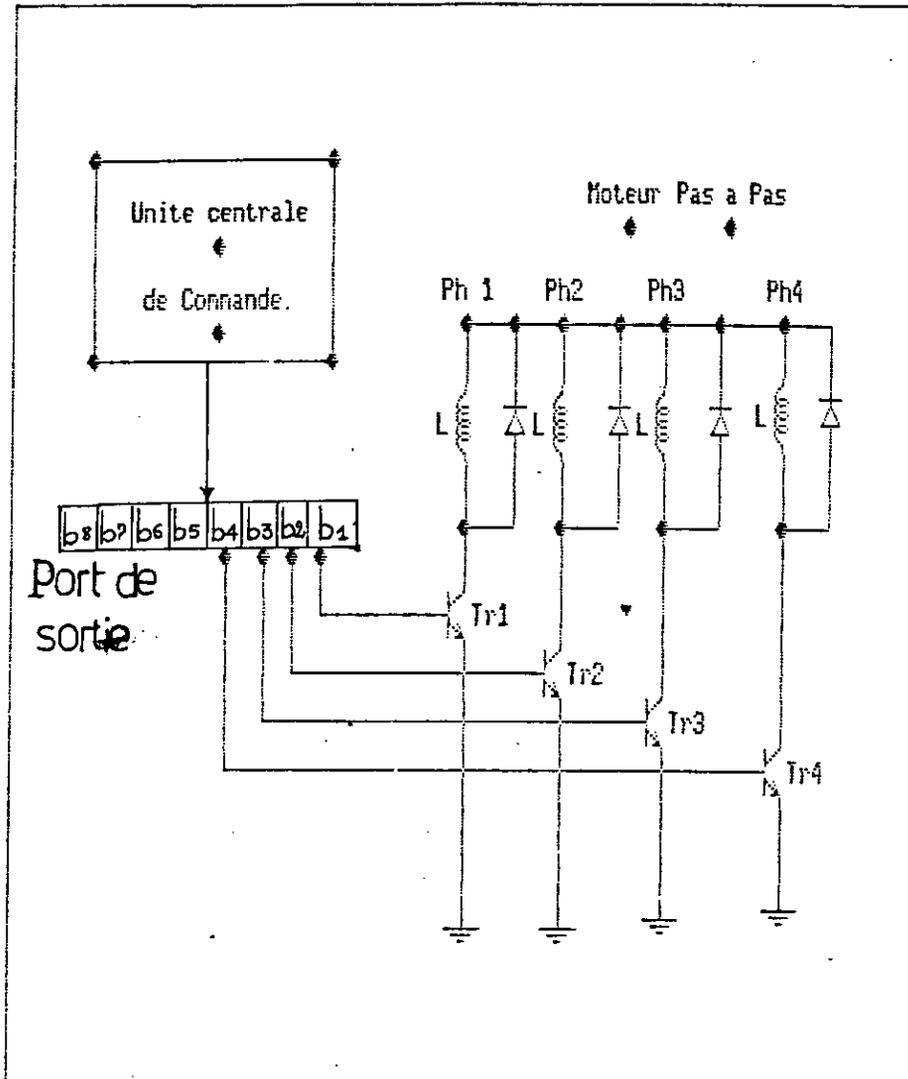


Fig III.12 : Système de commande d'un moteur pas à pas par microprocesseur.

L' étage de puissance pilote (driver):

Les sorties du séquenceur logique qui sont transmises à l'entrée de l'étage de puissance sont considérés comme des interrupteurs commandant ce driver.

La conception de cet étage prend en considération le fait d'obtenir des courants proches à la forme théorique souhaitée, donc il doit répondre aux impératifs suivants:

- Le courant doit pouvoir être établi et supprimé suivant une loi élaborée par un dispositif auxiliaire de commande, ceci impose l'utilisation de transistors de puissance ou de thyristors.
- La constante de temps du signal du courant devra être faible.
- La commutation du courant de sa valeur nominale à zéro doit être aussi suffisamment rapide.
- Le courant devra être contrôlé et maintenu à une valeur imposés par un dispositif de commande.
- Aucun courant ne devra circuler dans les enroulements non utilisés.

III.6.1. La connection entre le séquenceur logique et l'étage de puissance

Fig III.13 (a,b) montre le dispositif le plus simple d'une connection directe

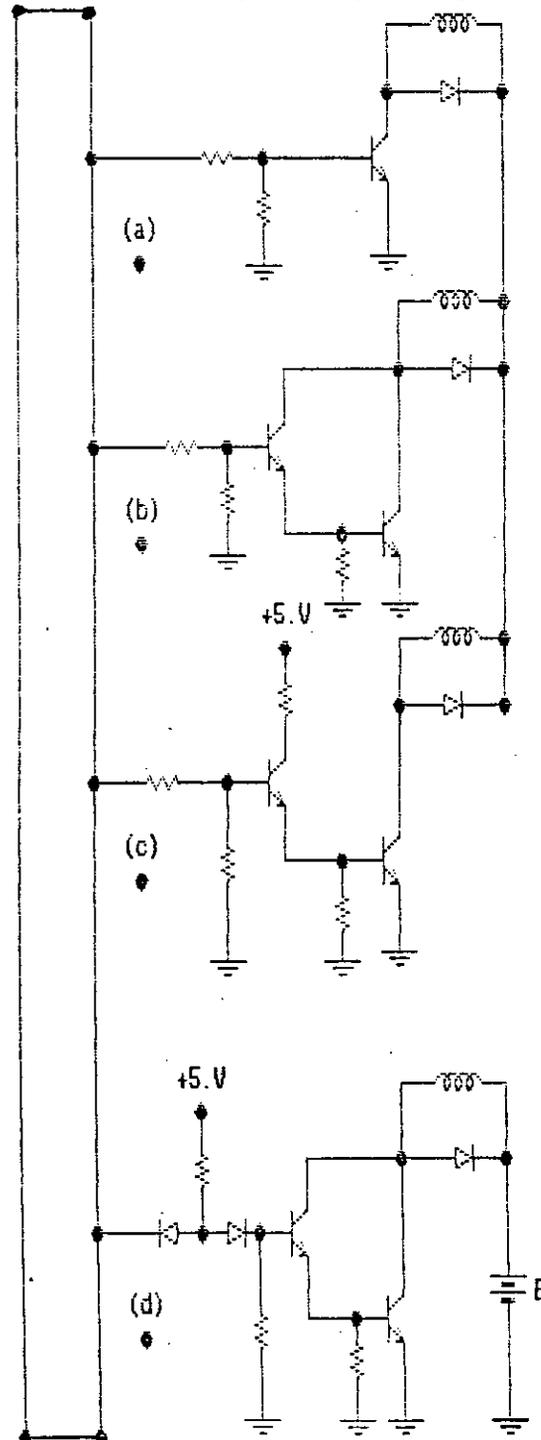


Fig III.13 : Exemple des connections entre sequenceur logique et étage de puissance.

Généralement les courant sortant des circuits logiques sont incapables de commander des transistors de puissance. Il est donc nécessaire d'implanter entre les deux étages un amplificateur de courant (fig III.13 c,d) et un buffer pour la protection de séquenceur.

Dans la conception de l'étage de puissance il faut tenir compte du comportement des éléments du circuit équivalent d'un enroulement (voir fig.III.14)

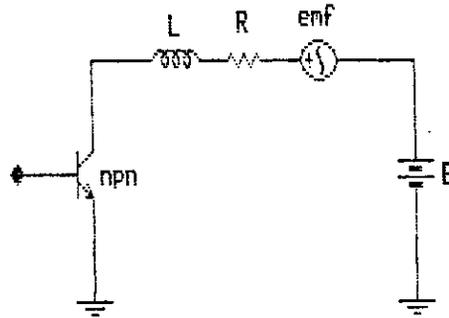


Fig III.14 : circuit équivalent d'un enroulement de Moteur pas à pas.

Quant le transistor de la fig.(III.14) est bloqué, une tension importante égale à $L(di/dt)$ apparait, qui peut conduire au claquage de transistor. Pour supprimer cette tension et protéger le transistor, il existe plusieurs méthodes, parmi lesquelles on trouve :

1- suppression par une diode de roue libre (fig III. 15.a)

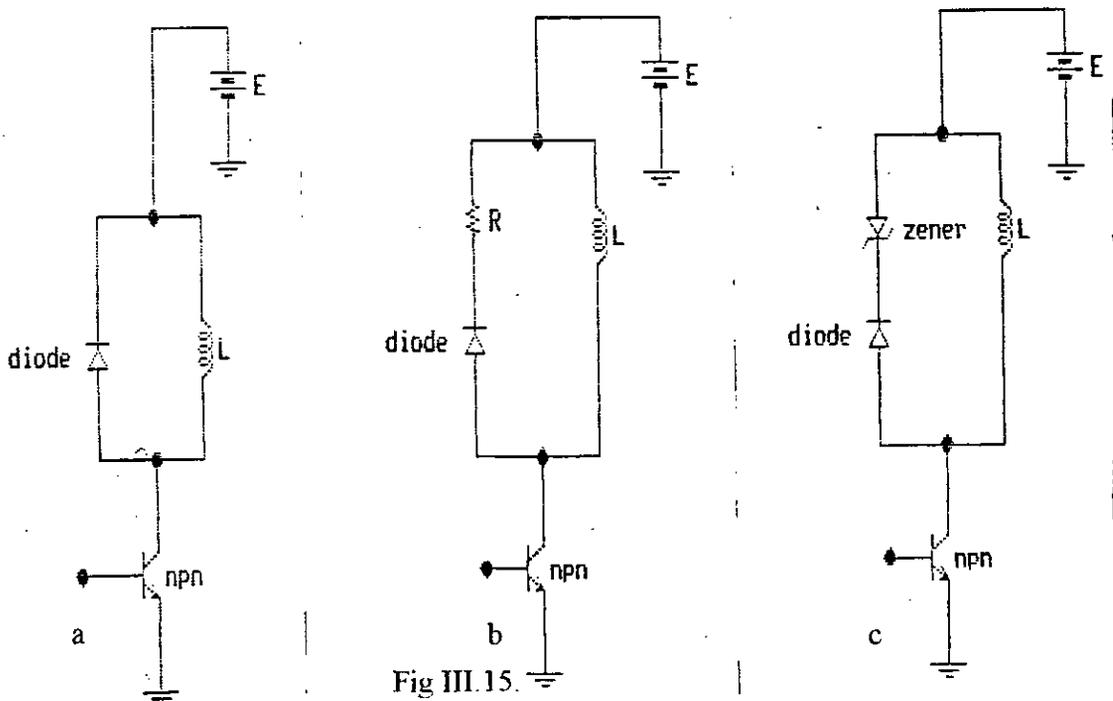


Fig III.15.

2- suppression par une diode en série avec une résistance pour décharger rapidement l'énergie emmagasiner dans la bobine (fig III.15.b)

3- suppression par diode zener: généralement elle est connectée avec une diode ordinaire (fig III.15.c)

une simple comparaison entre ces trois méthodes nous permet de tracer les graphes ci-dessous:

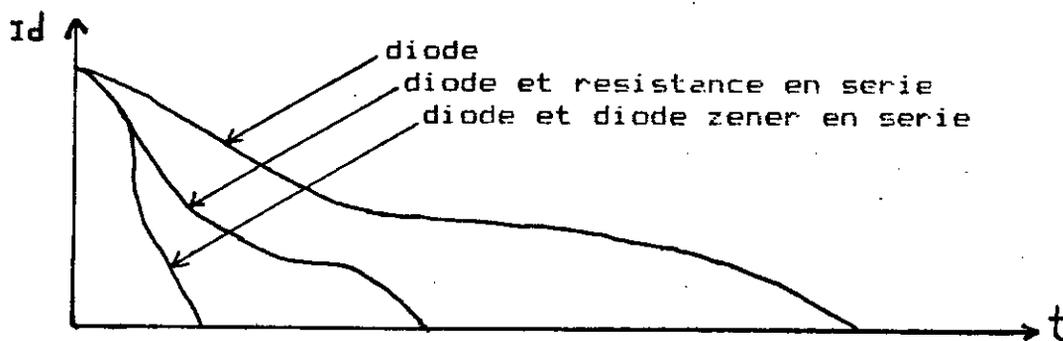


Fig III.16 : Comparaison entre les trois méthodes de suppression de courant

III.7 Asservissement des moteurs pas à pas

III.7.1 Commande en boucle ouverte:

Les moteur pas à pas sont largement utilisés dans le contrôle de vitesse et de position en boucle ouverte. Ce contrôle doit satisfaire à un certain nombre de critère [6].

- le passage d'une position à une autre se fait en un temps minimum.
- Le fonctionnement doit rester synchrone pour qu'il n'y ait pas de perte de pas.
- le point final doit être atteint sans oscillation.

III.7.2. Commande en boucle fermée:

Malgré les avantages présentés par le contrôle de vitesse et de position en boucle ouverte, des difficultés peuvent se présenter lorsque [7]:

- la charge est variable, tant en inertie qu'en couple de charge .
- La fréquence est très élevée.
Pour éliminer ces difficultés, il faut prévoir alors une commande en boucle fermée.

III.8. Avantage et application des moteurs pas à pas

Le principe de fonctionnement des moteurs pas à pas fait apparaître un certain nombre d'avantages sur les moteurs classiques :

Leurs choix s'impose dans de nombreuses applications. 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.

De plus leurs temps de réponse est très court, leurs durée de vie est très longue et ils ont une caractéristique supplémentaire qui est la réversibilité c-a-d la rotation dans un sens ou dans l'autre.

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

Grâce à ces avantages, les applications des moteurs pas à pas deviennent de plus en plus nombreuses. leur application se fait dans deux domaines principaux: le positionnement et la régulation.

- Dans le domaine du positionnement on trouve:
 - * le positionnement à distance
 - * l'avance des bandes perforées

- * l'entrainements des caméras ou projecteurs.

- Dans le domaine de la régulation on trouve:

- * la synchronisation des machines

- * les compteurs, les décompteurs et l'horlogerie domestique ou technique.

- * Les traceurs des courbes

Ils sont utilisés aussi dans les ensembles pour lesquels un prix de revient faible est nécessaire (produits grand public, jouets etc..)

III.9. Choix des moteurs pas à pas

De nombreux moteurs pas à pas sont fabriqués par différentes firmes, suivant la fonction que l'on veut obtenir, on aura à choisir le moteur qui convient le mieux à la mécanique externe, le choix des moteurs pas à pas se fait en général par rapport à leurs fonctions.

On distingue trois groupes essentiels.

- * les servomoteurs : regroupent les moteur de petite dimensions ayant des diamètres compris entre 12,7 et 36,5 mm, ils sont utilisés dans les servomécanismes, leurs pas est en général de 15° .

- * Les moteurs de moyenne puissance : dans ce groupe en trouve les moteurs de taille comprise entre 50.8 et 86 mm de diamètre, on y trouve les moteurs à grands pas (15° , 45° , 90°) et à petit pas (0.72° , 0.9° , 2° , 5° , 7.5°).

Ils sont utilisés en grand nombre dans les périphériques d'ordinateurs et en positionnement.

- * Les moteurs de grande puissance: comprend les moteurs à très petit pas ($2,5^\circ$ et en dessous). Il sont utilisés en positionnement dans les grosses machines - outils, valves ...

III.10 Les actionneurs du mini-robot

Les actionne^{eurs}~~urs~~ de notre bras manipulateur sont des moteurs pas à pas ayant les caractéristiques électriques suivantes :

1. Tension : 12 v
2. Nombre de phases : 4
3. Pas angulaire : $7,30^\circ$
4. Résistance / Phase : 47Ω

III.11 Comparaison des trois types de moteurs pas à pas.

Le choix d'un moteur pas à pas peut-être basé sur le type de ce dernier, chaque type de moteur pas à pas présente des particularités par rapport aux deux autres.

Le tableau ci-dessous donne une comparaison entre les différents types en donnant pour chacun ses caractéristiques :

Type de moteurs	Caractéristique
Moteur à reluctance variable	<ul style="list-style-type: none">- Vitesse de rotation plus élevée- Bonne résolution- Pas plus petit- Il n'est pas nécessaire d'adjoindre un reducteur
Moteur à aimant permanent	<ul style="list-style-type: none">- Couple plus élevé- Amortissement interne des oscillations plus important- Nombre de pas par tour faible- Fréquence de travail plus faible
Moteur hybride	<ul style="list-style-type: none">- Couple plus important- Nombre de pas par tour important- A une puissance supérieure à celle des autres.- Evite l'emploi d'un reducteur.

Conclusion

De conception simple et robuste, le moteur pas à pas est un actionneur de choix pour la robotique et pour les machines outils. Par son principe, il permet d'éviter dans beaucoup de cas le réducteur mécanique.

La commande en boucle ouverte qui minimise le coût global de l'entraînement convient particulièrement aux applications pour lesquelles les paramètres de charge sont bien connus et invariants au cours du fonctionnement.

L'utilisation des microprocesseurs permet d'implanter des commandes complexes de façon très économique étendant ainsi le domaine d'application du moteur pas à pas.

En cas de charges variables, des commandes en boucle fermée classique ou adaptative peuvent être mises en œuvre.

Malgré leurs inconvénients, on rencontre encore beaucoup d'alimentations en tension pour les moteurs de faible puissance, le développement des circuits intégrés d'alimentations tend à généraliser l'alimentation en courant qui donne les meilleures performances dynamiques à l'entraînement.

Chapitre IV

Conception & Réalisation de la Carte de Commande

Introduction

Ce chapitre aborde l'étude de la conception de la carte de commande, qui permet la connection entre la carte d'interface P I O de système Mini-computer et les moteurs pas à pas du bras manipulateur.

IV.1 Carte d'interface P I O (Programming Input Out put) .

IV 1.1 Le circuit d'entré-sortie parallele du Z-80 (PIO)

L'élément clé dans la plupart des sections entrées / sorties du Z80 est le circuit d'entrée / sortie parallèle Z80 ou PIO. Ce circuit comprend des mémoires, des amplificateurs, des bascules et d'autres circuits logiques nécessaires pour des techniques d'interfacages simple ou conversationnel.

Le PIO comprend de nombreuses connections logiques, certaines d'entrées elles peuvent être sélectionnées suivant le contenu du registres programmables.

Le schéma fonctionnel de PIO Z 8420 utilisé dans le système mini-computer est donné dans l'annexe [C].

IV 1.2 Régistres et lignes de contrôle d'un P.I.O

Le circuit PIO contient :

1. un registre de sortie de donnée-8 bits
2. un registre d'entrée de donnée-8 bits
3. un registre de contrôle de mode-2 bits : qui indique le mode de programmation des ports.
4. un registre de contrôle de masque-2 bits, utilisé seulement dans le mode contrôle.
5. un registre de masque de 8 bits, utilisé seulement dans le mode contrôle qui determine qu'elles lignes du port sont prise en compte pour générer le signal d'interruption.
6. un registre d'adresse de vecteur 8 bits utilisé avec le système d'interruption.
7. deux lignes de contrôle (STB et RDY) qui sont configurées par le registre de contrôle de mode .

IV 1.3 Addressage des PIO

Chaque PIO occupe quatre adresses de port d'entrée et quatre adresses de port de sortie.

Les lignes B / A (port B ou A sélectionné) et C / D (contrôle ou donnée sélectionné) choisissent l'un des quatre ports comme décrit dans le tableau [IV.1] le plus fréquemment, les concepteurs relient le bit A_0 à la ligne B / A et le bit d'adresse A_1 à la ligne C / D.

Sélection des données au contrôle	Sélection des ports A ou B	Registre adressé	Adresse des ports
$A_1=0$	$A_0=0$	Registre de donnée A	PIO ADD
$A_1=0$	$A_0=1$	Registre de donnée B	PIO ADD+1
$A_1=1$	$A_0=0$	Registre de contrôle A	PIO ADD+2
$A_1=1$	$A_0=1$	Registre de contrôle B	PIO ADD+3

Tableau IV.1

Pour le cas du PIO Z 8420 de système mini-computer, les adresses des registres

sont :

adresse registres donnée A=0

adresse registres contrôle A=1

adresse registres donnée B=2

adresse registres contrôle B=3

IV 1.4 Contrôle du mode de fonctionnement du PIO

Le fonctionnement d'un PIO est établie en écrivant un mot de commande dans le registre de contrôle du port correspondant.

On peut résumer les différents modes de fonctionnement dans le tableau suivants :

Mode de fonctionnement	Signification	Mot de commande
0	Sortie	OFH 15D
1	Entrée	4FH 79D
2	Bidirectionnel	BFH 191D
3	Contrôle	CFH 217D

IV 1.5 Le circuit PIO du Systeme "MOD MPZ 190"

Ce circuit contient deux ports A et B dont chacun presente deux registres, l'un de données et l'autre de controle. Le port A de P I O est préparé comme sortie au moyen du :

* branchement adequat des signaux de strobe:

A S T B = high et C P 1 = Low.

* remplissage de registre de contrôle P I O C R A par la valeur O F Hex.

Dans ce cas, tous les signaux du port A vont directement à la carte de commande.

Les bits A8 A7 A6 et A5 commandant les quatres phases du moteurs pas à pas soit à pas complet ou à demi-pas.

Les deux tableaux suivants donnent les sequences d'excitation a pas complet et à demi pas.

* A pas complet

A_8	A_7	A_6	A_5
1	0	0	1
1	0	1	0
0	1	1	0
0	1	0	1

* A demi pas

A_8	A_7	A_6	A_5
1	0	0	1
1	0	0	0
1	0	1	0
0	0	1	0
0	1	1	0
0	1	0	0
0	1	0	1
0	0	0	1

Les bits A_4 A_3 A_2 sélectionnent les adresses des six-moteurs selon la configuration suivante :

A_2	A_3	A_4	
0	0	1	La main
0	1	0	Poignet 1
0	1	1	Poignet 2
1	0	0	Avant-bras
1	0	1	Epaule
1	1	0	Bras

Le bit A_1 permet le passage des signaux, de port A vers la carte de commande.

IV.2. Présentation de la carte de commande principale

le schema bloc de la carte est représenté par la figure IV.1.

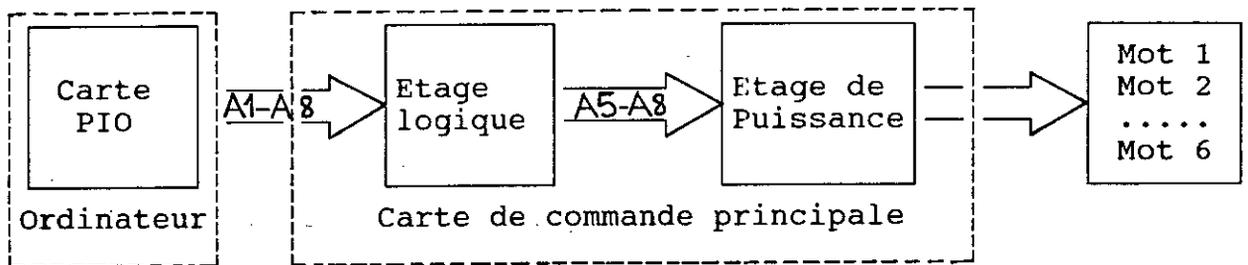


Fig IV.1 : Schéma synoptique de la carte de commande principale.

la carte de commande est constitué de deux etages.

Etage logique : Pour le decodage des adresses et la commnde des moteurs pas à pas.

Etage de puissance : Pour le pilotage des moteurs pas à pas.

On analyse maintenant chaque étage en détail en se référant au schéma électrique complet donnée en annexe (D).

IV.3 Etage logique:

Le schéma synoptique de cet étage est donné par la fig IV.2

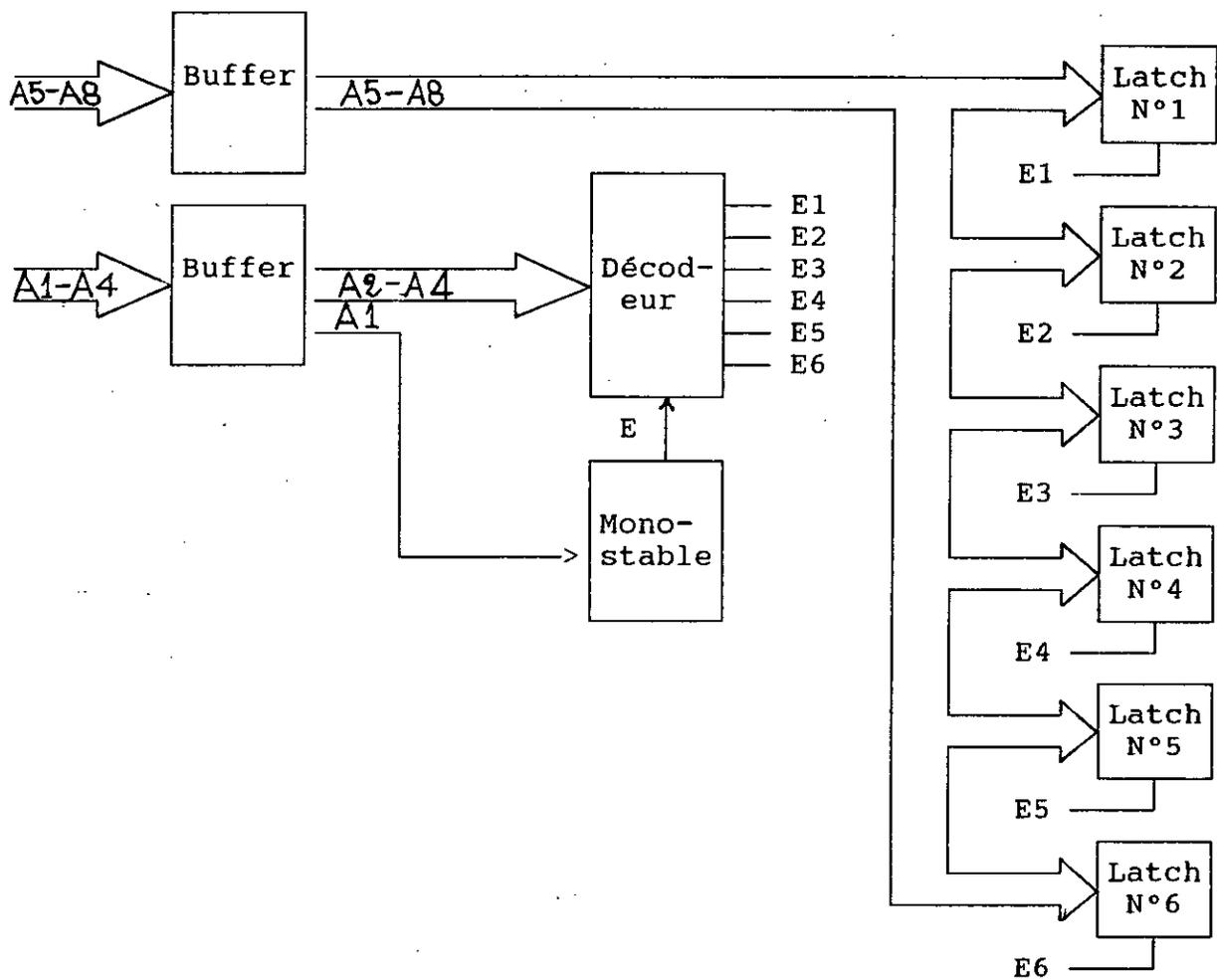


Fig IV.2 : Etage logique de la carte de commande principale

Pour protéger le système Minicomputer, les 8 bits de commande provenant du port A sont bufférés par deux buffer 74125, qui doivent être validés par un signal bas afin que les données présentées à l'entrée soient transmises à la sortie.

Le buffer de bit A1 est toujours validé, sa sortie est brancher à une résistance de pull-up afin que cette ligne soit toujours haute, à moins qu'elle ne soit commander par le Minicomputer, ce bit sert à :

- * valider les buffers des bits A₂ à A₈
- * activer le monostable par une impulsion negative.

Cet etage est constitué par les éléments suivants:

1. le monostable 123 : produit une impulsion d'horloge de durée τ_2 egale à 500 μ sec environ et sert à valider le decodeur 74138.
2. le decodeur 74138: produit une impulsion de niveau bas, pour chaque adresse A₂ A₃ A₄, d'une durée egale à celle de sa validation. Cette impulsion sert à valider la bascule (Latch) 74175 correspondante.
3. les latch 74175: les données relative à la commande des phases des moteurs (A₅ A₆ A₇ A₈)vont en parallele à tous les latches, celle qui est validée permet de faire passer les données à sa sortie et les memorise pendant une certaine durée.
Les signaux A₅ A₆ A₇ A₈ commandent les quatres enroulements du moteur correspondant à l'adresse choisie.

Le chronogramme de fonctionnement de cet étage est donnée par la figure IV.3

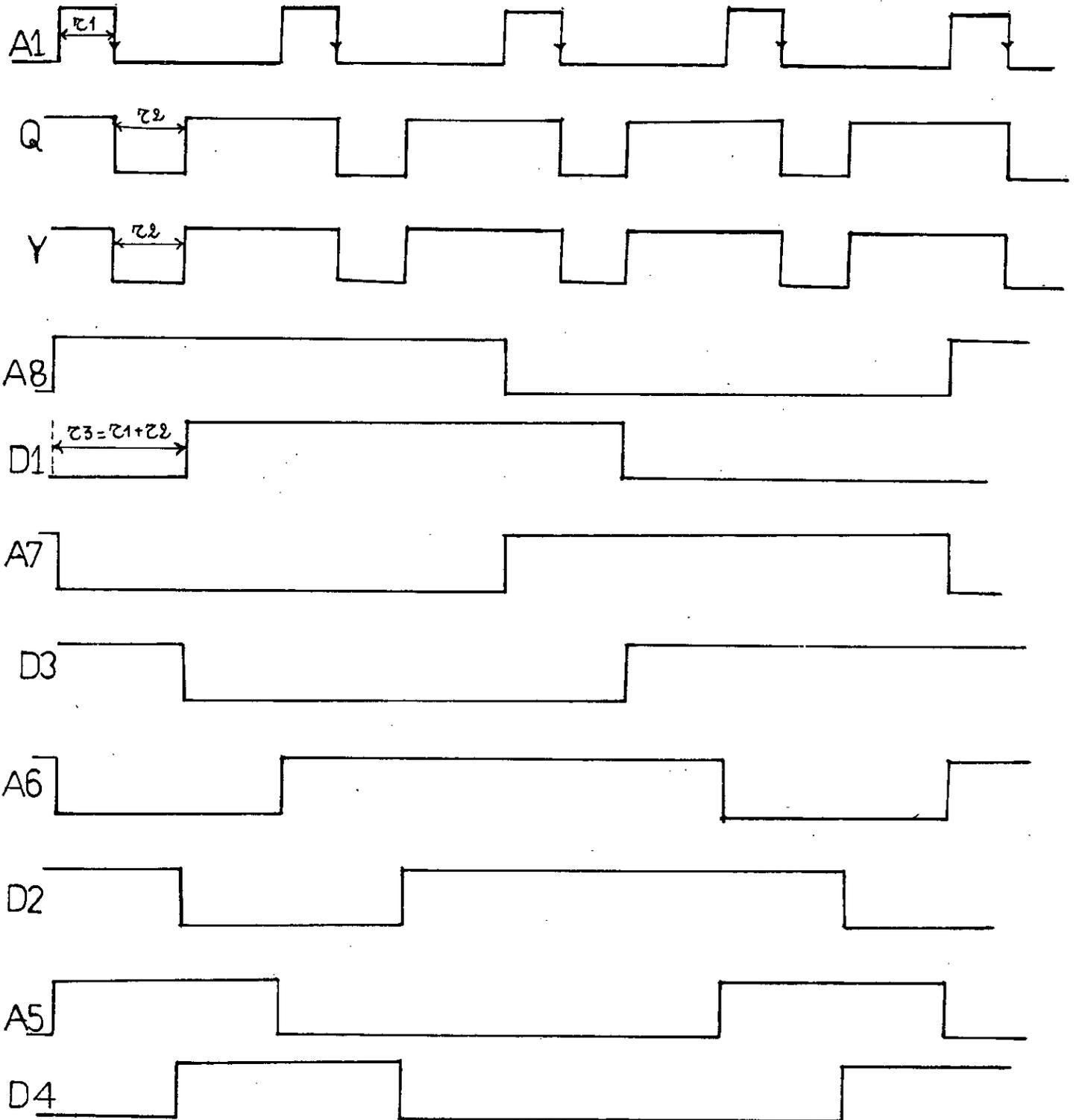


Fig 4.3 Chronogramme de fonctionnement de l'étage logique.

- t_1 : durée de confirmation que le bit A_1 soit à 1
- t_2 : durée de l'impulsion de monostable
- t_3 : Temps de retard
- A_1 : signale de validation
- Q : signale de sortie de monostable
- y : signale de sortie du décodeur
- A_8 : la phase 1
- A_7 : sortie de la phase 3
- A_6 : sortie de la phase 2
- A_5 : sortie de la phase 4
- D_1 : sortie 1 de latch
- D_2 : sortie 2 de latch
- D_3 : sortie 3 de latch
- D_4 : sortie 4 de latch

IV.4. Etage de puissance

Le schema synoptique de cet etage est donnée par la fig IV.4.

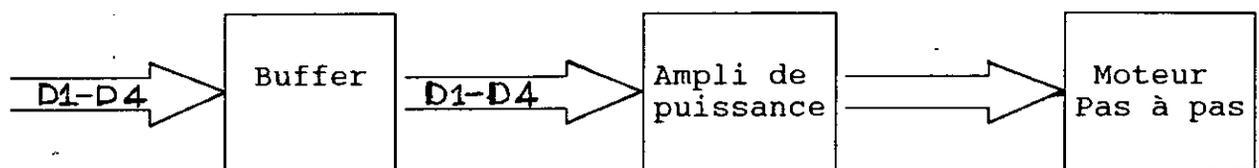


Fig IV.4 : Schema synoptique de l'étage de puissance.

Cet étage est constitué par les circuits suivants:

1. quatre circuit 7407: chacun de ces circuits contient six-amplificateurs à collecteurs ouverts, qui est alimenté par une tension $V_{cc} = 12V$ à travers des résistances de $4,7 K\Omega$.

ils servent à :

- * l'isolation des circuits de puissance (U L N 2003) et de l'étage logique.
- * piloter les circuits U L N 2003.

2. quatre circuits U L N 2003.

Chacun de ces circuits contient 7 transistors darlington, permettant l'amplification de courant jusqu'à 500 m A.

Le courant de pilotage des enroulement des moteurs doit être au minimum égale à 300 m A.

Le schéma équivalent d'une ligne de pilotage d'une phase est représenté par la fig IV.5.

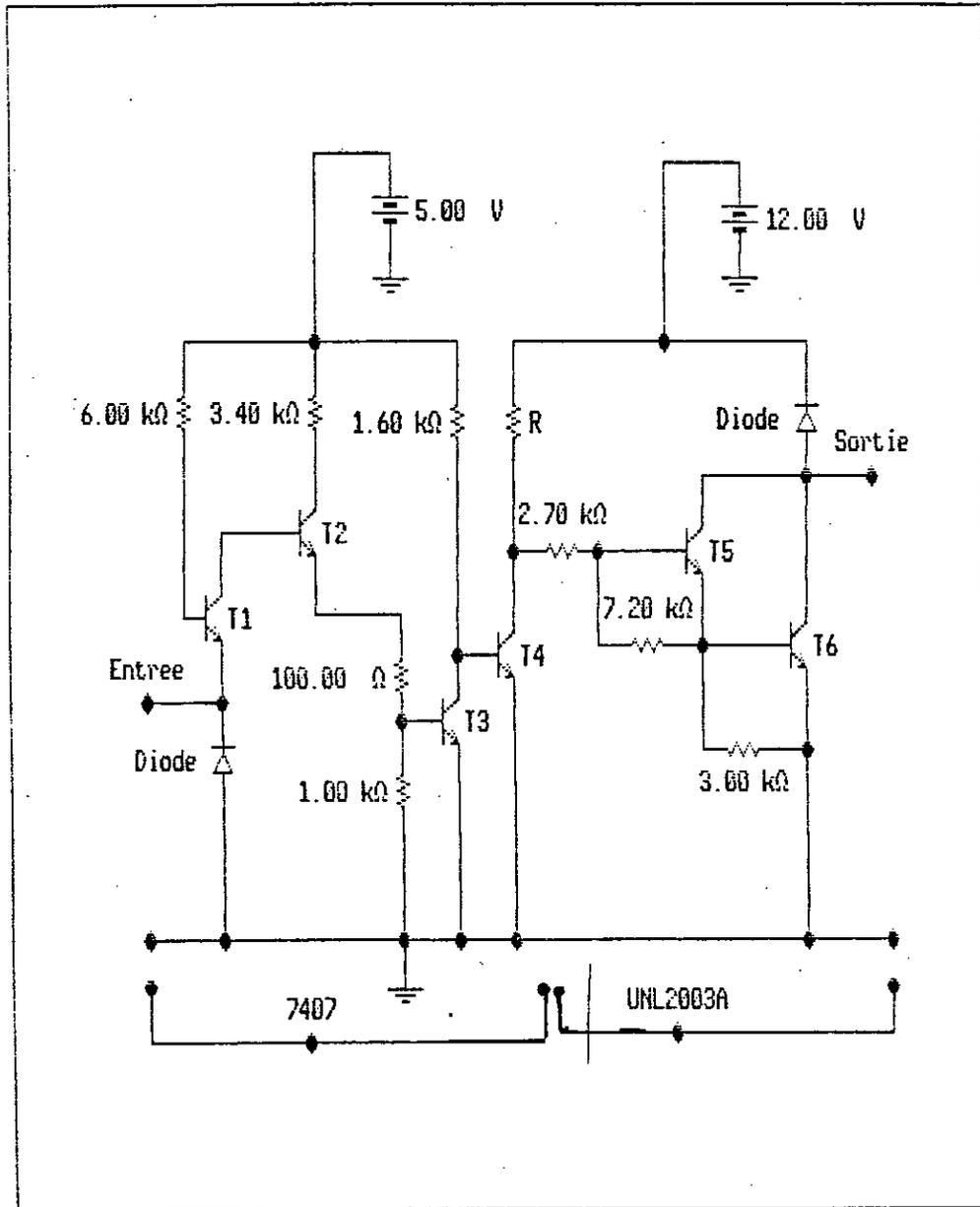


Fig IV.5 : Schéma équivalent d'une ligne de pilotage d'une phase.

$$a / V_e = 0$$

on a $V_a = 0$ le transistor 4 est alors saturé, d'où on a la relation suivante:

$$R I_c = 12$$

Comme :

$I_c \text{ max} = 30 \text{ m A}$, R doit être alors.

$$R \geq \frac{12}{30 \times 10^{-3}} = 400 \Omega.$$

$$b / V_e = 5V$$

$V_a = 5V$, le transistor 4 sera bloqué, ceci donne la relation suivante:

$$(R + 2700) I_B + 2V_{BE} = 12$$

$I_{B\text{max}}$: courant d'entrée max de transistor darlington est égale à $1,45 \text{ m A}$
A, d'où

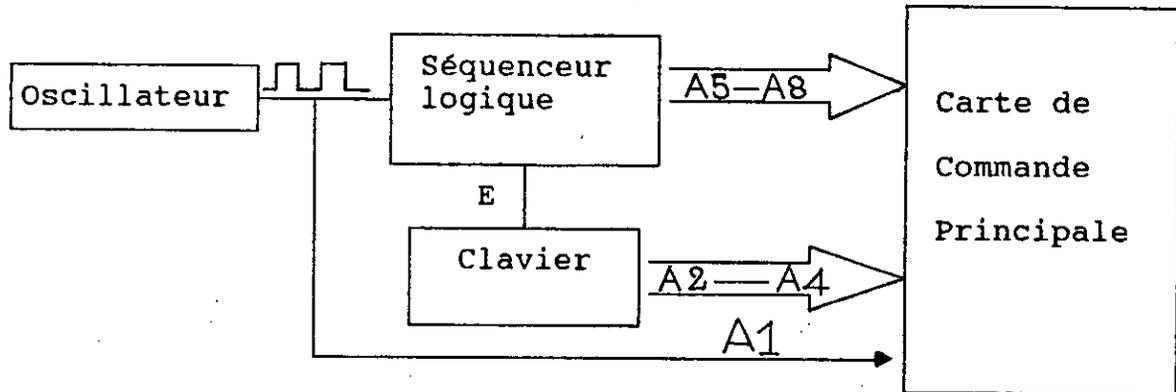
$$R = \frac{12 - 2 \times 0,6 - 1,45 \times 10^{-3} \times 2700}{1,45 \times 10^{-3}} = 4,7 \text{ k}\Omega$$

IV.5. Carte de commande numérique

Cette carte permet de remplacer le système mini-computer dans le cas des mouvements simples, non compliqué où l'utilisateur n'a pas besoin de la partie software pour commander le bras manipulateur.

IV 5.1 Présentation de la carte

Le schéma synoptique de la carte est représenté dans le fig IV.6



Avec E signal de commande du sens de rotation.

Fig 5.6 Schéma synoptique de la carte

Elle est constitué par trois étages qui sont :

1. l'oscillateur : qui produit un signal TTL de fréquence réglable.
2. le séquenceur : qui genere les signaux d'excitation des quatre phases.
3. le clavier : qui selectionne l'adresse et le sens de rotation de chaque moteur.

D'après le schéma électrique de la carte en annexe D, on donne pour chaque étage l'analyse détaillée.

IV 5.1.1 L'oscillateur

Il est constitué par le circuit NE 555 de période égale à :

$$T = (R_1 + 2R_2) \cdot C \cdot \ln 2$$

Sa fréquence maximale est de 200 Hz environ qui est la fréquence maximal de travail des moteurs.

Les valeurs des résistances R1 et R2 sont calculés à partir des fréquences min (1 Hz) et max (200 Hz).

On choisie une capacité de valeur de 10 μ F, et on cherche les valeur des deux résistances R1 et R2 (potentiomètre)

pour : F= 200 Hz , et le potentiomètre R2=0 car T est minimum.

on à

$$T = R_1 C \ln 2$$

$$\Rightarrow R_1 = T / C \ln 2 = 725 \Omega$$

Pour :

$$F = 1 \text{ Hz}$$

on à

$$T = (R_1 + 2R_2) C \ln 2$$

$$\Rightarrow R_2 = 70 \text{ K}\Omega$$

Cet oscillateur sert à :

1. activer le séquenceur pour produire des signaux d'excitations des quatres phases.
2. activer le monostable pour produire une impulsion négatif de durée 500 ns environ.

IV. 5.1.2 Le séquenceur

Cet etage permet de générer des signaux d'excitation des quatres phases, selon les deux configuration suivantes :

1. rotation dans le sens CW (Clock Wise)

pas	1	2	3	4	5	.....
Ph1	1	1	0	0	1	.....
Ph2	0	1	1	0	0	.....
Ph3	0	0	1	1	0	.....
Ph4	1	0	0	1	1	.....

2. rotation dans le sens CCW (Counter Clock Wise)

pas	1	2	3	4	5	.....
Ph1	0	0	1	1	0	.....
Ph2	0	1	1	0	0	.....
Ph3	1	1	0	0	1	.....
Ph4	1	0	0	1	1	.....

De ces deux tableaux nous remarquons que :

$$Ph_1 = \overline{Ph_3} \quad \text{et} \quad Ph_2 = \overline{Ph_4}$$

D'où l'utilisation de deux bascules JK [7473] dont les sorties sont associée aux phases comme suit :

$$\begin{aligned} Q_1 &= Ph_1 & \overline{Q}_1 &= Ph_3 \\ Q_2 &= Ph_2 & \overline{Q}_2 &= Ph_4 \end{aligned}$$

Une analyse basée sur les deux phases Ph_1 et Ph_2 nous permet de tiré le tableau logique de cet etage selon le sens de rotation.

a. sens CW

le tableau suivant donne les états présents et les états futurs correspondants aux sorties de la bascule JK

Q_1	Q_2	Q_1^+	Q_2^+
1	0	1	1
1	1	0	1
0	1	0	0
0	0	1	0

Avec $Q_1 = Ph1$ et $Q_2 = Ph2$

où $Q_1^+ = Q_1\overline{Q_2} + \overline{Q_1}Q_2 = \overline{Q_2}$
 et $Q_2^+ = Q_1\overline{Q_2} + Q_1Q_2 = Q_1$

L'identification de ces équations avec l'équation générale de la bascule JK :

$$Q^+ = J\overline{Q} + \overline{K}Q$$

Nous permet de tirer :

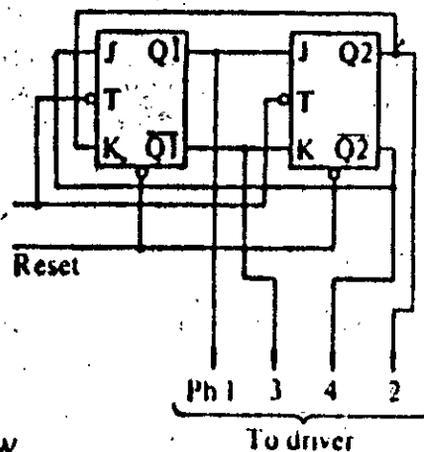
$$J_1 = \overline{Q_2}$$

$$J_2 = Q_1$$

$$K_1 = Q_2$$

$$K_2 = \overline{Q_1}$$

Le schéma logique de ce séquenceur sera donc le suivant :



(a) CW

b. sens CCW.

Dans ce cas le tableau de correspondance états futur / états passés est donné par :

Q1	Q2	$Q1^+$	$Q2^+$
0	0	0	1
0	1	1	1
1	1	1	0
1	0	0	0

avec

$$Q1^+ = Q2 \overline{Q1} + Q1 Q2$$

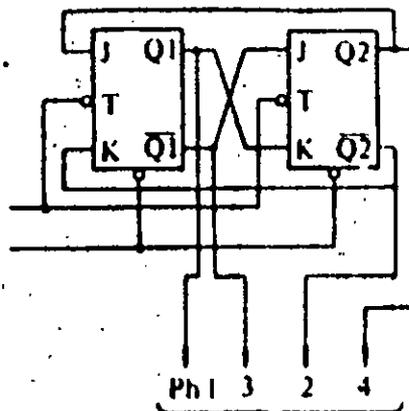
$$Q2^+ = \overline{Q1} \overline{Q2} + \overline{Q1} Q2$$

par identification avec l'équation générale précédente on aura :

$$J1 = \underline{Q2}, \quad J2 = \overline{Q1}$$

$$K1 = \overline{Q2}, \quad K2 = Q1$$

D'où le schéma logique de séquenceur (CCW) est le suivant :



(b) CCW To driver

Pour combiner les deux schémas logiques en un seul fonctionnant dans les deux sens de rotation, on introduit un circuit permettant le choix du sens à partir d'un signal de commande extérieur E qui prend la valeur 1 pour CW et 0 pour l'autre sens.

L'analyse logique suivante nous permet d'obtenir ce circuit :

Les signaux d'entrées de ce circuit sont: E, Q1 et $\overline{Q1}$ avec
 $Q1 = J2$ et $\overline{Q1} = K2$ dans le cas du sens CW
 et
 $Q1 = K2$ et $\overline{Q1} = J2$ dans le cas de l'autre sens.

A partir de ces données on obtient le tableau de vérité suivant :

E	Q1	$\overline{Q1}$	S
1	1	0	0
1	0	1	1
0	1	0	1
0	0	1	0

Où la sortie du circuit est donnée par :

$$\begin{aligned}
 S &= E \cdot \overline{Q1} \cdot \overline{Q1} + \overline{E} \cdot Q1 \cdot Q1 \\
 &= \underline{E \cdot \overline{Q1}} + \underline{\overline{E} \cdot Q1} \\
 &(\underline{= E \cdot Q1} + \underline{\overline{E} \cdot \overline{Q1}})
 \end{aligned}$$

le 7451 vérifier cette dernière équation.

Pour E=1 on a :

$$\begin{aligned}
 S &= \overline{Q1} & \text{et} & & K2 &= \overline{Q1} \\
 & & & & J2 &= Q1 = S
 \end{aligned}$$

Pour E=0 on a :

$$\begin{aligned}
 S &= Q1 & \text{et} & & K2 &= Q1 \\
 & & & & J2 &= \overline{Q1}
 \end{aligned}$$

Chapitre V

Programmation

V.1. Introduction

Dans ce dernier chapitre, nous avons élaboré le logiciel de gestion COMROB, qui représente l'étape de concrétisation de notre travail, il permet la commande des six moteurs du bras manipulateur en boucle ouverte.

Ce logiciel est composé de plusieurs programmes permettant la réalisation des différentes tâches du minirobot.

Il est écrit en langage basic-80 sur le système minicomputer trainer
" MOD MPZ-80/EV"

V.2 Description du système

Le minicomputer trainer MOD.MPZ-80/EV est un système de traitement des données, basé sur le micro processeur Z-80.

La structure modulaire du système lui permet de réaliser différentes configurations en fonction du domaine d'application qu'on désire étudier (de l'informatique à l'automatisation industrielle, du contrôle de processus à la robotique...).

Les possibilités d'extension du matériel du système permettent ainsi à l'utilisateur de diversifier et de spécialiser les fonctions exécutées par l'ordinateur grâce à l'insertion d'une ou plusieurs cartes avec lesquelles on pourra réaliser l'interfaçage de divers appareils.

La structure générale du système de base est composée par trois unités fondamentales:

l'unité centrale, l'unité disque souple et le terminal vidéo.

1. l'unité centrale : c'est le circuit électronique Z-80 où se trouvent toutes les opérations arithmétiques et logiques fondamentales de l'ordinateur.

2. l'unité disque souple : Elle est constituée par deux "drives" disques souples qui permettent d'utiliser de petits disques flexibles de 8 pouces comme dispositifs de mémoire de masse du système, dans ces disques sont mémorisés les programmes constituant les logiciels de base (CPM et Basic 80).
3. Le terminal vidéo: il est constitué par un moniteur CRT, un clavier et les circuit électronique de contrôle correspondant. Le format de visualisation sur le moniteur est de 24 lignes de 80 caractères.

La partie software du système est constituée par :

1. le système opérationnel CP / M
2. BASIC-80
3. Assembleur Z 80
4. Moniteur MON 80
5. Editeur ED 80

V.3. Elaboration du logiciel de gestion de minirobot

V.3.1 Description du logiciel COMROB.

L'exécution de COMROB permet l'application du menu principal de selection des différentes fonctions suivantes :

1. Commande par clavier
 2. Commande d'un seul moteur
 3. Mouvement simultannée de deux moteurs
 3. Mouvement sur séquence
 5. Fin
1. Commande par clavier : Ce programme permet de mouvoir le robot avec le clavier, l'utilisateur doit selectionner un actionneur et son sens de rotation.
Pour avancer l'actionneur de quatre pas, il suffit d'appuyer sur la touche "C" du clavier.
Pour sortir il suffit d'appuyer sur une autre touche.

2. Commande d'un seul moteur : Pour la commande d'un moteur, l'utilisateur doit introduire les paramètres suivants:

- l'adresse du moteur à commander
- la fréquence (vitesse) de travail
- le sens de rotation.
- l'angle de rotation à effectuer par le moteur

3. Mouvement simultané de deux moteurs : Ce programme nous permet de combiner deux mouvements effectuer par deux moteurs différents. Pour l'exécution de ce programme, l'introduction des paramètres précédents pour chaque moteur est nécessaire.

4. Mouvement sur séquence : Ce programme offre au mini-robot de réaliser une tâche prédéfinie par l'utilisateur, ou les moteurs se meuvent de façon séquentiel dont le but d'effectuer la tâche précédente. Comme dans les programmes précédents l'introduction des paramètres de mouvements est nécessaire.

V.4. Composition de logiciel

Les programmes principaux précédents sont composés par les sous programmes de base suivants:

1. Programmation du PIO: Le port A du PIO est constitué par deux registres, l'un de contrôle dont l'adresse est 1 et l'autre, de données dont l'adresse est 0.

Le port A est programme en sortie par l'instruction Basic out (1), 15.

2. Introduction des données : Pour le programme "mouvement sur séquence" l'introduction des données (adr, freq, sens, angle) se fait par deux méthodes:

- a. Par clavier (adr, freq, sens, angle)

b. Par calcul : à partir des coordonnées de position initial et final de l'organe terminal, le programme "calteta" calcule les valeurs des angles θ_i , qui permet de déterminer l'adresse et le sens de rotation de chaque moteur (I).

Pour les autres programmes l'introduction des données se fait seulement par clavier.

La fréquence est introduite par clavier pour tous les programmes.

3. Calcul de nombre de pas correspondant à l'angle teta :

D'après les équations (2-4), (2-5) mentionnées dans le chap II on a
nombre de pas = teta / A

avec A : accroissement angulaire de chaque organe du bras.

4. Envoi des données vers les moteurs :

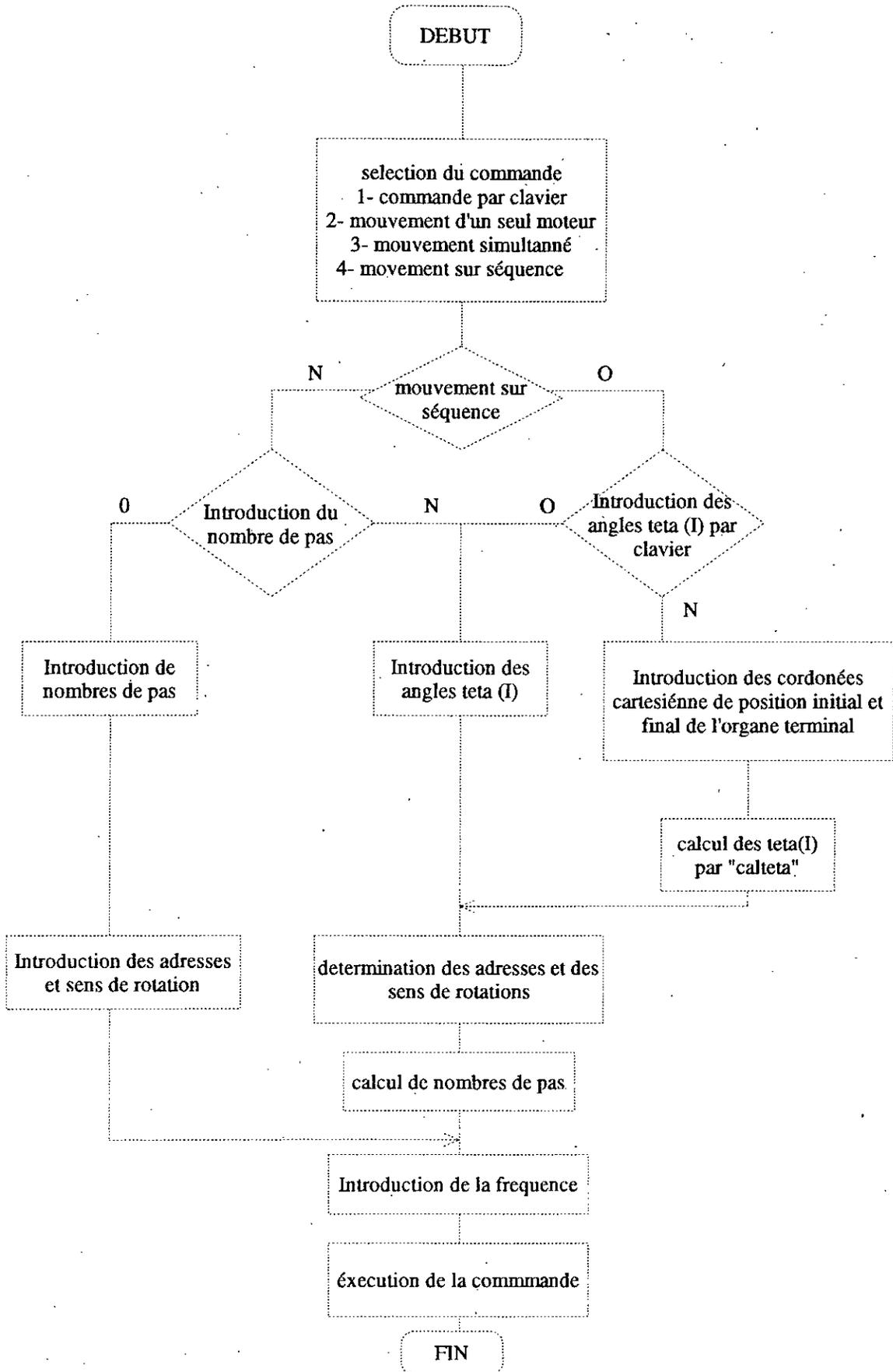
Ces sous programmes génèrent des signaux de commande nécessaires au déplacement d'un seul pas correspondant à un moteur choisi.

V.5. Les organigrammes des programmes

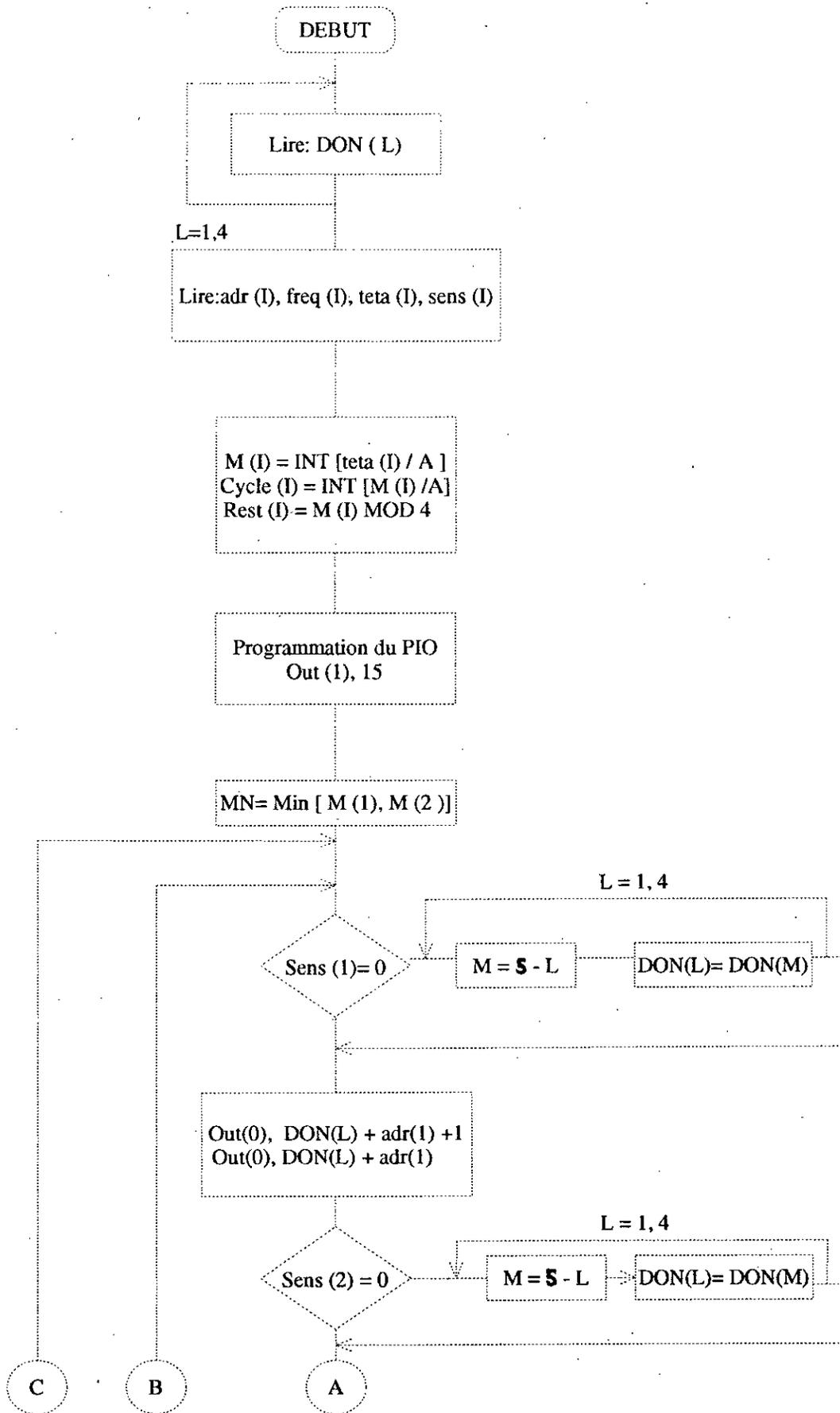
Les paramètres utilisés dans les organigrammes :

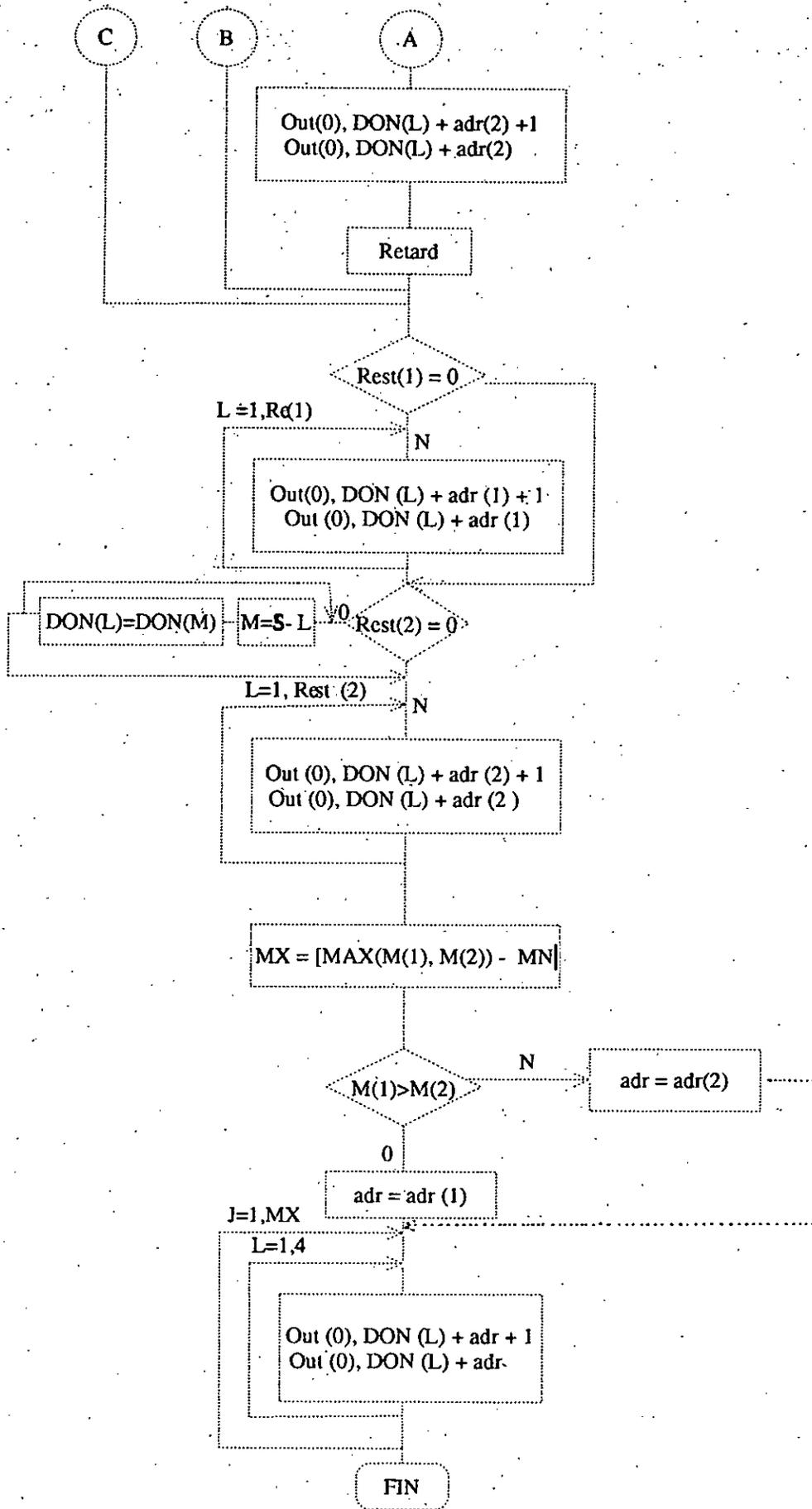
Adr	: adresse du moteur à commander
Freq	: fréquence des signaux d'excitation des phases
Sens	: Sens de rotation du moteur (CW ou CCW)
Teta	: l'angle de rotation du moteur à commander
Delay	: temps de mémorisation des données correspondant à la fréquence.
Cycle	: nombre des cycles (un cycle = 4 pas) avec cycle = Teta / (4. AA), avec AA accroissement angulaire.
N	: nombre des moteurs à commander.
Don	: les données représentées par les bits $A_8 A_7 A_5 A_6$

Organigramme general de COM ROB

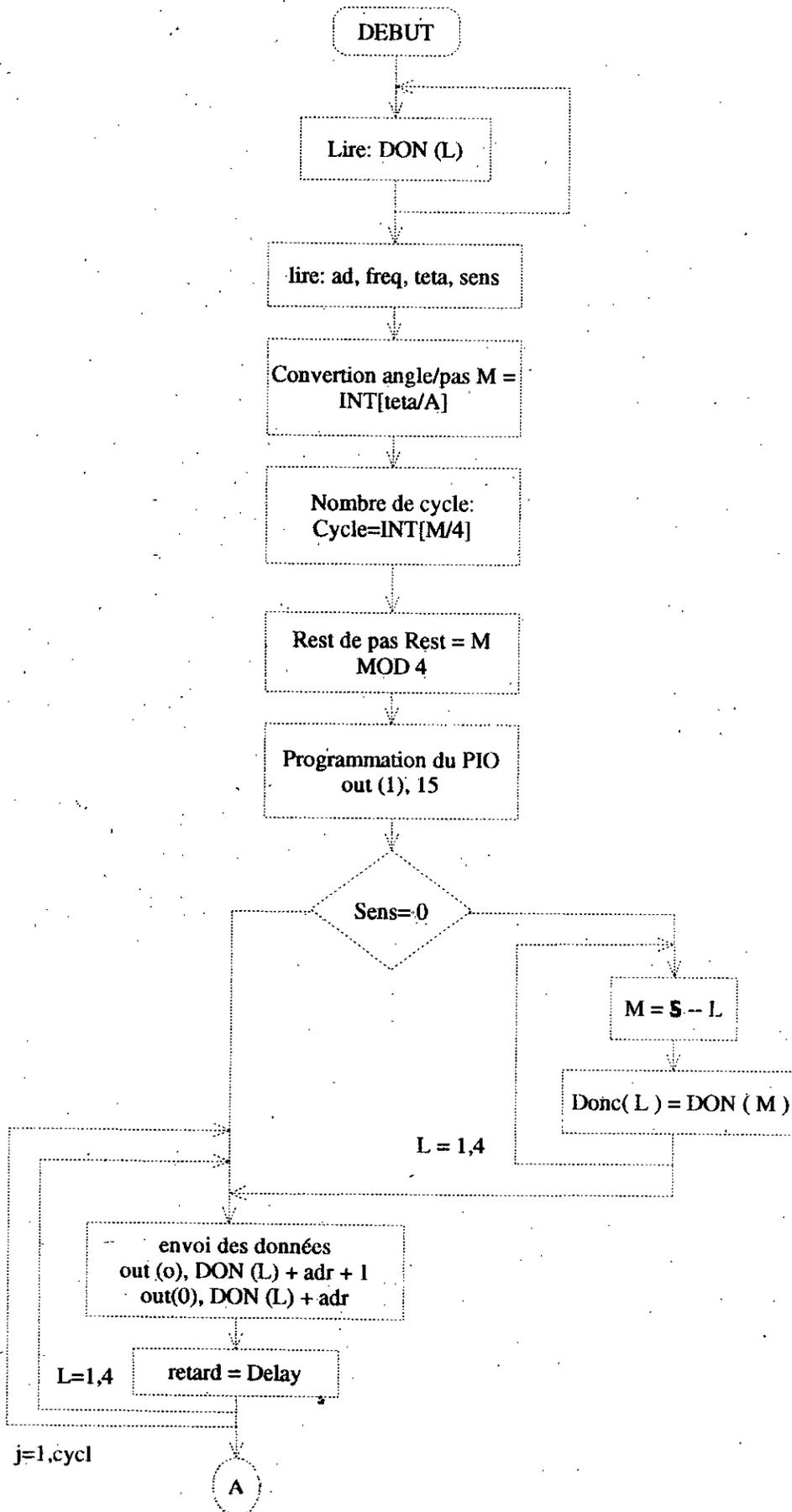


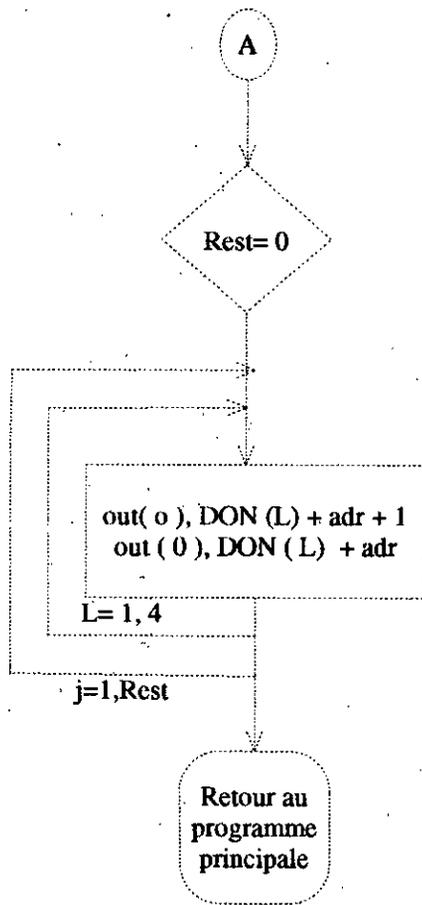
Commande de deux moteurs simultanés



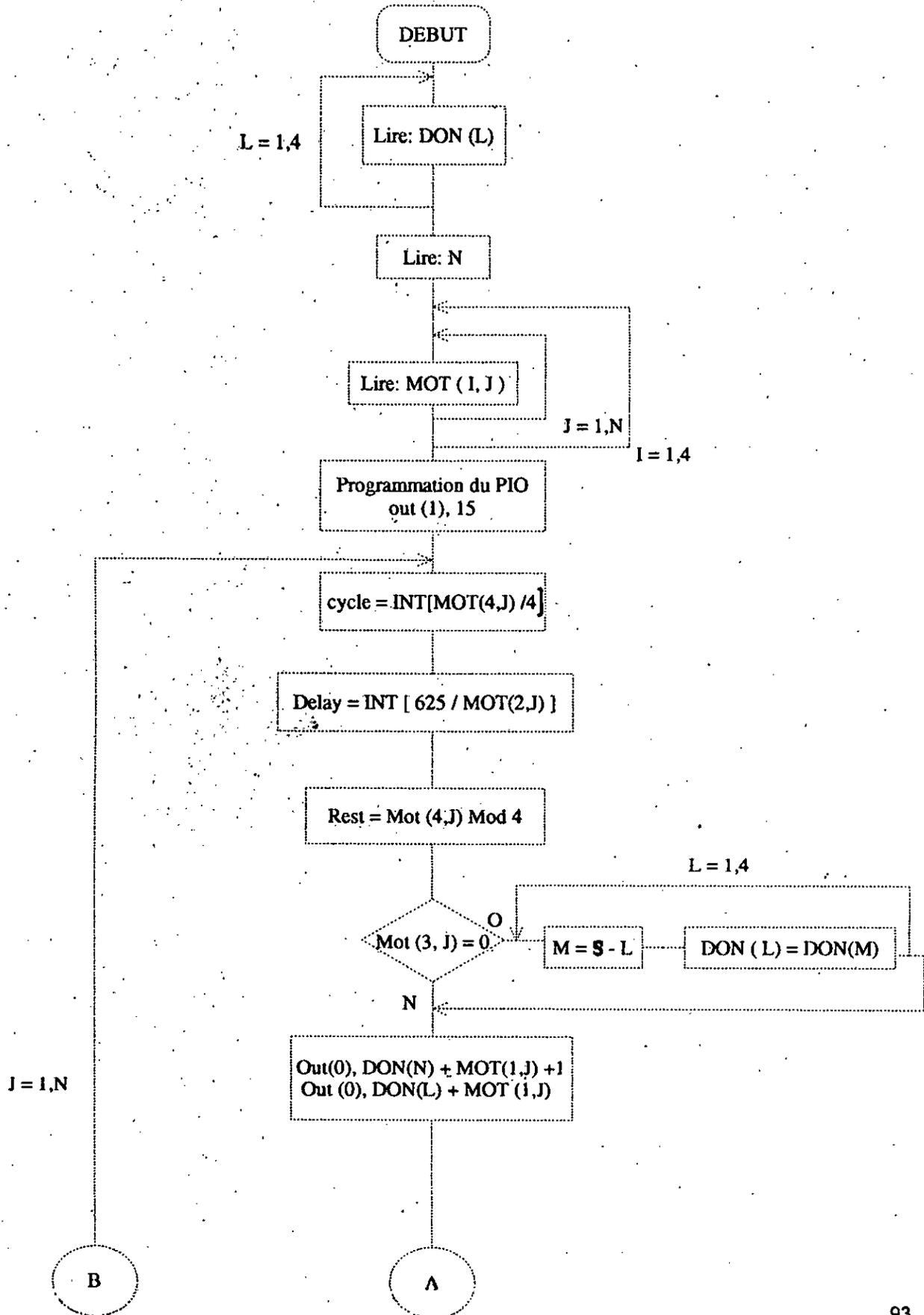


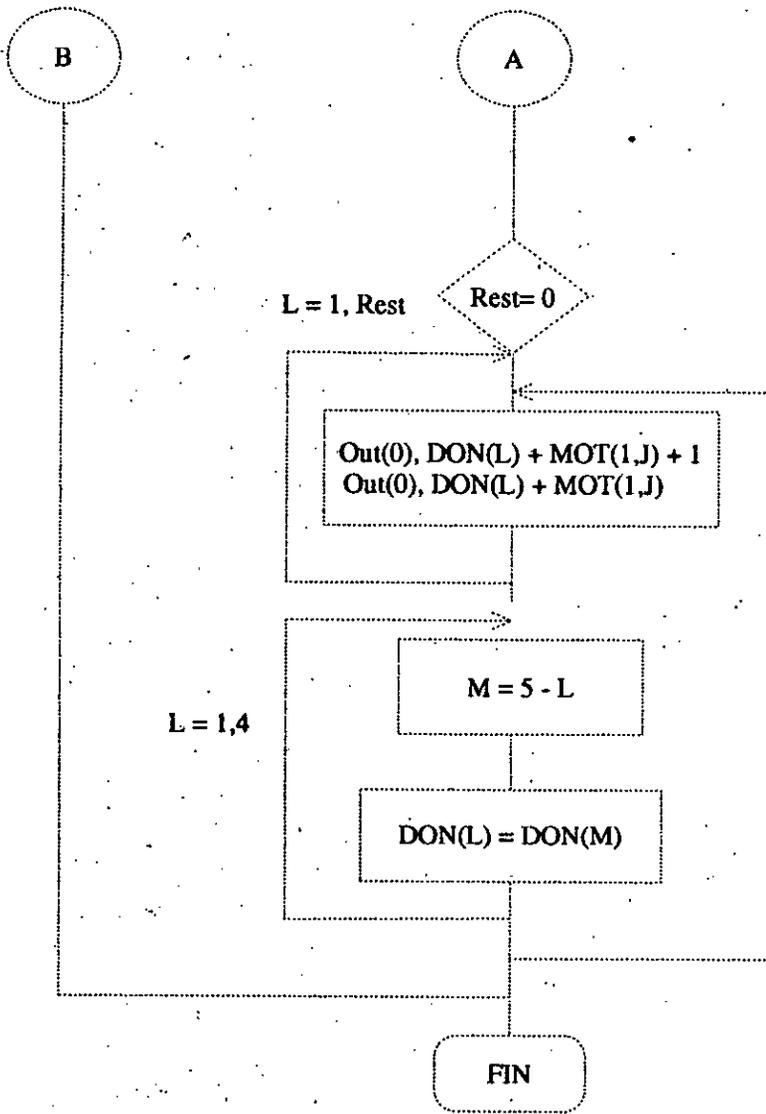
Commande d'un seul moteur



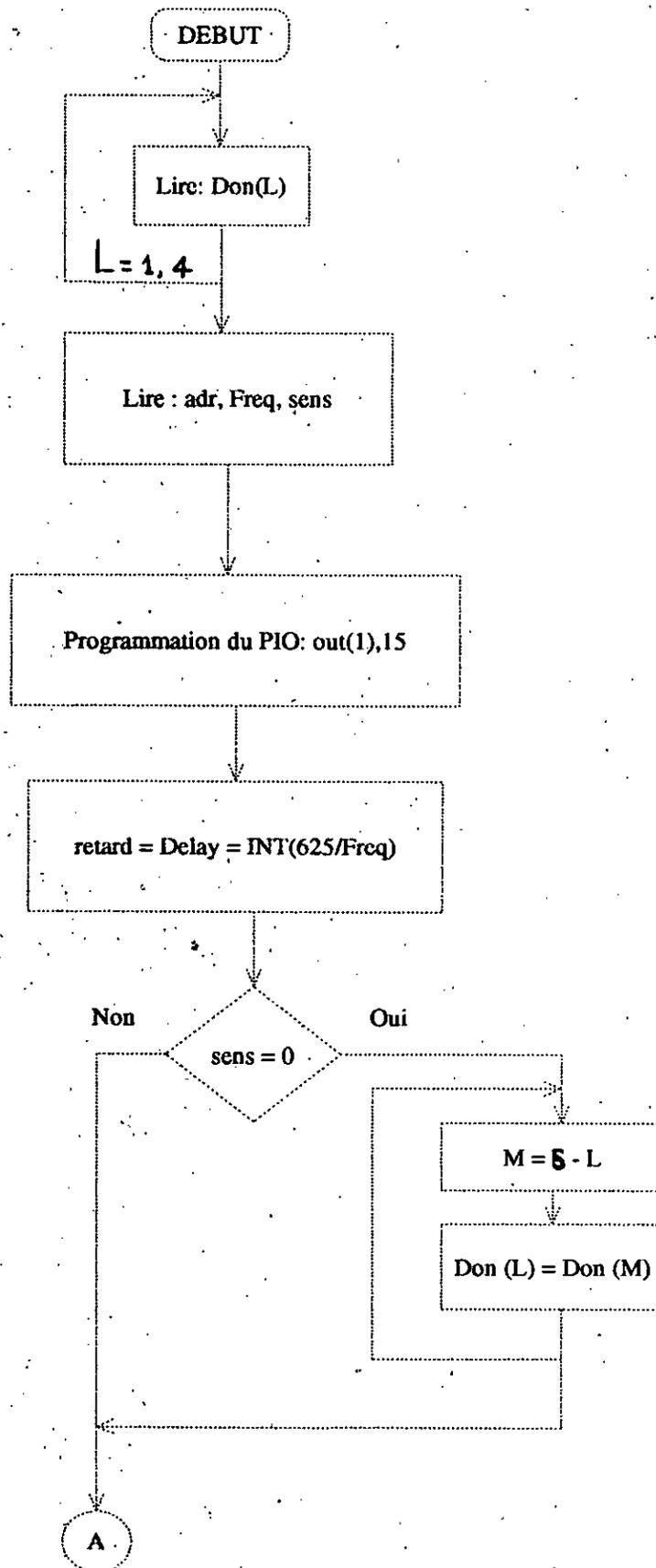


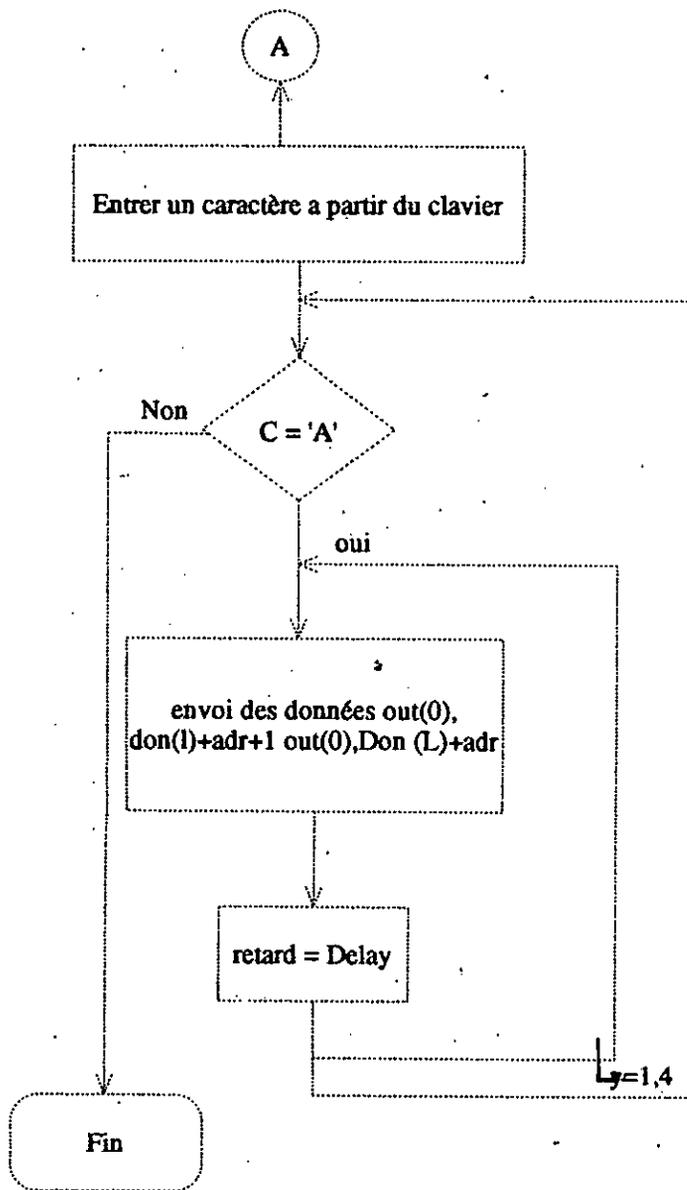
Commande de plusieurs moteurs





Commande par clavier





CONCLUSION

CONCLUSION

L'objectif de notre projet, portait sur la conception et la réalisation d'une carte de commande d'un bras manipulateur, ainsi que l'écriture d'un logiciel de gestion :

1. La carte de commande principale réalisée peut être connectée soit à:
 - un ordinateur quelconque.
 - la carte de commande numérique, qui a été réalisée (par séquenceur logique), qui remplace la partie software pour des mouvements simples
2. Le développement du logiciel permet le déplacement de l'outil terminal vers une position prédéfinie suivant la tâche désirée.

Nous signalons que la commande par software présente plusieurs avantages parmi lesquels :

- * l'organe terminal atteint facilement son objectif avec une meilleure précision.
- * pour une séquence du mouvement, la sélection des moteurs à commander se fait automatiquement par le programme.
- * l'utilisateur choisit le nombre de pas à effectuer par chaque moteur, ce qui est irréalisable sur la carte de commande numérique sans l'implantation d'un compteur.

Le travail qui a été présenté, nous a permis de concrétiser nos connaissances sur les points suivants :

1. La commande qui consiste à spécifier ce que doit faire le robot manipulateur ainsi que le contrôle qui fournit le moyen de suivre convenablement la tâche qui lui est assignée.
2. Les moteurs pas à pas présentent une meilleure résolution en position et en vitesse, une bonne fiabilité en boucle ouverte. Ces moteurs sont donc des actionneurs de choix pour la robotique.

3. La commande assistée par ordinateur, qui est caractérisé par l'écriture de programme permettant le déplacement de l'outil terminal vers une position prédéfinie suivant la tâche désirée.
4. La conception et la réalisation des cartes électronique :

Nos actionneurs sont caractérisés par une limitation de fréquence par une valeur maximale de 200 hz. Ceci est dû aux valeurs des paramètres des moteurs.

Nous espérons que ce travail constituera une étape de base utile pour :

1. Servir comme manipulation dans le cours de robotique.
2. Développer le contrôle et la commande du mini robot en boucle fermée grâce à l'introduction de capteur dans la boucle de retour. (capteur de position et de vitesse, système de décision et perception de l'environnement).
3. Pour l'installation des robots industriels dans nos entreprises.

BIBLIOGRAPHIE

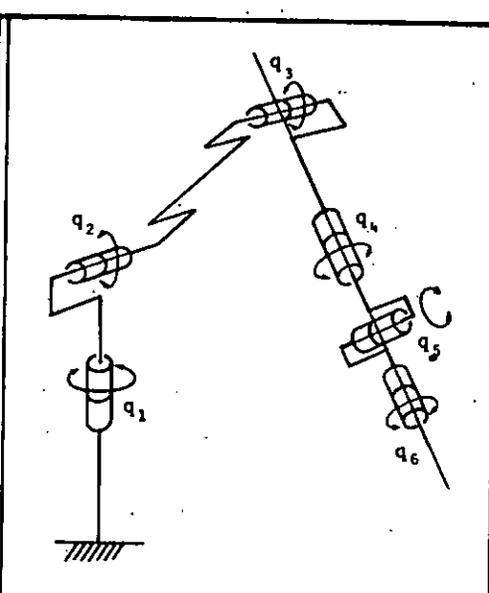
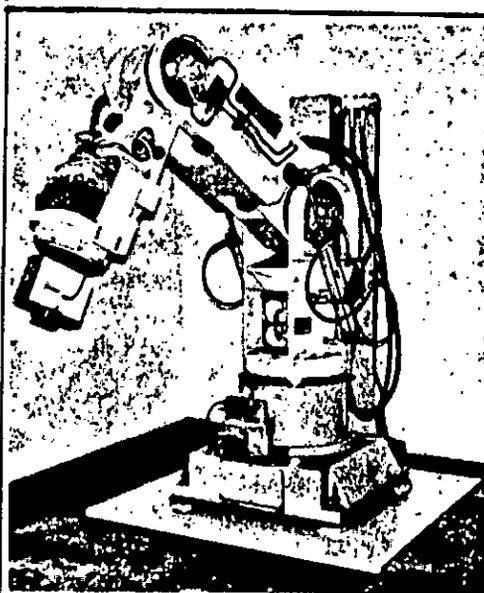
BIBLIOGRAPHIE

- [1] M. CAZIN & J METJE
" Mécanique de la robotique "
Edition DUNOD 1989
- [2] G. CHEVALIER & J.C CHAUVEAU
" Mémotech électronique "
Edition CASTELA -1989.
- [3] C. FARGEON
"Commande numérique des systèmes"
Edition MASON -1980.
- [4] GINI & M.GINI
"Robotique: Contrôle, programmation , interaction avec
l'environnement "
Edition MASSON-1985
- [5] B.GORLA
"Modèles des robots manipulateurs,
application à leurs commandes "
Edition CEPADUES -1984
- [6] M.GACI
"Basic et ses applications "
Edition BERTI -1989
- [7] T KENJO
"Stepping motors and their microprocessor controls"
published in the USA by OXFORD UNIVERSITY-1984
- [8] P.LE BEUX
"Introduction au Basic"
Edition CEDEX-1980.
- [9] OGATA
"Systems dynamics "
Edition PRENTICE HALL-1978
- [10] A.PRUSKI
"Robotique générale "
Edition ELLIPSES-1988

- [11] F. SAGUEZ
"Maîtrisez les interfaces de votre micro-ordinateur"
Edition EYROLLES-1984
- [12] F SHADL
"Point en robotique "
TECH et DO-1985.
- [13] Y.N SHIMON :
"Handbook of industrial robotics"
copyright 1985 by JHON WILEY and SONS.INC
- [14] TEXAS INSTUMENTS
"The TTL data book"
Edition RADIO-1973
- [15] J.VIGNES
"Algorithmes numériques ", tome II
Edition TECHNIQUE-1980.
- [16] VIBET
"Robots: principes et contrôle"
Edition ELLIPSES-1987
- [17] K.YORAM
"La robotique pour ingénieurs "
Edition MC GRAW HILL-1986
- [18] SCIENCE ET VIE
"Numero spéciale sur la robotique
1975
- [19] Documentation sur le système:
minicomputer trainer "MOD MZP/80"
- [20] Michel Kaont
"Les actionneurs électriques pas à pas"
Hermès 1989. 292 pages
- [21] Philippe Criffet
"Elements de Robotique"
Hermès 1982 - 190 pages

ANNEXE

Annexe A : Quelques exemples sur les robots de type 6 R. (RRRRRR).
 - Robot Manipulateur RENAULT V 80



TYPE : 5 R

DEGRES DE LIBERTE

	Nat.	Débat	Vit.	Vitesse Maxi				Vitesse Maxi	
q ₁	R	270°	57°/s	1 rd/s	q ₄	R	330°	172°/s	3 rd/s
q ₂	R	120°	57°/s	1 rd/s	q ₅	R	270°	172°/s	3 rd/s
q ₃	R	270°	57°/s	1 rd/s	q ₆	R	344°	172°/s	3 rd/s

PRÉCISION : 2 mm

REPETABILITE : 1 mm

ACTIONNEURS : Electrohydrauliques (Pression d'alimentation 110 bars)

CAPTEURS : incrémentaux à 400 pas/tour

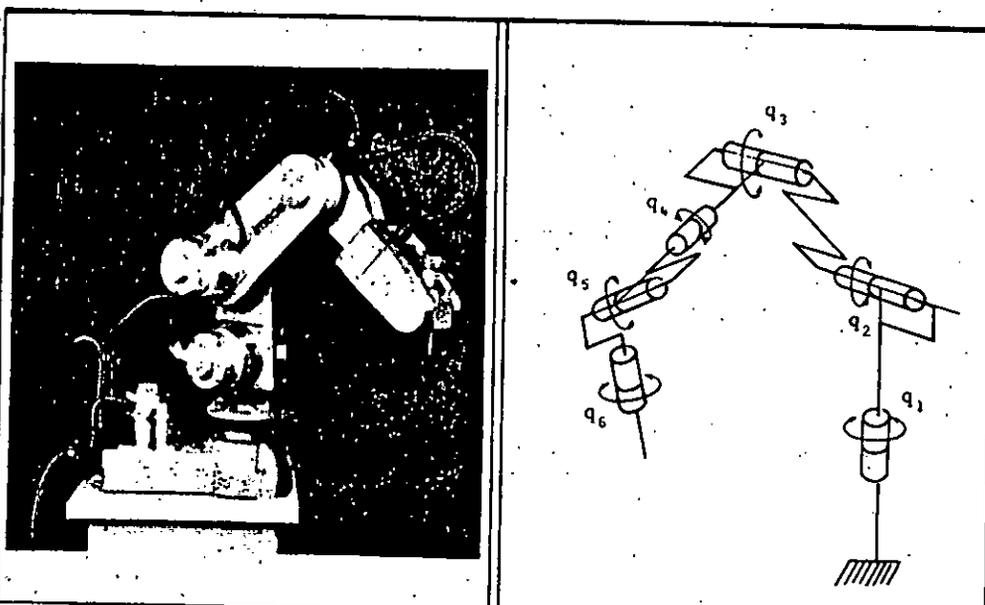
SYSTEME DE COMMANDE : BAIE "VERSION 5" (V5) constituée de :
 - Carte Gestion
 - Carte Commande 6 axes
 - Carte Entrées/Sorties (environnement)
 - Carte Opérateur géométrique

ORGANE TERMINAL : Suivant type d'application (pince de soudure, de préhension)

CAPACITE : 80 daN

APPLICATIONS : - Soudage par points ou en continu
 - Manutention de pièces lourdes

- Robot Manipulateur SCEMI 6 P01



TYPE : 6R

DEGRES DE LIBERTE

	Nat.	Débat	Vit.				
q_1	R	268°	233°/s		q_4	R	360° 233°/s
q_2	R	120°	233°/s		q_5	R	250° 233°/s
q_3	R	116°	233°/s		q_6	R	360° 233°/s

PRECISION :

REPETABILITE :

ACTIONNEURS : Servo-moteurs à courant continu

CAPTEURS : Incrémentaux à 1000 pas/tour et 800 pas/tour

SYSTEME DE COMMANDE : LSI 11/23 de 64 Ko et microprocesseurs, d'asservissement locaux

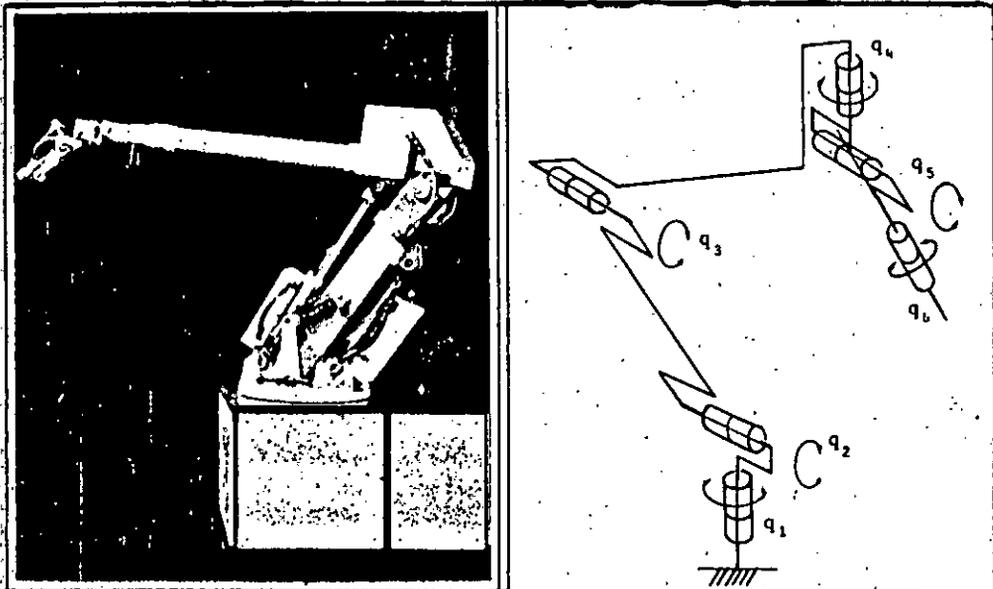
ORGANE TERMINAL : Pince à 2 mors parallèles

CAPACITE : 1,5 daN

APPLICATIONS :

- Assemblage
- Alimentation de machine
- Petits usinages
- Dépôts de colle
- Soudage ...

- Robot Manipulateur AOIP-KREMLIN AKR 3000



TYPE : 6R

DEGRES DE LIBERTE

	Nat.	Débat	Vit.				
q_1	R	93°/180°		q_4	R	270°	
q_2	R	75°		q_5	R	270°	
q_3	R	58°		q_6	R	270°	

PRECISION :

REPETABILITE : 2 mm

ACTIONNEURS : vérins hydrauliques à doubles effets (q_1, q_2, q_3) pilotés par servovalves.

CAPTEURS : Potentiomètres à piste plastique

SYSTEME DE COMMANDE :

ORGANE TERMINAL : (vitesse maximale 2 m/s).

CAPACITE : 15 daN

APPLICATIONS : Peinture

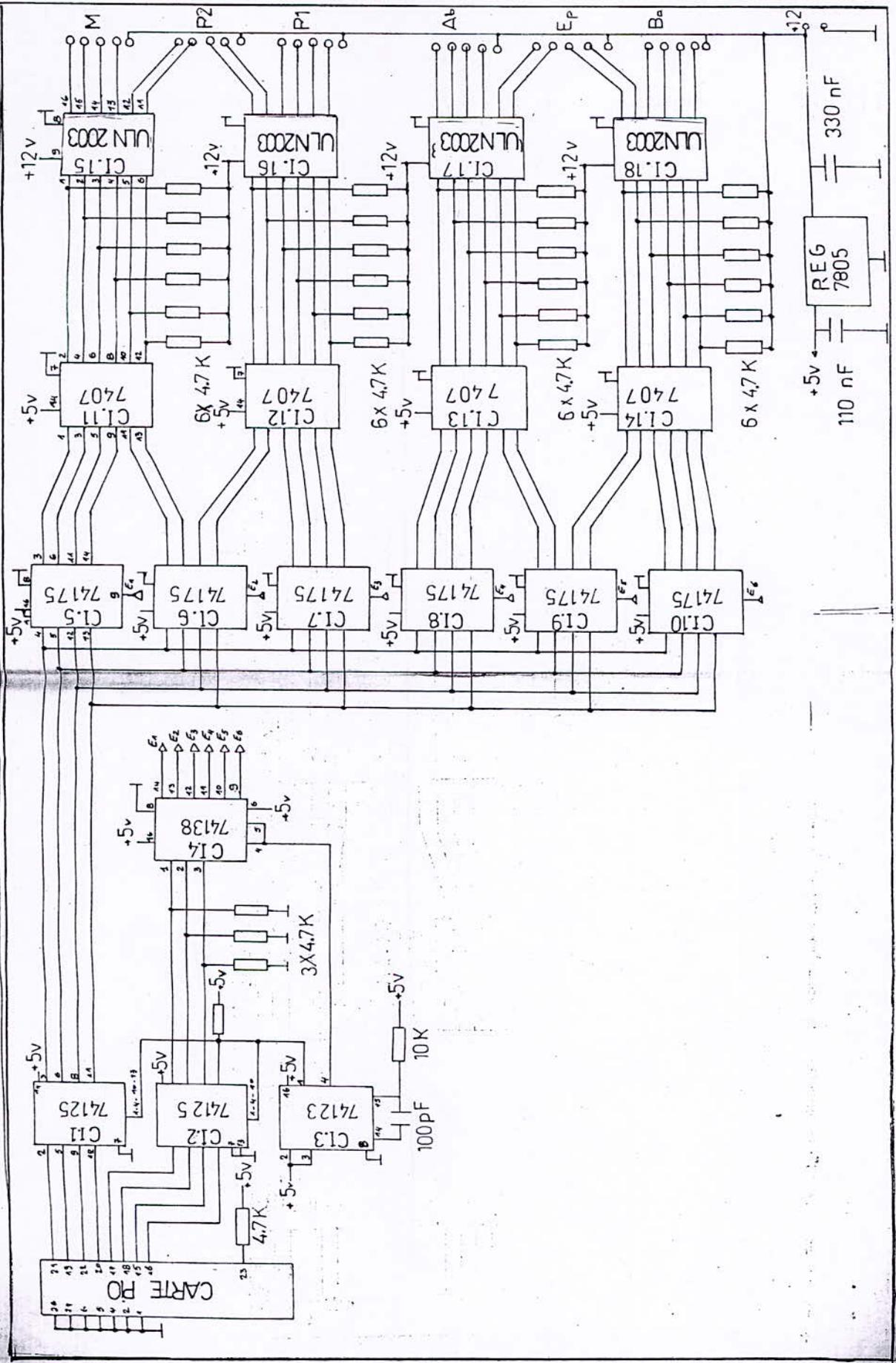
Annexe B : Caractéristiques de quelques types des moteurs pas à pas.

Typical specifications for step motors used for instruments

Step motor no	1	2	3	4	5
Type(VR or PM)	PM	VR	PM	PM	PM
No. of phase	1	3	4	4	4
Voltage (V dc)	24	30	5	12	16
Current(mA/ph)	50	1500	80	170	240
Resistance/ph	500	20	60	70	65
Excitation method(no. of phase"on")	1	2	2	2	2
Step angle(°)	22.5	15	18	18	11.25
Dynamic torque (gf-cm at 10 pps)	40	700	6	40	250
Rotor inertia (g-cm ²)	16	10	0.2	5	15
Weight (gf)	200	450	20	150	200
Temperature rise (°C)	40	80	40	50	40

Step motor no	1	2	3	4	5
Type(VR or PM)	PM	VR	PM	PM	PM
No. of phase	1	3	4	4	4
Voltage (V dc)	24	30	5	12	16
Current(mA/ph)	50	1500	80	170	240
Resistance/ph	500	20	60	70	65
Excitation method(no. of phase"on")	1	2	2	2	2
Step angle(°)	22.5	15	18	18	11.25
Dynamic torque (gf-cm at 10 pps)	40	700	6	40	250
Rotor inertia (g-cm ²)	16	10	0.2	5	15
Weight (gf)	200	450	20	150	200
Temperature rise (°C)	40	80	40	50	40

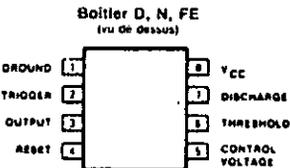
Annexe D : Les Schémas électriques des cartes.
 - Schéma électrique de carte de commande numérique



Annexe C : Brochages des composants utilisés.

<p style="text-align: center;">MICRO-PROCESSEUR MPU (Microprocessor)</p>	<p>2.3.4. FAMILLE Z 80 ZILOG</p> <p>Z 8400 CENTRAL PROCESS UNIT (CPU) Microprocesseur 8 bits. — Compatible avec le logiciel du MPU 8080 A. — 158 instructions. — Fréquences de fonctionnement : 4 MHz (8400 A), 6 MHz (8400 B), 8 MHz (8400 C). Tension d'alimentation : $V_{CC} = 5 V \pm 5 \%$. Puissance dissipée max : 1,5 W.</p> <p>Brochage</p> <p>Schéma fonctionnel</p>
	<p style="text-align: center;">PIO</p>

Annexe C : Brochages des composants utilisés.

NE555/NE556		d'après 							
DESCRIPTION : Les circuits intégrés NE555 et NE556 sont des monostables de longue durée qui permettent la réalisation de temporisation allant de quelques microsecondes à quelques heures. Leurs performances et leurs facilités d'emploi leur ont ouvert des domaines jusqu'alors réservés à l'électromécanique. Le NE556 est constitué de deux NE555 dans le même boîtier.									
Valeurs limites		Brochage							
Tension d'alimentation SE555 NE555, SE555C	+ 18 V + 16 V								
Puissance dissipée	600 mW								
Plage de température de fonctionnement NE555 SE555, SE555C	0 à +70 °C -55 à +126 °C								
Plage de température de stockage	-65 à +150 °C								
Température d'une broche (soudage, 60 sec.)	300 °C								
<p>ORDER NUMBERS SE/NE555N.FE, NE555D SE555CN.CFE</p>									
Caractéristiques électriques en courant continu $T_A = 25 \text{ °C}$, $V_{CC} = +5 \text{ V à } +15 \text{ V}$ (sauf mentions particulières)									
Paramètres	Conditions	SE555			NE555/SE555C			Unités	
		Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.		
Tension d'alimentation		4,5		18	4,5 ¹		16	V	
Courant d'alimentation (à l'état bas) ¹	$V_{CC} = 5 \text{ V}$, $R_L = \infty$ $V_{CC} = 15 \text{ V}$, $R_L = \infty$		3 10	5 12		3 10	6 15	mA mA	
Erreur de temps Précision initiale ² Dérive en fonction de la température Dérive en fonction de la tension d'alimentation	$R_A = 2 \text{ k}\Omega$ à $100 \text{ k}\Omega$ $C = 0,1 \text{ }\mu\text{F}$		0,5 30 0,05	2,0 100 0,2		1,0 50 0,1	3,0 150 0,5	% ppm/°C %/V	
		Erreur de temps Précision initiale ² Dérive en fonction de la température Dérive en fonction de la tension d'alimentation	$R_A, R_B = 1 \text{ k}\Omega$ à $100 \text{ k}\Omega$ $C = 0,1 \text{ }\mu\text{F}$ $V_{CC} = 15 \text{ V}$		4 0,15	6 500 0,6	5 0,3	13 500 1	% ppm/°C %/V
Niveau de la tension de contrôle	$V_{CC} = 15 \text{ V}$ $V_{CC} = 5 \text{ V}$ $V_{CC} = 15 \text{ V}$ $V_{CC} = 5 \text{ V}$	9,6 2,9	10,0 3,33	10,4 3,8	9,0 2,6	10,0 3,33	11,0 4,0	V V	
Tension de seuil		9,4 2,7	10,0 3,33	10,6 4,0	8,8 2,4	10,0 3,33	11,2 4,2	V V	
Courant de seuil ³			0,1	0,25		0,1	0,25	μA	
Tension du trigger	$V_{CC} = 15 \text{ V}$ $V_{CC} = 5 \text{ V}$	4,8 1,45	5,0 1,67	5,2 1,9	4,5 1,1	5,0 1,67	5,6 2,2	V V	
Courant du trigger	$V_{TRIG} = 0 \text{ V}$		0,5	0,9		0,5	2,0	μA	
Tension de remise à zéro ⁴		0,3		1,0	0,3		1,0	V	
Courant de remise à zéro	$V_{RESET} = 0 \text{ V}$		0,1 0,4	0,4 1,0		0,1 0,4	0,4 1,5	mA mA	
Tension de sortie (à l'état bas)	$V_{CC} = 15 \text{ V}$ $I_{SINK} = 10 \text{ mA}$		0,1	0,15		0,1	0,25	V	
	$I_{SINK} = 50 \text{ mA}$		0,4	0,5		0,4	0,75	V	
	$I_{SINK} = 100 \text{ mA}$		2,0	2,2		2,0	2,5	V	
	$I_{SINK} = 200 \text{ mA}$ $V_{CC} = 5 \text{ V}$		2,5			2,5		V	
	$I_{SINK} = 8 \text{ mA}$ $I_{SINK} = 5 \text{ mA}$		0,1 0,05	0,25 0,2		0,3 0,25	0,4 0,35	V V	
Tension de sortie (à l'état haut)	$V_{CC} = 15 \text{ V}$ $I_{SOURCE} = 200 \text{ mA}$ $I_{SOURCE} = 100 \text{ mA}$ $V_{CC} = 5 \text{ V}$		13,0	12,5 13,3		12,5 13,3		V V	
	$I_{SOURCE} = 100 \text{ mA}$		3,0	3,3		2,75	3,3	V	
	$V_{RESET} = V_{CC}$			0,5	2,0		0,5	2,0	μs
Temps de montée de la sortie			100	200		100	300	ns	
Temps de descente de la sortie			100	200		100	300	ns	
Courant de fuite du circuit de décharge			20	100		20	100	nA	
NOTES 1. Courant d'alimentation quand la sortie délivre moins de 1 mA à l'état haut. 2. Testé à $V_{CC} = +5 \text{ V}$ et $V_{CC} = +15 \text{ V}$. 3. Ce courant détermine la valeur maximum de $R_A + R_B$ pour une alimentation de +15 V. Le maximum est de 10 M Ω et de 3,4 M Ω pour une alimentation de 5 V. 4. Spécifié avec l'entrée Trigger à l'état haut. 5. Temps mesuré depuis le début d'une impulsion positive d'entrée de 0 à $0,8 \cdot V_{CC}$ jusqu'à la descente à l'état bas de la sortie.									

TIMER
ET
MONOSTABLE
DE
LONGUE DURÉE

Annexe C : Brochages des composants utilisés.

SERIES ULN-2000A
7-CHANNEL DARLINGTON DRIVERS

SERIES ULN-2000A HIGH-VOLTAGE, HIGH-CURRENT DARLINGTON ARRAYS

THESE HIGH-VOLTAGE, HIGH-CURRENT Darlington arrays are comprised of seven silicon NPN Darlington pairs on a common monolithic substrate. All units have open-collector outputs and integral diodes for inductive load transient suppression.

Peak inrush currents to 600 mA (Series ULN-2000A and ULN-2020A) or 750 mA (Series ULN-2010A) are permissible, making them ideal for driving tungsten filament lamps.

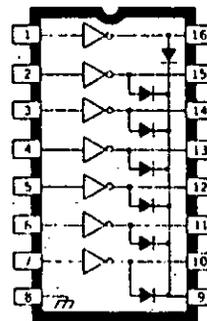
Series ULN-2001A devices are general purpose arrays that may be used with standard bipolar digital logic using external current limiting, or with most PMOS or CMOS directly. All are pinned with outputs opposite inputs to facilitate printed wiring board layout and are priced to compete directly with discrete transistor alternatives.

Series ULN-2002A is designed for use with 14 to 25 V PMOS devices. Each input has a Zener diode and resistor in series to limit the input current to a safe value in that application. The Zener diode also gives these devices excellent noise immunity.

Series ULN-2003A has a 2.7 k Ω series base resistor for each Darlington pair, allowing operation directly with TTL or CMOS operating at a supply voltage of 5 V. These devices will handle numerous interface needs — particularly those beyond the capabilities of standard logic buffers.

Series ULN-2004A has a 10.5 k Ω series input resistor that permits operation directly from CMOS or PMOS outputs utilizing supply voltages of 6 to 15 V. The required input current is below that of Series ULN-2003A, while the required input voltage is less than that required by Series ULN-2002A.

Series ULN-2005A is designed for use with standard TTL and Schottky TTL, with which higher output currents are required and loading of the logic



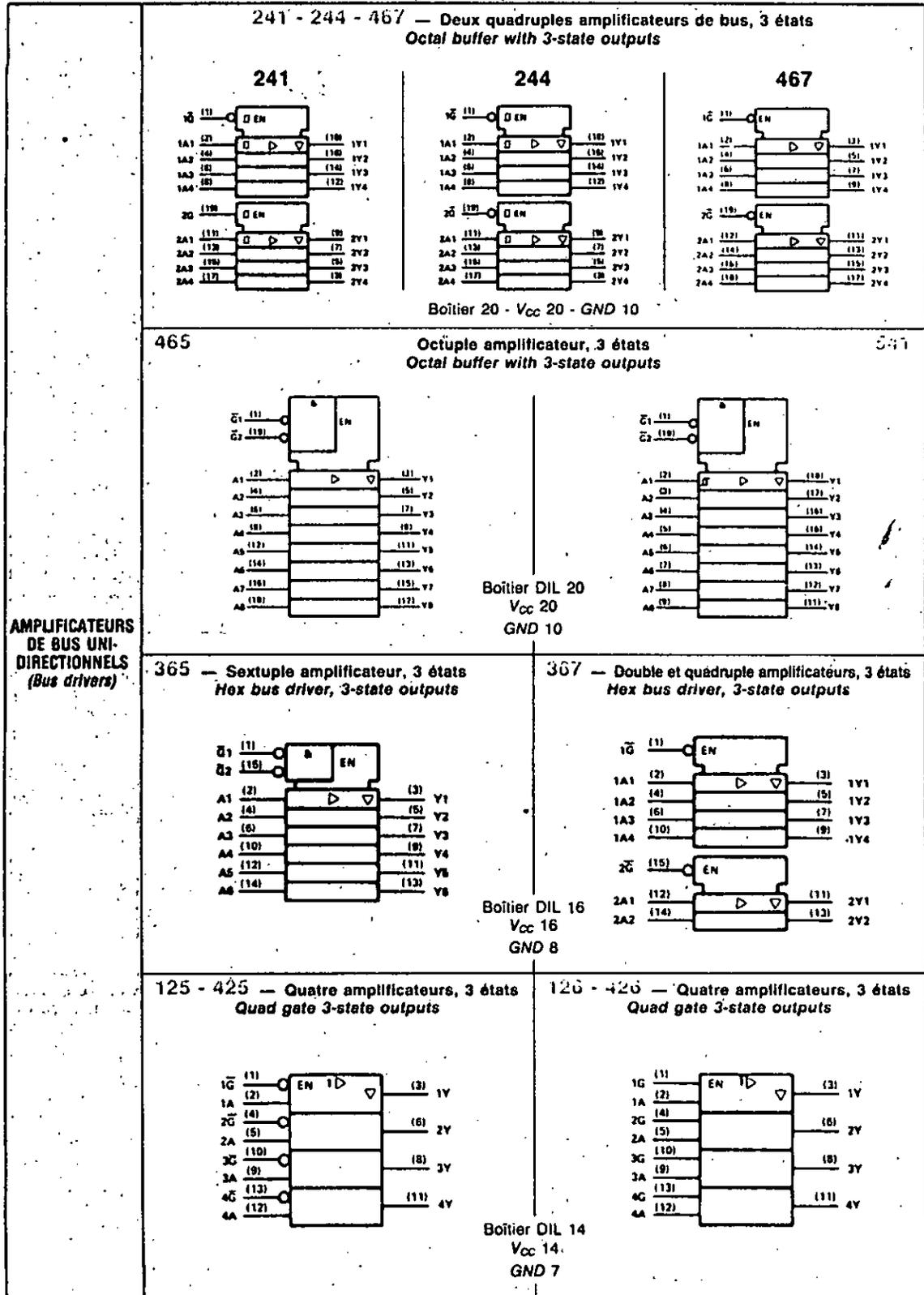
output is not a concern. These devices will sink a minimum of 350 mA when driven from a "totem pole" logic output.

Series ULN-2000A is the original high-voltage, high-current Darlington array. The output transistors are capable of sinking 500 mA and will sustain at

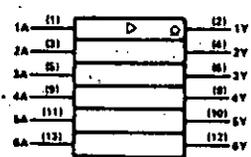
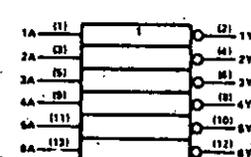
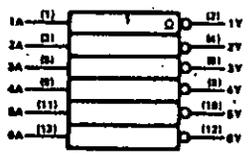
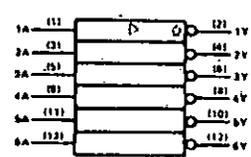
Device Number Designation

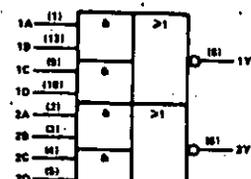
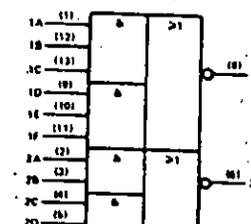
$V_{(CMOS)}$	50 V	50 V	95 V
$I_{(max)}$	500 mA	600 mA	500 mA
Logic	Type Number		
General Purpose PMOS, CMOS	ULN-2001A	ULN-2011A	ULN-2021A
14-25 V PMOS	ULN-2002A	ULN-2012A	ULN-2022A
5 V TTL, CMOS	ULN-2003A	ULN-2013A	ULN-2023A
6-15 V CMOS, PMOS	ULN-2004A	ULN-2014A	ULN-2024A
High-Output TTL	ULN-2005A	ULN-2015A	ULN-2025A

Annexe C : Brochages des composants utilisés.



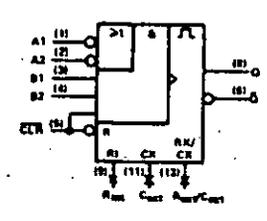
Annexe C : Brochages des composants utilisés.

AMPLIFICATEURS INVERSEURS (Buffers Inverters)	<p>07 - 17 — Six amplificateurs, C.O. <i>Hex buffer/driver with open collector</i></p>  <p>$Y = A$</p> <p>Boîtier DIL 14 V_{cc} 14 GND 7</p> <p>Tension de sortie: 07 = 30 V, 17 = 15 V 17 - Interface TTL - CMOS</p>	<p>04 — Six inverseurs <i>Hex inverter</i></p>  <p>$Y = \bar{A}$</p>
	<p>05 — Six inverseurs, C.O. <i>Hex inverter with open collector</i></p>  <p>$Y = \bar{A}$</p> <p>Boîtier DIL 14 V_{cc} 14 GND 7</p> <p>Tension de sortie: 06 = 30 V, 16 = 15 V 16 - Interface TTL - CMOS</p>	<p>06 - 16 — Six amplificateurs Inverseurs, C.O. <i>Hex inverter buffer/driver with open collector</i></p> 

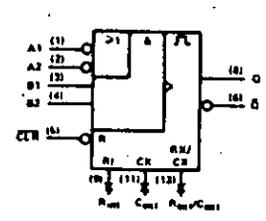
PORTES MULTIPLES (Complex gates)	<p>51 — Deux portes ET-OU-NON à 2 x 2 entrées <i>Dual AND-OR-INVERT gate 2 wide 2-input</i></p> <p>(Ne pas connecter 11 et 12)</p> <p>$Y = \overline{AB + CD}$</p>  <p>Boîtier DIL 14 V_{cc} 14 GND 7</p>	<p>LS 51 — Deux portes ET-OU-NON à 2 x 2 et 2 x 3 entrées — Dual AND-OR-INVERT gate 2-wide 2-input, 2-wide 3-input</p> <p>$1Y = \overline{(1A \cdot 1B \cdot 1C) + (1D \cdot 1E \cdot 1F)}$ $2Y = \overline{(2A \cdot 2B) + (2C \cdot 2D)}$</p> 
---	---	---

Annexe C : Brochages des composants utilisés.

122
Monostable redéclenchable avec RAZ
Retriggerable monostable multivibrator with clear
422

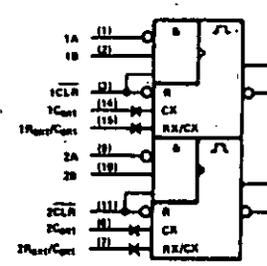


	Entrées				Sorties	
	CLR	A1	A2	B1	B2	Q
L	X	X	X	X	L	H
X	H	H	X	X	L	H
X	X	X	X	L	L	H
X	X	X	X	L	L	H
H	L	X	I	H		
H	X	L	I	H		
H	X	L	H	I		
H	H	I	H	H		
H	H	I	H	H		
H	I	H	H	H		
I	L	X	H	H		
I	X	L	H	H		

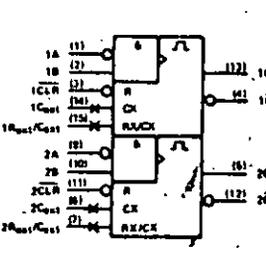


Boîtier DIL 14 - V_{CC} 14 - GND 7

123
Deux monostables redéclenchables avec RAZ
Dual retriggerable monostable multivibrator with clear
423

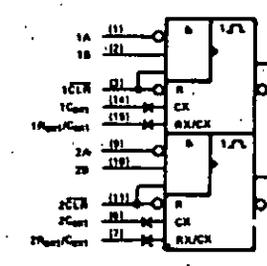


	Entrées			Sorties	
	CLR	A	B	Q	Q̄
L	X	X	X	L	H
X	X	H	X	L	H
X	X	X	L	L	H
H	L	I	I		
H	I	H	H		
I	L	H	H		



Boîtier DIL 16 - V_{CC} 16 - GND 7

221
Deux monostables avec entrées à bascule de Schmitt et RAZ
Dual monostable multivibrator with Schmitt trigger inputs



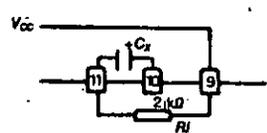
	Entrées			Sorties	
	CLR	A	B	Q	Q̄
L	X	X	X	L	H
X	X	H	X	L	H
X	X	X	L	L	H
H	L	I	I		
H	I	H	H		
I	L	H	H		

Brochage comme 123 Boîtier DIL 16 - V_{CC} 16 - GND 7

UTILISATION DES MONOSTABLES

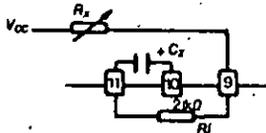
74121 - 221 Le déclenchement précis est obtenu dans toute la gamme de V_{CC} et de température pour plus de 6 décades de capacités (10 pF à 10 μF) et pour plus d'une décade de résistances (2 kΩ à 40 kΩ). Dans ces gammes, la largeur de l'impulsion est donnée par la relation : $t_p = C_x R_x \log_2^2 = 0,7 C_x R_x$.

Avec la résistance interne



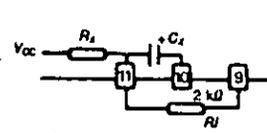
$t_p = C_x R_i \log_2^2$

Impulsion de largeur variable



$t_p = C_x (R_x + R_i) \log_2^2$

Impulsion de largeur précise

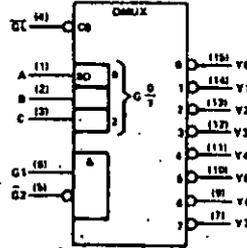
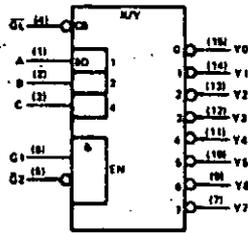


$t_p = R_x C_x \log_2^2$

MONOSTABLES
(Monostable
multivibrators)

Annexe C : Brochages des composants utilisés.

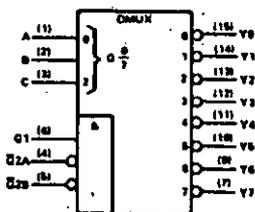
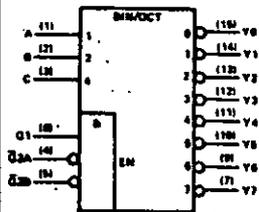
137 — Décodeur-démultiplexeur 3 vers 8 avec verrou d'adresse
3-line-to-8-line decoder/demultiplexer with address latch



Entrées					Sorties							
Valid	SELECT											
G1	G2	C	B	A	Y0	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7
X	X	H	X	X	X	H	H	H	H	H	H	H
X	L	X	X	X	X	H	H	H	H	H	H	H
L	H	L	L	L	L	H	H	H	H	H	H	H
L	H	L	L	L	H	L	H	H	H	H	H	H
L	H	L	L	L	H	L	L	H	H	H	H	H
L	H	L	L	L	H	L	L	L	H	H	H	H
L	H	L	L	L	H	L	L	L	L	H	H	H
L	H	L	L	L	H	L	L	L	L	L	H	H
L	H	L	L	L	H	L	L	L	L	L	L	H
L	H	L	L	L	H	L	L	L	L	L	L	L

Boîtier DIL 16 - V_{CC} 16 - GND 8

138 — Décodeur-démultiplexeur 3 vers 8
3-line-to-8-line decoder/demultiplexer



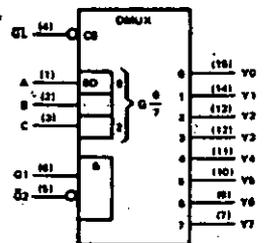
Entrées					Sorties							
Valid	SELECT											
G1	G2*	C	B	A	Y0	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7
X	H	X	X	X	H	H	H	H	H	H	H	H
L	X	X	X	X	H	H	H	H	H	H	H	H
H	L	L	L	L	L	H	H	H	H	H	H	H
H	L	L	L	L	L	L	H	H	H	H	H	H
H	L	L	L	L	L	L	L	H	H	H	H	H
H	L	L	L	L	L	L	L	L	H	H	H	H
H	L	L	L	L	L	L	L	L	L	H	H	H
H	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	H	H
H	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	H
H	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L

* G2 = G2A - G2B

Boîtier DIL 16 - V_{CC} 16 - GND 8

DÉCODEURS-
DÉMULTI-
PLEXEURS
(Decoders/
demultiplexers)

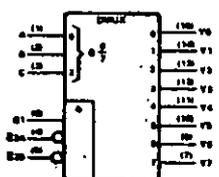
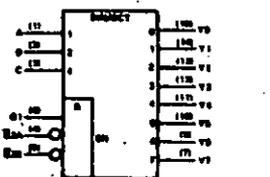
237 — Décodeur-démultiplexeur 3 vers 8 avec verrou d'adresse
3-to-8 decoder/demultiplexer with address latch



Boîtier DIL 14
V_{CC} 16
GND 8

Entrées					Sorties								
Valid	SELECT												
G1	G2	G1	A	B	C	Y0	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7
H	L	H	X	X	X	stable							
X	H	X	X	X	X	L	L	L	L	L	L	L	L
X	X	L	X	X	X	L	L	L	L	L	L	L	L
L	L	H	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L
L	L	H	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L
L	L	H	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L
L	L	H	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L
L	L	H	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L
L	L	H	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L
L	L	H	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L
L	L	H	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L
L	L	H	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L
L	L	H	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L

238 — Décodeur-démultiplexeur 3 vers 8
3-to-8-line decoder/demultiplexer



Entrées					Sorties								
Valid	SELECT												
G2A	G2B	G1	A	B	C	Y0	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7
H	X	X	X	X	X	L	L	L	L	L	L	L	L
X	H	X	X	X	X	L	L	L	L	L	L	L	L
X	X	L	X	X	X	L	L	L	L	L	L	L	L
L	L	H	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L
L	L	H	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L
L	L	H	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L
L	L	H	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L
L	L	H	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L
L	L	H	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L
L	L	H	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L
L	L	H	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L
L	L	H	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L
L	L	H	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L

Boîtier DIL 16 - V_{CC} 16 - GND 8

Annexe C : Brochages des composants utilisés.

74 — Deux bascules D avec R et S - déclenchement par front montant
Dual D-type positive-edge-triggered flip-flop with preset and clear

Entrées				Sorties	
PRESET	CLEAR	CLOCK	D	Q	\bar{Q}
L	H	X	X	H	L
H	L	X	X	L	H
L	L	X	X	H*	H*
H	H	I	H	H	L
H	H	I	L	L	H
H	H	L	X	Q ₀	\bar{Q}_0

État instable

Boîtier DIL 14 - V_{cc} 14 - GND 7

BASCULES D
(type D flip-flops)

175 — Quadruple bascule D avec R commune
Quad D-type flip-flop with clear

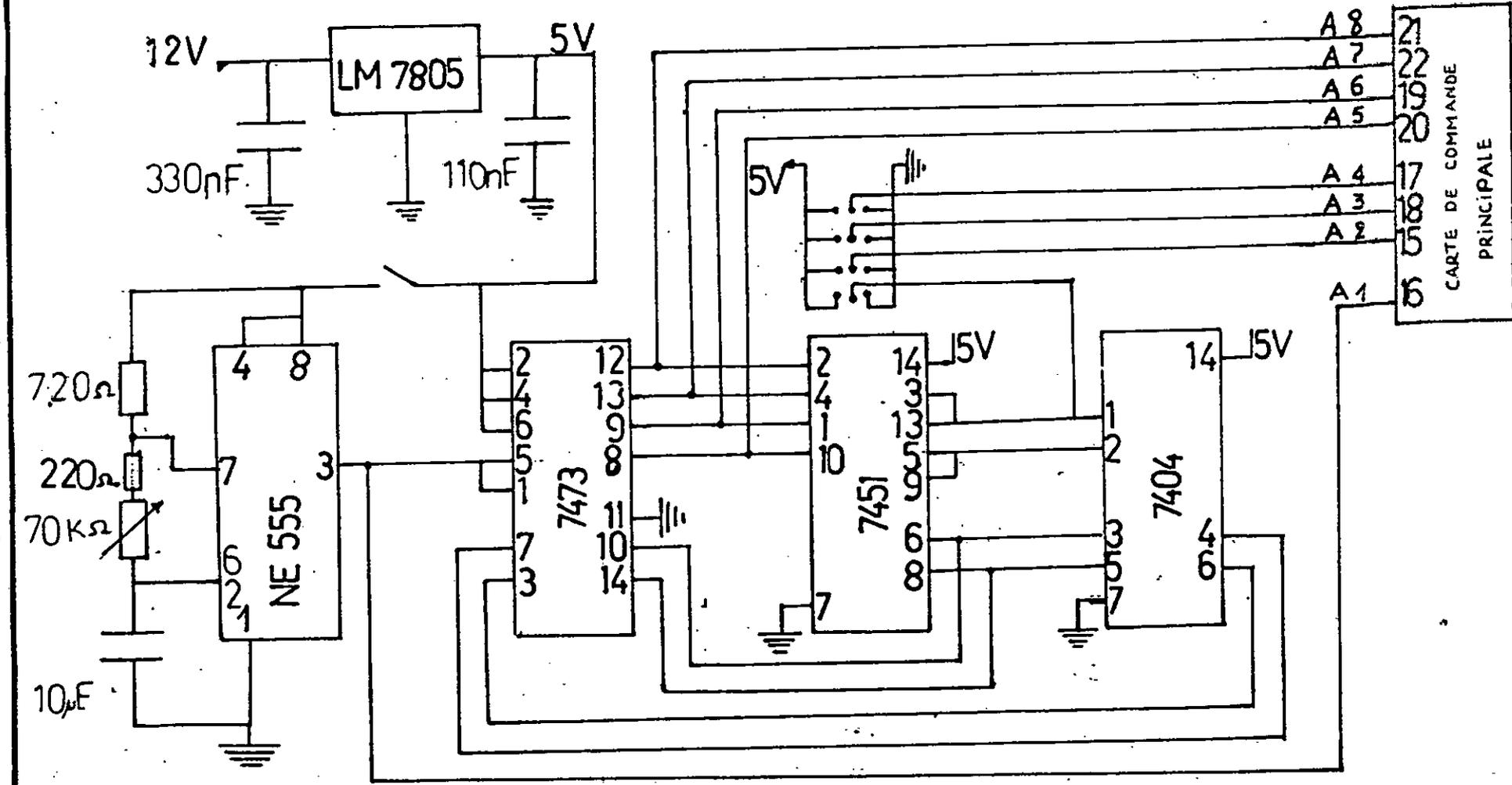
CLR	CLK	D	Q	\bar{Q}
L	X	X	L	H
H	I	H	H	L
H	I	L	L	H
H	L	X	Q ₀	\bar{Q}_0

379 — Quadruple bascule D avec entrée de validation
Quad D-type flip-flop with enable

\bar{G}	CLK	D	Q	\bar{Q}
H	X	X	Q ₀	\bar{Q}_0
L	I	H	H	L
L	I	L	L	H
X	L	X	Q ₀	\bar{Q}_0

Boîtier DIL 16
V_{cc} 16
GND 8

- Schéma électrique de carte de commande principale.



CARTE DE COMMANDE
NUMERIQUE

***** CLAVROB : COMMANDE PAR CLAVIER *****

```

10 cls$=chr(27)+"+"
20 print cls$
25 print tab(10)"*****"
30 print tab(10)"* clavrob :programme de commande par clavier*"
35 print tab(10)"*****"
40 dim don1(4), don2(4),don(4)
50 data 144,160,96,80
60 data 80,96,160,144
70 rem *** entrer les parametres du moteur***
72 print " les adresses des differents moteurs sont : "
74 print " 1 : la main      2 : poignet1  3 : poignet2  "
76 print " 4 : avant-bras  5 : epaule    6 : bras      "
80 input" adr= ";adr
82 print " sens$ : sens de rotation de moteur      "
84 print " sens$ = cw : clock-wise      sens$ = ccw : contre clock-wise "
90 input" sens$=";sens$
94 print " freq : la frequence de travail."
98 print " la frzquence de travail est limitée à 200 HZ. "
100 input"freq=";freq
105 if freq> 200 then 98
110 delay=int(625/freq)
120 rem*** programmation de port A en sortie ****
130 out(1),15
140 if sens$='ccw' then 290
150 for j=1 to 4
160 read don2(j)
170 don(j)=don2(j)
180 next j
190 print"*** entrer un caractere par le clavier *****"
195 print "A :pour continuer  F:pour sortir      "
200 input"c=";touche$
210 if touche$='F' then 340
220 if touche$='A' then 230
230 for j=1 to 4
240 out(0),don(j)+adr+1
250 out(0),don(j)+adr
260 for k=1 to delay : next k
270 next j
280 goto 190
290 for j=1 to 4
300 read don1(j)
310 don(j)=don1(j)
320 next j
330 goto 190
340 system
350 end

```

***** COMROB1 : COMMANDE D'UN SEUL MOTEUR *****

```

10 cls$=chr$(27)+"+"
20 print cls$
25 print tab(10)"*****"
30 print tab(10)"* comrob1:programme pour la commande d'un seul moteur*"
35 print tab(10)"*****"
40 dim don1(4) , don2(4), don(4)
50 data 144, 160,96,80
60 data 80, 96, 160, 144
62 print " les adresses des moteurs sont : "
64 print " adr=1 : la main      adr=2 : poignet1  adr=3 : poignet2  "
66 print " adr=4 : avant-bras  adr=5 : epaule   adr=4 : bras      "
70 input "adr=";adr
72 print "sens$ : sens de rotation de moteur "
74 print " sens$=cw : clock-wise   sens$=ccw : contre clock-wise  "
80 input "sens$=";sens$ : goto 100
90 print "la frequence de travail est limitée à 200 HZ"
100 input "frequence=";freq
110 if freq > 200 then 90
120 rem ***** calcul de cycle ,delay ,rest *****
125 print " pas : nombre de pas à executer par le moteur "
130 input "pas";pas
140 cycle=int(pas/4)
150 delay=int(625/freq)
160 rest=pas mod 4
170 adr=2*adr
180 rem ***** programmation de PIO *****
190 out(1) ,15
200 rem ***** envoi des données *****
210 if sens$='ccw' then 420
220 for i= 1 to cycle
230 for j=1 to 4
240 read don1(j)
250 don(j)=don1(j)
260 out(0),don(j)+adr+1
270 out(0),don(j)+adr
280 for k=1 to delay :next k
290 A=inp(0): print "PORTA=";A
300 next j
310 print "fin de cycle N°";i
320 next i
330 if rest=0 then 500
340 for j=1 to rest
350 out(0),don(j)+adr+1
360 out(0),don(j)+adr
370 for k=1 to delay :next k
380 A=inp(0) :print"PORTA=";A
390 next j
400 print " fin de mouvement du moteur "
410 goto 500
420 for j=1 to 4
430 read don2(j)

```

```
440 don(j)=don2(j)
450 next j
460 goto 220
470 print " pour commander un autre moteur taper p=1 "
480 input "p=";p
490 if p=1 then run "comrob1"
500 system
510 end
```

***** COMMANDE DE PLUSIEURS MOTEURS : SEQUENCE DU MOUVEMENT *****

```

10 CLS$ =chr$(27)+"+"
20 print cls$
25 print tab(10)"*****"
28 print tab(10)"* COMROB : PROGRAMME POUR EXECUTER UNE SEQUENCE DE *"
30 print tab(10)"* DE MOUVEMENT *"
35 print tab(10)"*****"
40 print " N : nombre de moteurs à mouvoir "
50 input "N=";N
60 print "les lignes de la matrice mot(i,j) expriment"
70 print "mot(1,j) : adresse de moteur "
80 print "mot(2,j) : frequence de moteur"
90 print "mot(3,j) : sens de rotation de moteur "
100 print "mot(4,j): nombre de pas à executer "
110 dim don1(4), don2(4), don(4)
120 data 144, 160 ,96,80 : data 80, 96, 160, 144
130 print"*****entrer des données ***** "
135 print " donner l'adresse de chaque moteur "
140 for j=1 to N
150 input "mot(1,j)=";mot(1,j)
160 next j
165 print " donner la frequence de chaque moteur "
170 for j=1 to N
175 print "la frequence de travail est limitée à 200 HZ "
180 input "mot(2,j)=";mot(2,j)
190 if mot(2,j)> 200 THEN 175
200 next j
205 print " donner le sens de rotation de chaque moteur "
210 for j=1 to N
220 input "mot(3,j)=";mot(3,j)
230 next j
235 print " donner le nombre de pas à executer par chaque moteur "
240 for j= 1 to N
250 input "mot(4,j)=";mot(4,j)
260 next j
270 print "***** programmation de PIO ***** "
280 out(1),15
290 for k=1 to N
300 for j= 1 to 4
310 read don2(j)
320 don(j)=don2(j)
330 next j
340 cycle=int(mot(4,k)/4)
350 mot(1,k)=2*mot(1,k)
360 rest=mot(4,k) mod 4
370 delay =int(625/mot(2,k))
380 if mot(3,k)=0 then 550
390 for L=1 to cycle
400 for j=1 to 4
410 out(0),don(j)+mot(1,k)+1
420 out(0),don(j)+mot(1,k)
430 for q=1 to delay : next q

```

```
440 A=inp(0) : print " PORTA=";A
450 next j
460 print "fin de cycle N°";L
470 next L
480 if rest =0 then 290
490 for j=1 to rest
500 out(0),don(j)+mot(1,k)+1
510 out(0),don(j)+mot(1,k)
520 for q=1 to delay : next q
530 next j : next k
540 goto 600
550 for j=1 to 4
560 read don1(j)
570 don(j)=don1(j)
580 next j
590 goto 390
600 print " pour autre sequence taper OUI dans l'autre cas taper NOM "
610 input "p$=";p$
620 if p$='oui' then run "COMROB2"
630 system
640 end
```

```

***** COMROB2 : COMMANDE SIMULTANNEE DE DEUX MOTEURS *****
10 CLS$=CHR$(27)+"+"
20 print cls$
25 print tab(10)"*****"
30 print tab(10)"* COMROB2 : PROGRAMME POUR MOUVEMENT SIMULTANNEE *"
35 print tab(10)"*****"
36 print " adr(i) : adresse du moteur N°i i=1,2"
38 print " freq(i) : frequence du moteur N°i i=1,2"
40 print " pas(i) : nombre de pas du moteur N°i i=1,2 "
45 print " sens(i) : sens de rotation du moteur N°i i=1,2"
48 dim don1(4), don2(4), don(4), adr(2), freq(2), pas(2), sens(2)
50 data 80, 96, 160, 144
60 data 144, 160, 96, 80
70 rem ***** entrer les données *****
80 for i=1 to 2
90 input adr(i), freq(i), pas(i), sens(i)
100 delay(i)=int(625/freq(i))
110 cycle(i)=int(pas(i)/4)
120 rest(i)=pas(i) mod 4
130 next i
140 rem ***** programmation de port A en sortie *****
150 out(1),15
160 MN=min(cycle(1),cycle(2))
170 for L=1 to MN
180 for j=1 to 4
190 if sens(1)=0 then 520
200 read don1(j)
210 don(j)=don1(j)
220 out(0),don(j)+adr(1)+1
230 out(0),don(j)+adr(1)
240 for q=1 to delay(1) : next q
250 if sens(2)=0 then 570
260 out(0),don(j)+adr(2)+1
270 out(0),don(j)+adr(2)
280 for q=1 to delay(2) : next q
290 next j
300 next L
310 if rest(1)=0 then 370
320 for j=1 to rest(1)
330 out(0),don(j)+adr(1)+1
340 out(0),don(j)+adr(1)
350 for q=1 to delay(1) : next q
360 next j
370 if rest(2)=0 then 430
380 for j=1 to rest(2)
390 out(0),don(j)+adr(2)+1
400 out(0),don(j)+adr(2)
410 for q=1 to delay(2) : next q
420 next j
430 MX=abs(max(cycle(1),cycle(2))-MN)
440 if cycle(1) < cycle(2) then adr=adr(2) else

```

```
450 adr=adr(1)
460 for L=1 to MX
470 for j=1 to 4
480 out(0),don(j)+adr+1
490 out(0),don(j)+adr
500 next j
510 next L
520 for j=1 to 4
530 read don2(j)
540 don(j)=don2(j)
550 next j
560 goto 220
570 for j=1 to 4
580 read don2(j)
590 don(j)=don2(j)
600 next j
610 goto 260
620 system
630 end
```
