

وزارة الجامعات والبحث العلمي  
Ministère aux Universités et de la Recherche Scientifique

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

DEPARTEMENT *Electrique*

# PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

*ETUDE D'UN MOTEUR  
PAS A PAS COMMANDE PAR  
CALCULATEUR*

Proposé par :  
*M<sup>re</sup> SAHRAOUI*

Etudié par :  
*M<sup>re</sup> BADOUI, B*

Dirigé par :  
*M<sup>re</sup> SAHRAOUI*

PROMOTION  
*Juin 1992*

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

*ETUDE D'UN MOTEUR*

*PAS A PAS COMMANDE PAR*

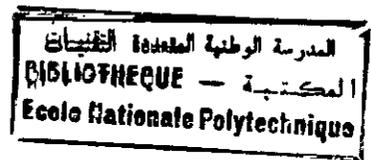
*CALCULATEUR*

---

Je dédie ce travail à:

- Ma mère.
- Mes parents.
- Mes grands-parents.
- Mes soeurs et mes frères.
- Mes amis.
- Nabila. **C-C.**
- Et Rabah. **I kène.**

YOUCEF



## REMERCIEMENTS

Mes remerciement vont tout d'abord et en particulier à M<sup>lle</sup> H. SAHRAOUI pour avoir proposé et dirigé ce travail. Qu'elle trouve ici, l'expression de ma profonde gratitude pour les conseils et les encouragements qu'elle n'a cessé de me prodiguer tout au long de cette étude.

J'exprime ma vive reconnaissance à M<sup>r</sup> M. S. BOUCHERIT qui a su m'orienter et m'ouvrir la voie pour la prise en main de ce sujet.

Que M<sup>r</sup> Y. AIT GOUGAM trouve l'expression de ma très vive reconnaissance pour son aide, ses conseils et ses encouragements continus qui m'ont été d'une contribution considérable pour l'élaboration de ce travail.

Je présente également mes remerciements à M<sup>r</sup> N. BOUDJERDA qui m'a fait profiter de ses connaissances et qui n'a ménagé ni son temps ni ses précieux conseils.

Pour son aide, je présente ma très vive gratitude à M<sup>ELLE</sup> KALECHE.

YOUCEF



INTRODUCTION.....7

CHAPITRE I: Structures et principes de fonctionnement  
des moteurs pas à pas.....7

Introduction.....7  
1-Moteurs pas à pas à aimants permanents.....7  
2-Moteurs pas à pas à réluctance variable.....9  
3-Caractéristiques des moteurs pas à pas.....11  
Conclusion.....14

CHAPITRE II: Les alimentations des moteurs pas à pas...15

Introduction.....16  
1- Modes de séquençement.....16  
2-Amplificateur de puissance.....17  
Conclusion.....23

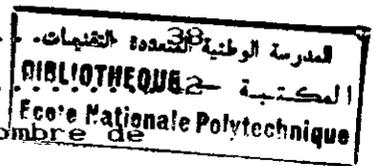
CHAPITRE III: étude des caractéristiques  
d'un moteur pas à pas à réluctance variable.....25

Introduction.....25  
1-présentation de la carte d'alimentation.....25  
2-Essais de la carte sur le moteur.....27  
Conclusion.....36

CHAPITRE IV: Introduction à la commande numérique d'un  
moteur pas à pas.....38

Introduction.....38

1-Présentation du MAT 385.....	38
2-Programmation sur MAT 385.....	55
3-Application sur la commande d'un certain nombre de pas.....	56
Conclusion	56



CONCLUSION GENERALE.....	57
ANNEXES.....	59
BIBLIOGRAPHIE.....	71

المدرسة الوطنية المتعددة الفنون  
المكتبة — BIBLIOTHEQUE  
Ecole Nationale Polytechnique

# *INTRODUCTION*

INTRODUCTION:

Depuis une dizaine d'années, nous assistons à un développement rapide des moteurs pas à pas et un élargissement de leur champ d'application. Ceci peut être justifié par trois raisons essentielles:

La simplicité de cet actionneur et sa possibilité de commande de position et de vitesse en boucle ouverte.

Le progrès technologique de l'électronique de puissance a permis l'utilisation des moteurs de plus en plus puissants à prix réduit.

Le progrès de l'électronique digitale (microprocesseurs) qui permet la commande programmée.

L'application de ces moteurs a commencé par la péri-informatique (déroulement de papier, entraînement de bandes, de cartes, de têtes d'imprimantes ou de machines à écrire ...etc). actuellement, elle s'étend vers la commande des machines outils ainsi que la robotique.

Les performances d'un entraînement à moteur pas à pas ne dépendent pas seulement des ses éléments mais de toute la chaîne :moteur-alimentation-commande.

Dans le travail que nous présentons, nous faisons une étude de quelques caractéristiques d'un moteur pas à pas à réluctance variable dans le but de préparer une commande numérique en boucle ouverte.

Dans le chapitre I, nous étudions successivement les moteurs à aimants permanents, les moteurs à réluctance variable ainsi que les moteurs hybrides. Nous présenterons leurs structures et leurs principes de fonctionnement.

Le chapitre II sera consacré à l'étude des modes de séquençement existants dans les électroniques actuelles, ainsi qu'au différents types d'alimentations. Pour les moteurs de faible puissance, une alimentation tension est suffisante.

L'amélioration des performances des moteurs nous conduit à utiliser une alimentation hacheur. Cette dernière est surtout utilisée pour les moteurs à moyenne et grande puissance. Une alimentation bipolaire est nécessaire lorsque nous utilisons les moteurs à aimants permanents ou hybrides.

Le chapitre III sera consacré à l'essai d'une carte de commande sur un moteur à réluctance variable. La génération des signaux de commande sera assurée par un générateur de signaux carrés. Nous effectuons des essais pour trois modes de commande avec des fréquences variant de 1 jusqu'à 1,7 K Hz.

Afin de déterminer l'influence des fréquences des signaux de commande sur les performances du moteur (caractéristiques dynamiques), un calculateur est introduit dans le chapitre IV pour remplacer le générateur des signaux de commande.

On fera les mêmes essais effectués au chapitre III et on élaborera un programme de commande des 4 phases dans le but de remplacer toute la carte.

Un programme de commande de position sera élaboré en tenant compte des résultats obtenus auparavant.



*Chapitre I*

***STRUCTURES ET PRINCIPES  
DE FONCTIONNEMENT  
DES MOTEURS PAS-A-PAS***

STRUCTURES ET PRINCIPES DE FONCTIONNEMENT DES  
MOTEURS PAS A PAS

INTRODUCTION:

Les moteurs pas à pas actuellement disponibles sur le marché sont classés en fonction du phénomène physique qui est à l'origine du couple. Pour cela, nous distinguons les moteurs pas à pas à réluctance variable, les moteurs à aimants permanents, et ceux qui bénéficient à la fois de ces deux principes; ceux-ci sont appelés les moteurs hybrides [1][5][15].

Nous allons présenter dans ce chapitre, les différentes structures de ces moteurs, leurs principes de fonctionnement ainsi que leurs caractéristiques principales.

1-MOTEURS PAS A PAS A AIMANTS PERMANENTS:

PRINCIPE:

L'effet aimant permanent peut être expliqué en prenant comme exemple de base, le moteur bipolaire représenté sur la figure 1-1 [16].

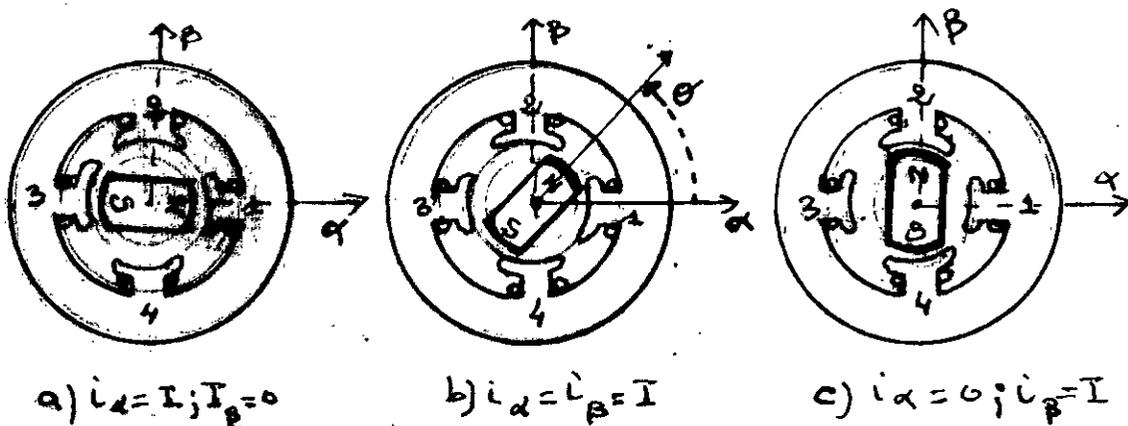


FIGURE 1-1

Le moteur comprend un rotor bipolaire et un stator à 4 plots. Les enroulements  $\alpha$  et  $\beta$  sont respectivement portés par les plots 1,3 et 2,4 [16].

En fonction de l'existence et du signe du courant dans les enroulements, le rotor se stabilise en des positions d'équilibre différentes.

Les équations de tels moteurs peuvent être déduites des machines synchrones à aimants permanents classiques. [16]

Le couple instantané est donné par l'expression suivante:

$$\Gamma_m(\theta, i_\alpha, i_\beta) = \psi_{am} \left[ i_\alpha \sin \theta_m - i_\beta \cos \theta_m \right] \\ + L_2 \left[ \left( i_\beta^2 - i_\alpha^2 \right) \sin(2\theta_m) + 2 i_\alpha i_\beta \cos(2\theta_m) \right] \\ - K_D \sin(4\theta_m).$$

Avec;  $\theta_m$ : position du rotor.

$\psi_{am}$ : flux propre de l'aimant:

$i_\alpha, i_\beta$ : courants de phases.

$L_2$ : le premier harmonique de l'inductance totale du moteur.

$K_D$ : coefficient lié aux paramètres du moteur.

Cette expression comprend:

-Un terme représentant le couple dû à l'interaction du champ créé par les enroulements du stator et l'aimant.

-Un terme représentant le couple dû à l'interaction du champ créé par les enroulements du stator et le circuit magnétique du rotor. C'est un couple de réluctance souvent négligeable dans ce cas.

cas.

-Un terme représentant le couple dû à l'interaction de l'aimant avec le circuit magnétique du stator; celui ci est appelé couple de détente.

Les moteurs à aimants permanents sont classés en fonction de l'aimantation de leurs rotors. Nous distinguons:

- Les moteurs à aimantation axiale.
- Les moteurs à aimantation radiale.

## 2-MOTEURS PAS A PAS A RELUCTANCE VARIABLE:

### PRINCIPE:

Le principe de la réluctance variable peut être expliqué à partir du circuit magnétique simple de la figure 1-2 [1][11][16]

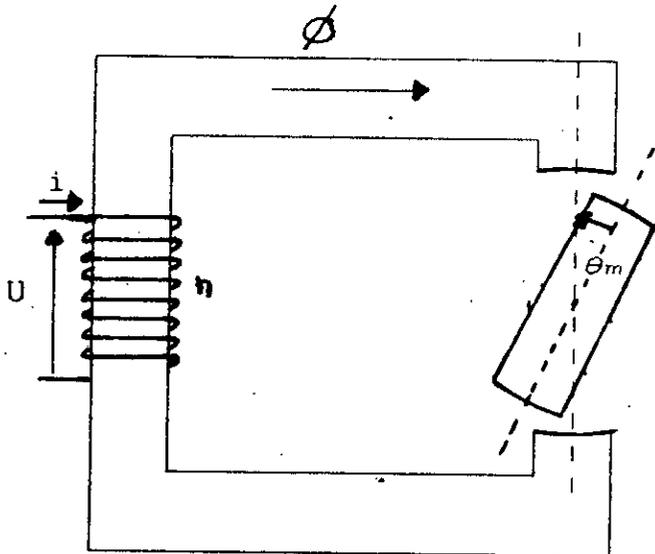


FIG 1-2: CIRCUIT MAGNETIQUE A RELUCTANCE VARIABLE

La permeance totale du circuit magnétique varie en fonction de la position de la pièce tournante (rotor) par rapport au circuit magnétique (stator). Elle peut se mettre sous la forme:

$$P = P_0 + \sum_{i=1}^{\infty} P_i \cos(2i \theta_m)$$

L'expression du couple instantané est déterminée à partir de la coénergie du circuit magnétique. Celle-ci s'exprime par:

$$W = \frac{n^2 i^2}{2} \left\{ P_0 + \sum_{i=1}^{\infty} P_i \cos(2i \cdot \theta_m) \right\}$$

En ne considérant que le premier harmonique de la permeance, le couple instantané est donné par:

$$\Gamma = -n^2 i^2 \sin(2 \theta_m)$$

C'est un couple de rappel qui crée deux positions stables  $\theta_m = 0$  et  $\Pi$ .

Un fonctionnement pas à pas peut être obtenu avec une telle machine. Des structures polyphasées sont utilisées, nous citons:

- les moteurs polyphasés à plusieurs circuits magnétiques (multi-stacks).

- les moteurs polyphasés à simples circuits magnétiques (single-stack).

Un exemple de moteurs pas à pas à réluctance variable sera le sujet de notre étude. Il présente les caractéristiques suivantes:

-C'est un moteur tétraphasé qui comprend 18 dents au rotor et 16 dents au stator.

-L'angle de pas est de  $5^\circ$ .

-Le courant de phase: 0,4 A.

-La puissance absorbée: 8,5 W.

-Le couple nominal: 16 m N m.

### 3-CARACTERISTIQUES DES MOTEURS PAS A PAS:

#### 3-1-CARACTERISTIQUES STATIQUES:

Ce sont les caractéristiques du moteur au repos. [1][11]

##### ANGLE DE PAS:

C'est le plus petit déplacement que peut effectuer un moteur pas à pas pour un mode de commande donné.

##### ECART DE POSITION:

L'angle d'erreur qui se produit par rapport au pas théorique.

##### ANGLE DE PUISSANCE:

L'angle de retard du rotor par rapport à l'axe du champ magnétique provoqué par une charge donnée.

##### COUPLE STATIQUE:

C'est le couple de rappel du rotor écarté de sa position d'équilibre lorsque les enroulements du stator sont alimentés en courant continu.

##### COUPLE DE MAINTIEN:

C'est le couple maximal disponible sur l'axe du moteur excité

de façon statique sans provoquer de rotation continue.

### COUPLE DE DETENTE:

C'est un couple qui existe seulement dans les moteurs à aimants et hybrides en l'absence d'excitation du stator.

### 3-2-CARACTERISTIQUES DYNAMIQUES: [1][11]

Ce sont les caractéristiques du moteur en mouvement. La caractéristique dynamique la plus importante est la caractéristique de couple en fonction de la fréquence des impulsions de commande de commutation des phases du moteur (voir fig 1-3).

#### -CARACTERISTIQUE D'ARRET DEMARRAGE:

Elle est délimitée par la zone 1 de la figure 1-3.

Le moteur effectue exactement le nombre de pas sélectionné par la commande sans perte de pas. Il peut démarrer à n'importe quelle fréquence appartenant à la zone et peut même changer de sens de rotation. Cette zone est aussi appelée; zone de réversibilité.

#### -CARACTERISTIQUE DE SURVITESSE:

Elle est représentée par la zone 2 de la figure 1-3. Le moteur ne peut ni démarrer, ni changer de sens, et ni même s'arrêter sans perte de pas. Elle est appelée zone de survitesse ou zone unidirectionnelle. Elle n'est accessible qu'à partir de la zone 1. Au delà de cette zone, le moteur décroche.

Dans la zone 1 apparaissent des zones d'instabilités où le moteur vibre. La fréquence de commande devient égale à la fréquence propre du moteur. C'est le phénomène de résonance.

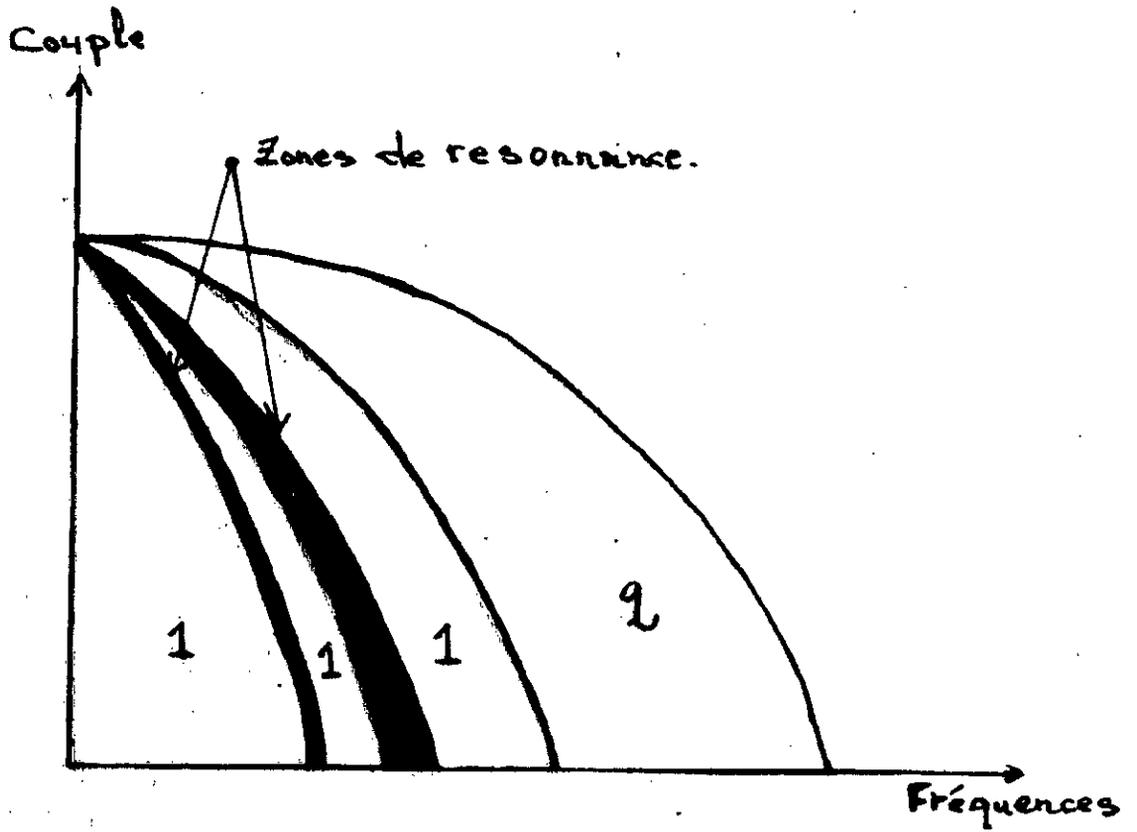


Figure 1.3: Caracteristiques de Couple

CONCLUSION:

Nous avons présenté les deux effet (réductance variable et aimant permanent) utilisés dans la conception des moteurs pas à pas. Actuellement, ces deux principes sont associés pour donner les moteurs hybrides. Ce type de moteurs permet d'avoir un nombre de pas par tour plus élevé que dans le cas des moteurs à aimants permanents et de fournir un couple plus important que celui des moteurs à réductance variable.

*Chapitre II*

***ALIMENTATION DES  
MOTEURS PAS-A-PAS***

## LES ALIMENTATIONS DES MOTEURS PAS A PAS

### INTRODUCTION:

Les performances des moteurs pas à pas dépendent du moteur lui même, du type d'alimentation et de la séquence d'excitation de la phase. Un même moteur pas à pas peut être utilisé pour différentes alimentations et pour différents modes d'excitation. [1]

Nous présentons dans ce chapitre, les modes de séquençement des moteurs pas à pas ainsi que les types d'alimentations utilisées pour les différents moteurs pas à pas présentés au chapitre-I.

### 1-MODES DE SEQUENCEMENT:

Selon la stratégie de commande désirée, les moteurs pas à pas peuvent effectuer un déplacement élémentaire d'un pas, d'un demi-pas ou d'une fraction de pas. Ceci peut être réalisé par des circuits logiques ou par microprocesseur. [12]

Dans les électroniques actuellement existantes, on peut distinguer cinq modes de commande: [12]

#### MODE-1:

Une seule phase est alimentée à la fois (voir figure 2-1).

#### MODE-2:

Deux phases sont alimentées à la fois. Le couple obtenu est  $\sqrt{2}$  fois plus important que dans le mode 1. Les positions d'équilibre du moteur sont les positions intermédiaires des positions d'équilibre précédentes.

MODE-3:

La combinaison des deux modes précédents permet un fonctionnement en demi-pas.

Dans ce mode, le moteur a l'inconvénient de présenter un couple non constant.

MODE-4:

Un fonctionnement en demi-pas à couple constant est obtenu en réglant le courant dans les phases.

MODE-5:

Il est aussi appelé "MINISTEEPING". Ce mode permet d'augmenter le nombre de positions d'équilibre du moteur. Ceci est réalisé en modulant le courant dans les phases. Le couple moteur devient plus lisse et le déplacement du moteur se fait avec moins de bruit. Ceci est réalisé par logique cablée ou par microprocesseur.

2-AMPLIFICATEUR DE PUISSANCE:

Les impératifs de l'alimentation électronique d'un moteur pas à pas sont en fonction du régime de fonctionnement du moteur: [1]

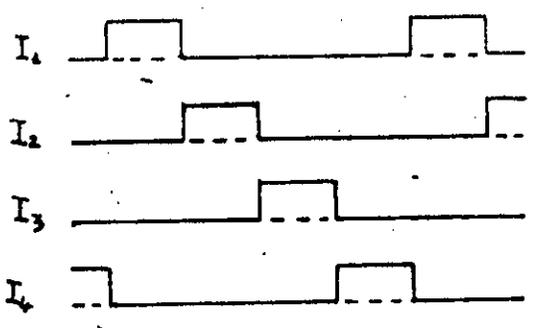
-Eviter les effets de couplage pour les fonctionnements pas à pas.

-Les favoriser pour les fonctionnements enchainés.

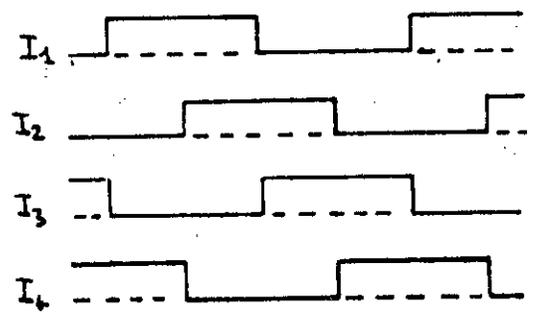
Les circuits électroniques permettant de satisfaire les exigences précédentes sont différents. Il est donc nécessaire de déterminer un compromis pour réaliser un montage unique. [15]

Chaque type de moteurs présenté au chapitre I, nécessite un type d'alimentation. En effet; les moteurs excités à aimants permanents ou hybrides présentent un couple essentiellement

IMPULSIONS

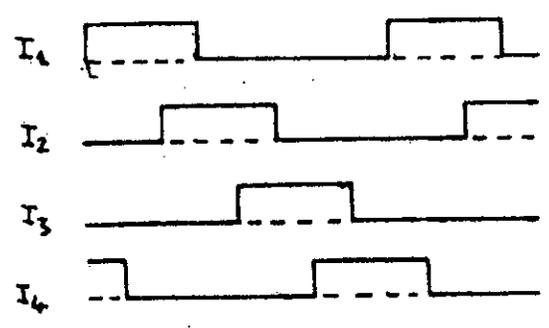


a/ MODE 1

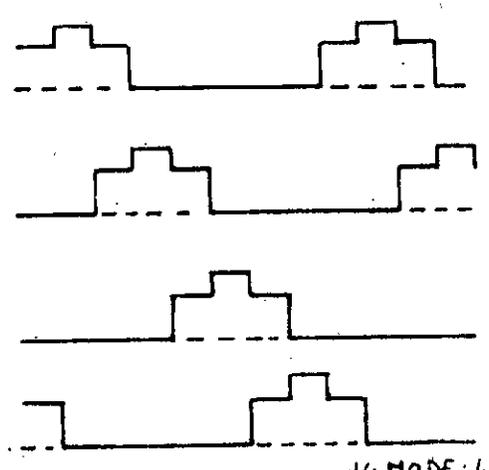


b/ MODE: 2

IMPULSIONS



c/ MODE: 3



d/ MODE: 4

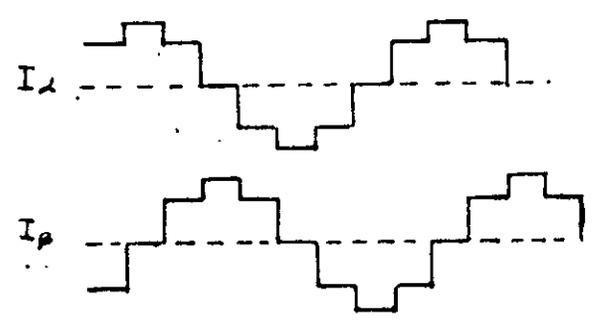
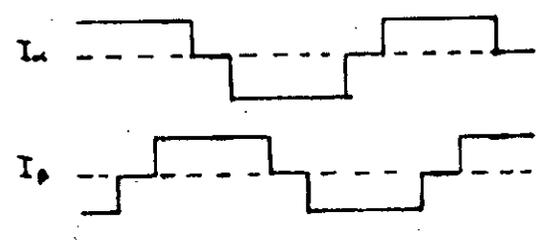
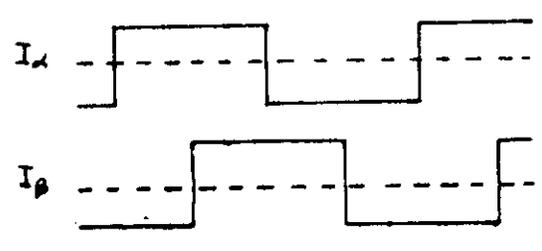
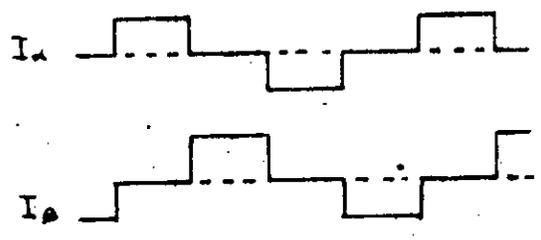


Figure 2-1: Modes de Séquencement.

proportionnel au courant, ils nécessitent une alimentation bipolaire. Par contre, les moteurs à réluctance variable ont un couple proportionnel au carré du courant. Une alimentation unipolaire suffit. [1] [15][16]

## 2-1-ALIMENTATIONS UNIPOLAIRES:

### 2-1-1-ALIMENTATION EN TENSION UNIQUE:

Le schéma le plus simple d'une alimentation unipolaire est représenté sur la figure 2-2. [15][16]

Les transistors assurent la commutation des phases et la diode D de roue libre protège le transistor contre les surtensions au moment des commutations. Ce schéma peut être amélioré en ajoutant des résistances en séries: elles permettent l'établissement rapide du courant dans la phase.

-Résistances parallèles: elles permettent l'annulation rapide du courant dans la phase non excitée.

### 2-1-2-ALIMENTATION BITENSION:

C'est un schéma proposé pour améliorer le temps d'établissement du courant dans la phase (voir figure 2-3). Le transistor T est commuté tant que le courant n'a pas atteint la valeur désirée, et le transistor T conduit en régime permanent du courant. [1][15]

### 2-1-3-ALIMENTATION EN COURANT ( HACHEUR ):

Pour éviter d'utiliser deux sources de tension. On utilise une seule source de tension avec un fonctionnement hacheur (voir figure 2-4). Pour cela, plusieurs techniques de modulation de courant sont proposées: [1][15]

### -MODULATION PAR DETECTION DE $I_{max}$ ET $I_{min}$ :

C'est une technique qui permet de fixer le courant dans une fourchette donnée (voir figure 2-5). Le courant est mesuré à chaque instant et il est comparé aux valeurs extrêmes  $I_{max}$  et  $I_{min}$  désirées. [1]

### -MODULATION A TEMPS DE COUPURE FIXE:

Dans ce cas, une seule détection de courant est nécessaire. Lorsque le courant atteint la valeur  $I_{max}$  le transistor est bloqué durant un temps  $T_0$ . [1]

### MODULATION A FREQUENCE FIXE ET A RAPPORT CYCLIQUE $\theta/T$ VARIABLE:

C'est une technique qui consiste à saturer le transistor pendant un temps  $\theta$  et à le bloquer pendant le reste de la période  $(T-\theta)$ . (voir figure 2-6). [1]

Ce type de modulation est aussi appelé modulation en largeur d'impulsion est très utilisé pour les commandes et moteurs à courant continu et les moteurs synchrones autopilotés.

### 2-2-ALIMENTATIONS BIPOLAIRES:

Un montage simple d'une alimentation bipolaire nécessite 4 transistors de commutation (voir figure 2-7). Chaque passage du courant dans la phase et dans un sens nécessite la commutation simultanée de deux transistors. [1], [15]

De même que pour les alimentations unipolaires le schéma de base peut être amélioré pour avoir de meilleurs performances. Les techniques utilisées précédemment restent toujours valables. [15]

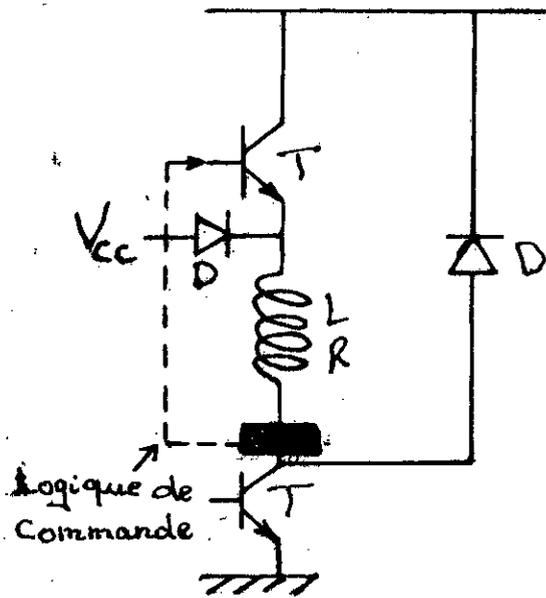


FIG: 2-2

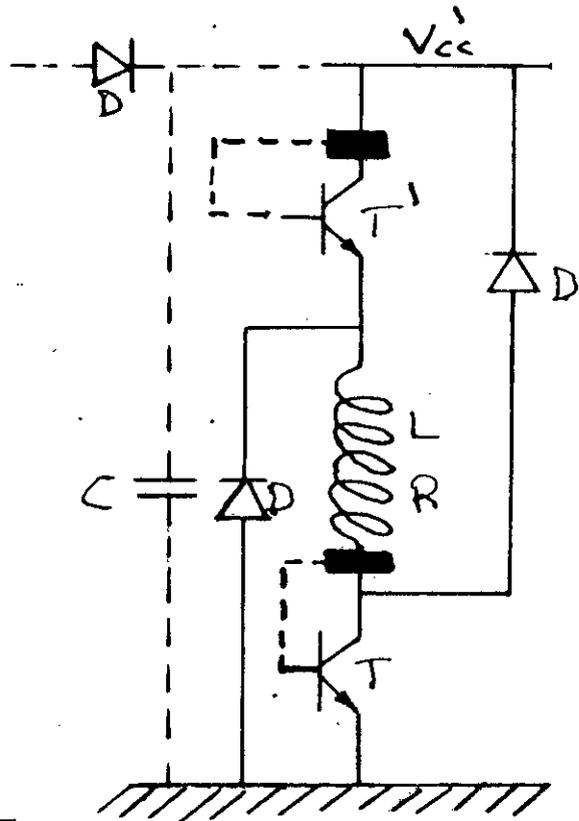


FIG: 2-4

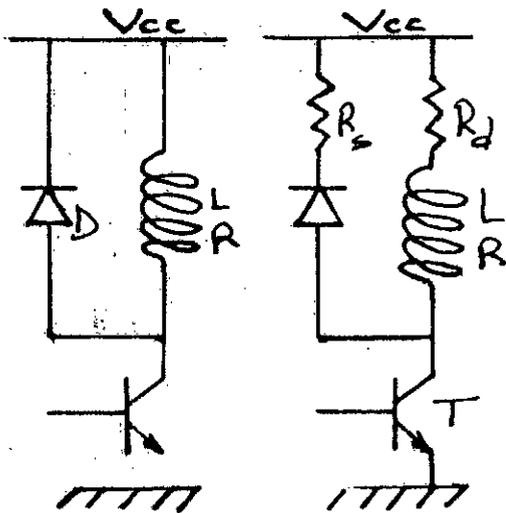


FIG: 2-3

ALIMENTATIONS UNIPOLAIRES

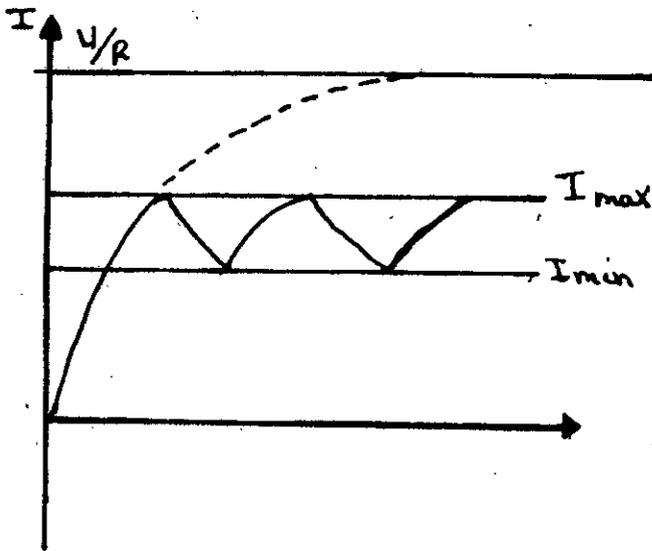


FIG 2-5: Modulation par détection de  $I_{max}$  et  $I_{min}$ .

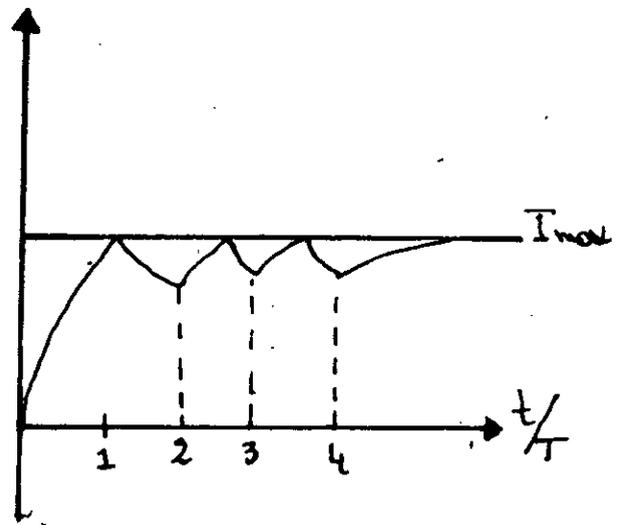


FIG 2-6: Modulation à fréquence fixe et à rapport cyclique  $\phi/T$  variable.

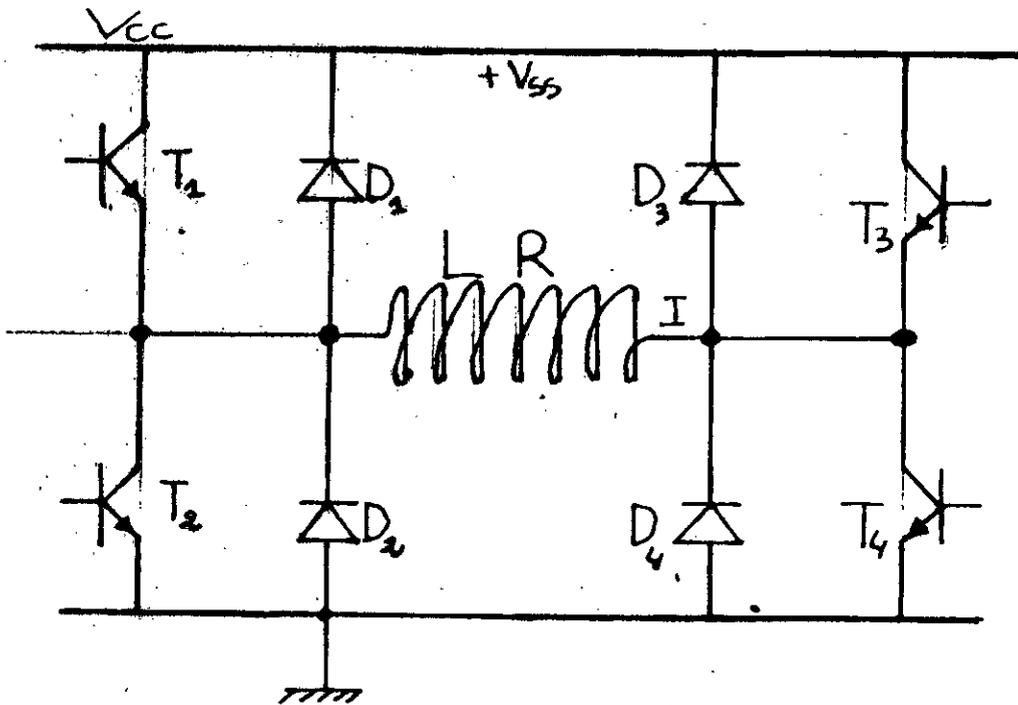


FIG 2-7: Alimentation bipolaire

CONCLUSION :

Nous avons présenté dans ce chapitre, les différents modes d'alimentation des moteurs pas à pas . Ces derniers sont généralement réalisés en logique câblée . Mais, il peuvent être programmés par microprocesseur.

Nous avons également présenté les amplificateurs de puissance utilisés pour les différents types de moteurs. Plusieurs schémas sont proposés pour améliorer les performances de moteurs telque l'alimentation courant qui nous permet d'améliorer le rendement des moteurs à moyenne puissance.

*Chapitre III*

**ETUDE DES  
CARACTERISTIQUES D'UN  
MOTEUR PAS-A-PAS A  
RELUCTANCE VARIABLE**

## ETUDE DES CARACTERISTIQUES D'UN MOTEUR PAS A PAS A RELUCTANCE VARIABLE

### INTRODUCTION:

Les performances des moteurs pas à pas ne dépendent pas seulement des paramètres du moteur lui même mais aussi, du type d'alimentation, du mode de commande, aussi que de la charge. Dans ce chapitre, nous nous proposons de déterminer quelques caractéristiques du moteur en fonction du mode de commande et de la charge. Nous effectuons ainsi des essais sur le moteur pas à pas à réluctance variable présenté au chapitre-I en utilisant une carte d'alimentation réalisée dans un autre cadre.

### 1 PRESENTATION DE LA CARTE D'ALIMENTATION:

Elle est constituée par un séquenceur logique et un amplificateur de puissance.

#### 1-1-LE SEQUENCEUR LOGIQUE:

Le schéma électrique est représenté sur la figure 3-1, il comprend deux circuits intégrés L297 et 74HC08.

##### 1-1-1-LE L297:

Le L297 est un circuit intégré utilisé dans la commande des moteurs tétraphasés en alimentation unipolaire et des moteurs biphasés en alimentation bipolaire. Il permet de:

- générer des signaux de commande dans les modes 1,2 et 3.
- Faire tourner le moteur dans les deux sens ( CW-CCW ).
- Arrêter le moteur ( ENABLE ).
- Remettre les sorties logiques à l'état initial ( RESET ).
- alimenter le moteur en tension et en courant ( hacheur ).

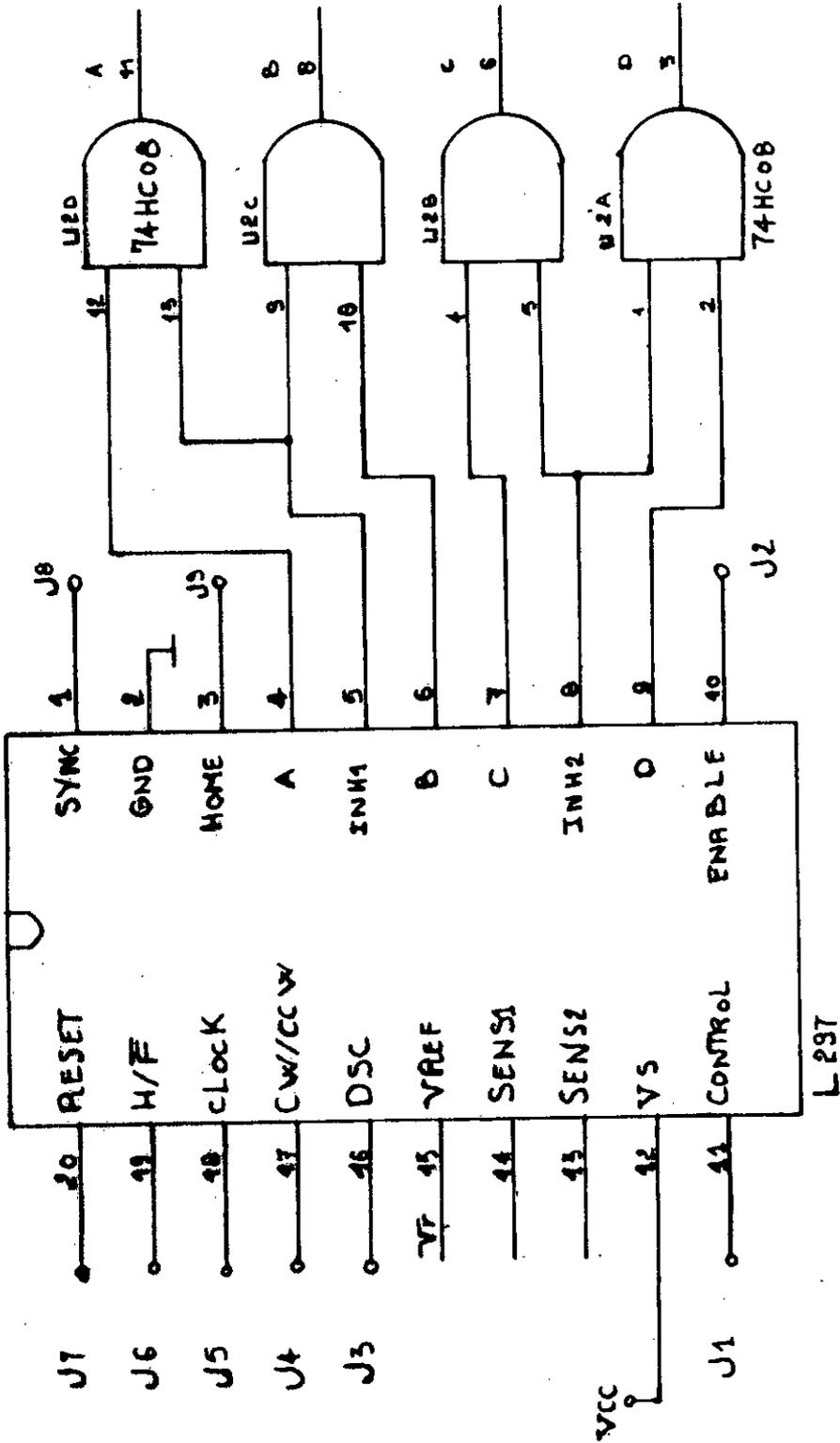


FIG:3-1: Le Séquenceur Logique

Dans notre cas, seule l'alimentation tension a été utilisée.

### 1-1-2-LE 74HC08:

C'est un circuit intégré comprenant des portes logiques. Il assure l'arrivée des signaux de commande aux phases adéquates.

### 1-2-AMPLIFICATEUR DE PUISSANCE:

Son schéma électrique est représenté sur la figure 3-2. Il comprend 4 transistors à effet de champ permettant l'amplification des signaux de commande.

La mesure du courant est assurée par la résistance placée en série avec les enroulements du moteur.

## 2- ESSAIS DE LA CARTE SUR LE MOTEUR:

Nous effectuons les essais de la carte sur le moteur en utilisant comme générateur de signaux de commande un générateur de fonctions carrées. Nous mesurons à l'aide d'un oscilloscope les courants de phase, nous déterminerons ainsi les caractéristiques fréquentielles du moteur.

### 2-1-ALLURES DES COURANTS DE PHASES:

Pour une séquence d'alimentation du moteur opérant en mode 1, le courant dans les différentes phases est pratiquement le même. La différence retenue est due à la variation de l'inductance en fonction de la position ( figure 3-3-1 ).

Dans le mode 2, la valeur du courant est plus importantes que dans le mode 1 ( figure 3-3-2 ).

Pour le mode 3, le courant n'est pas le même pour les différentes phases ( figure 3-3-3 ).

Lorsque le moteur est commandé avec un signal de faible

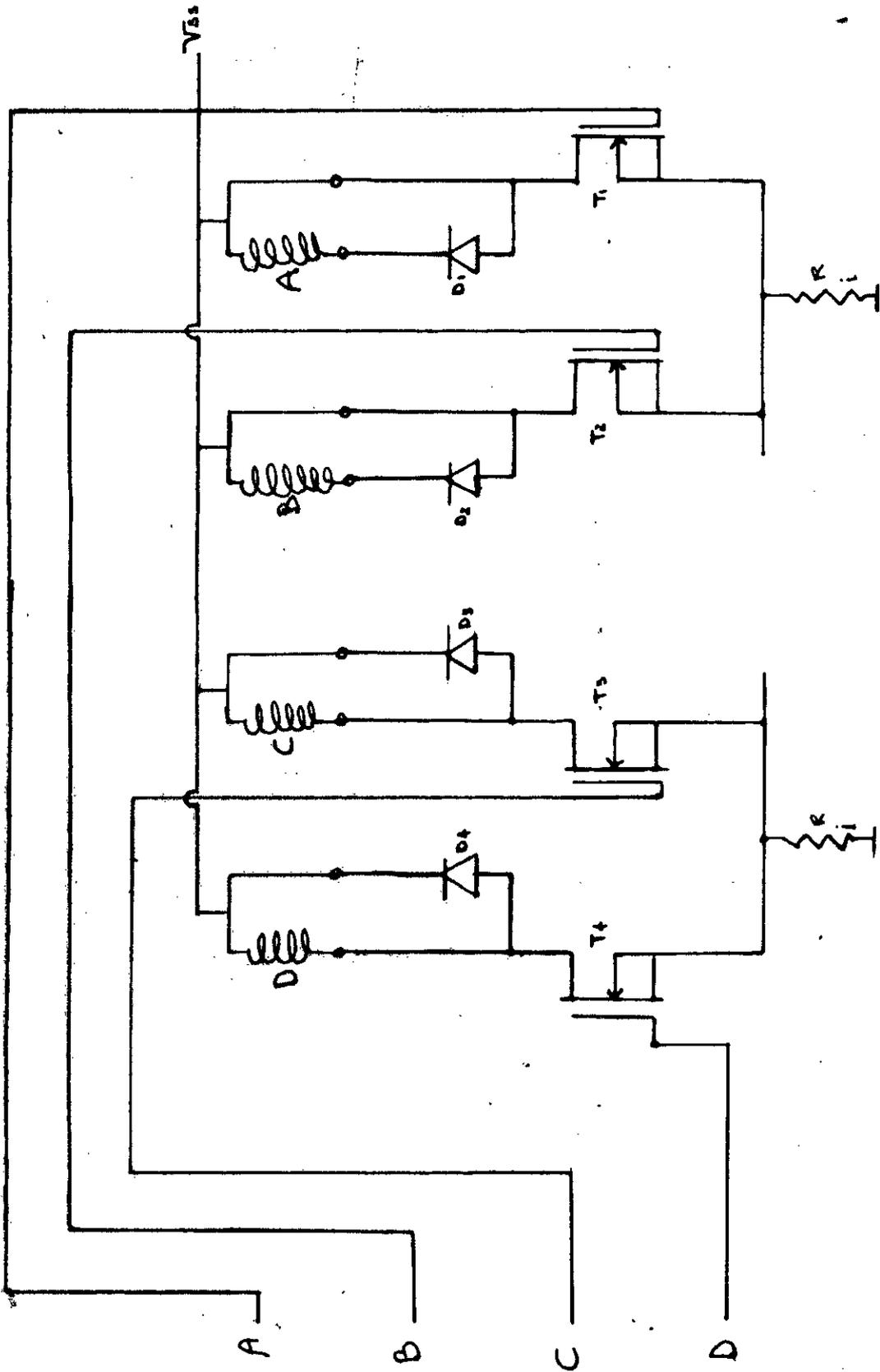


FIG 3-2: Amplificateur de puissance

Mode 1; 50 Hz

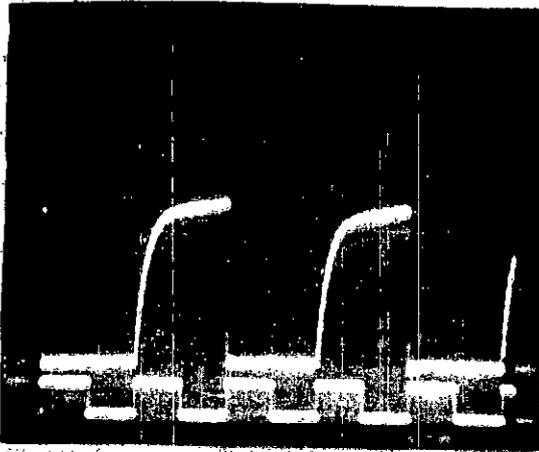


Figure 3-3-1

Mode 2; 50 Hz

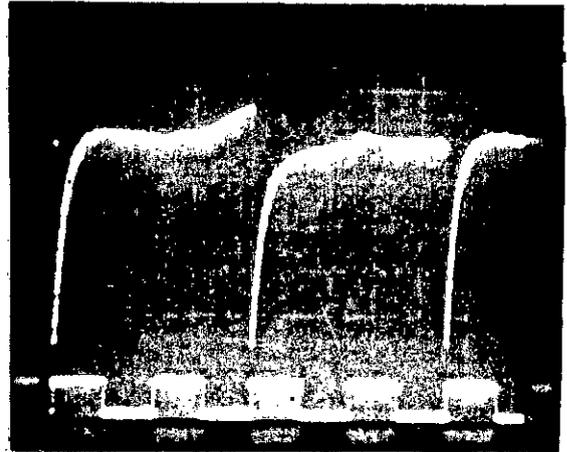


Figure 3-3-2

Mode 3; 50 Hz

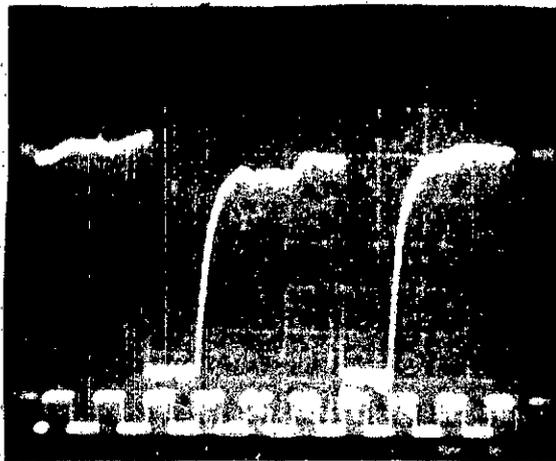


Figure 3-3-3.

FIG 3.3-Allures des courants de phases a des frequences faillies.

fréquence, il tourne à faible vitesse et le courant a le temps de s'établir dans l'enroulement ( figure 3-3 ). En augmentant la fréquence du signal de commande la vitesse du moteur augmente et le courant a du mal à s'établir dans l'enroulement ( figure 3-4 ). Ceci est dû à l'apparition d'une grande valeur de f.e.m induite qui est proportionnelle à la vitesse.

## 2-2- DETERMINATION DES CARACTERISTIQUES FREQUENTIELLES DU MOTEUR:

Nous déterminons ces caractéristiques pour les trois premiers modes de commande du moteur à vide et en charge.

### 2-2-1-DETERMINATION DE LA FREQUENCE MAXIMALE DE DEMARRAGE:

Nous effectuons l'opération de démarrage plusieurs fois en augmentant progressivement la valeur de la fréquence lorsque le moteur ne démarre plus, nous aurons atteint la fréquence maximale de démarrage. Les résultats sont donnés par le tableau suivant:

MODES	MODE 1	MODE 2	MODE 3
Frequences à vide (Hz)	180	190	350
Frequences en charge (Hz)	65	75	160

Nous remarquons:

La fréquence maximale de démarrage diminue avec l'augmentation de l'inertie du moteur. Lorsque la charge augmente l'énergie due à l'inertie du moteur augmente, ce qui conduit à une augmentation du couple de démarrage désiré.

Le mode 2 présente une fréquence maximale de démarrage



MODE 1, 250 Hz

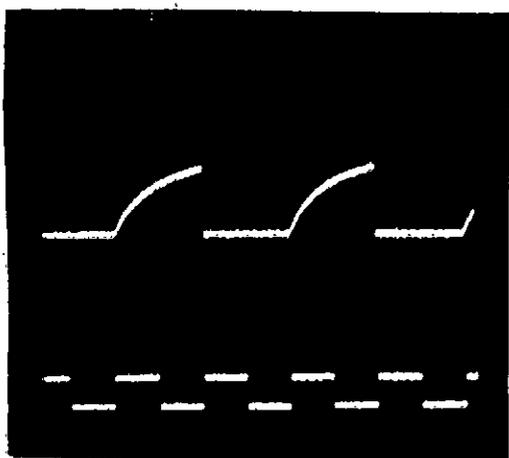


MODE 2, 250 Hz

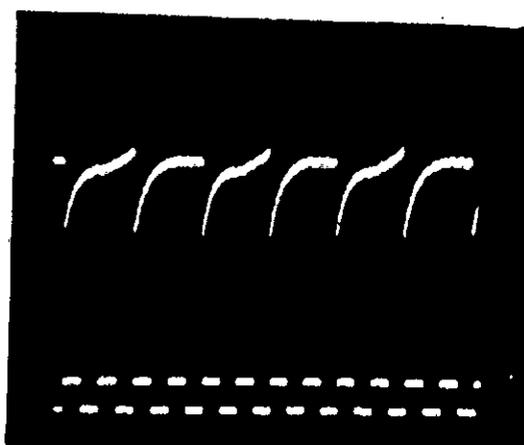


MODE 3, 500 Hz

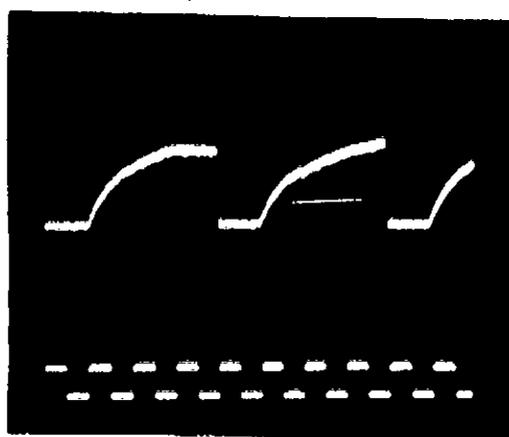
Figure 3-4: Allures des courants à des fréquences élevées



MODE 1, 250Hz



MODE 2, 250Hz



MODE 3, 500Hz

FIG: 3-4 Allures des courants  
Fréquences élevées

plus importante que dans le mode 1. Ceci est logique puisque dans le mode 2 le courant fourni par le moteur est plus important.

La fréquence maximale de démarrage la plus intéressante est retenue dans le mode 3.

pour un déplacement donné, le fonctionnement du moteur en mode 3 nécessite un nombre d'impulsions de commande 2 fois plus grand que dans les deux premiers modes, ce qui permet donc, de doubler la largeur des zones de fréquences de fonctionnement du moteur.

#### 2-2-2-DETERMINATION DE LA FREQUENCE MAXIMALE DE CHANGEMENT DE SENS:

Cette fréquence est déterminée en inversant le sens de rotation du moteur après l'avoir accéléré. La fréquence à laquelle le moteur ne s'arrête pas sans changer de sens est la fréquence maximale de changement de sens.

Les résultats sont représentés sur le tableau suivant:

MODES	MODE 1	MODE 2	MODE 3
Fréquences à vide (Hz)	180	190	350
Fréquences en charge (Hz)	64	74	159

De même que précédemment, l'augmentation de l'inertie fait diminuer la fréquence de changement de sens. Nous constatons que cette fréquence est largement plus faible et est à la limite de

la fréquence maximale de démarrage.

Le mode de commande influe sur cette caractéristique. La valeur la plus intéressante est déterminée pour le mode 3. Ceci est dû au fait que le courant est toujours présent dans les enroulements.

### 2-2-3-DETERMINATION DE FREQUENCE MAXIMALE DE SURVITESSE:

L'opération consiste à démarrer le moteur à une certaine fréquence, l'accélérer progressivement jusqu'à ce que le moteur s'arrête. La fréquence à laquelle le moteur décroche est la fréquence maximale de survitesse. Les résultats des essais sont donnés par le tableau suivant:

MODES	MODE 1	MODE 2	MODE 3
Fréquences à vide en (Hz)	450	500	1000
Fréquences en charge (Hz)	550	750	1600

Nous remarquons que cette caractéristique est plus intéressante en mode 3. Elle est moins intéressante en mode 1.

Nous remarquons aussi que la caractéristique de survitesse augmente en augmentant l'inertie du moteur.

2-2-4-DETERMINATION DES FREQUENCES DE RESONANCES:

Lors de l'opération de démarrage du moteur à partir d'une fréquence de démarrage très faible, on a remarqué des zones d'oscillations du moteur. Elles apparaissent lorsque la fréquence du signal de commande s'approche de la fréquence propre du système moteur-charge et de ses multiples. Les résultats obtenus sont reportés sur le tableau suivant:

MODES	MODE 1	MODE 2	MODE 2
Zones de fréquences à vide (Hz)	3,5...30 35....55 60....70 140..170	4.....5 6....9,5 12,5..35 40....60 130..170	10....18 30....40 60....70 170..220
Zones de fréquences en charge (Hz)	3,5...22 25....40	5.....20 45....50	10....18 30....70

Nous constatons que les zones d'instabilités sont réduites en augmentant l'inertie du moteur. Ce qui constitue un amortisseur mécanique pour le moteur.

Le type du mode de commande influe lui aussi sur les oscillations du moteur.

Le mode 2 donne les meilleurs résultats, il constitue un amortisseur électrique.

CONCLUSION:

Ce chapitre nous a permis de déterminer quelques caractéristiques du moteur lié à son alimentation. Nous avons montré que le mode de commande influe énormément sur les caractéristiques du moteur. Apparemment le mode 3 donne les meilleurs résultats.

Nous avons montré aussi que le mode de commande peut constituer un amortisseur pour le moteur.

une charge inertielle ajoutée au moteur dégrade les caractéristiques du moteur cependant, elle constitue elle aussi un amortisseur pour le moteur.

*Chapitre IV*

**INTRODUCTION A LA  
COMMANDE NUMERIQUE  
D'UN MOTEUR  
PAS-A-PAS**

INTRODUCTION A LA COMMANDE D'UN MOTEUR PAS A PAS  
PAR UN CALCULATEUR NUMERIQUE

INTRODUCTION:

Le développement des semi-conducteurs et l'apparition des calculateurs numériques a permis l'utilisation accrue des moteurs pas à pas.

Le caractère incrémental de ces moteurs a rendu très adéquate sa commande par ordinateur.

Dans ce chapitre, nous nous proposons de déterminer les caractéristiques du moteur, en utilisant comme générateur d'impulsions un ordinateur numérique dans le but de vérifier les résultats obtenus dans le chapitre-III, et ainsi, préparer le terrain pour la commande numérique du moteur.

Le choix du ordinateur se fait en fonction de la vitesse d'exécution et du calcul des opérations à effectuer.

Le ordinateur utilisé est le MAT 385.

1-PRESENTATION DU MAT 385:

Ses caractéristiques principales sont: [9]

- 8 bits
- Mémoires vives et mémoires mortes.
- 4 modes d'adressages : adressage registre, immédiat, étendu direct et adressage registre indirect.
- Un jeu de 72 instructions.
- Interruption vectorisée avec un registre de contrôle d'interruptions
- Un accumulateur.
- Un registre d'état.
- Une horloge élémentaire de fréquence égale à 3,072 M Hz

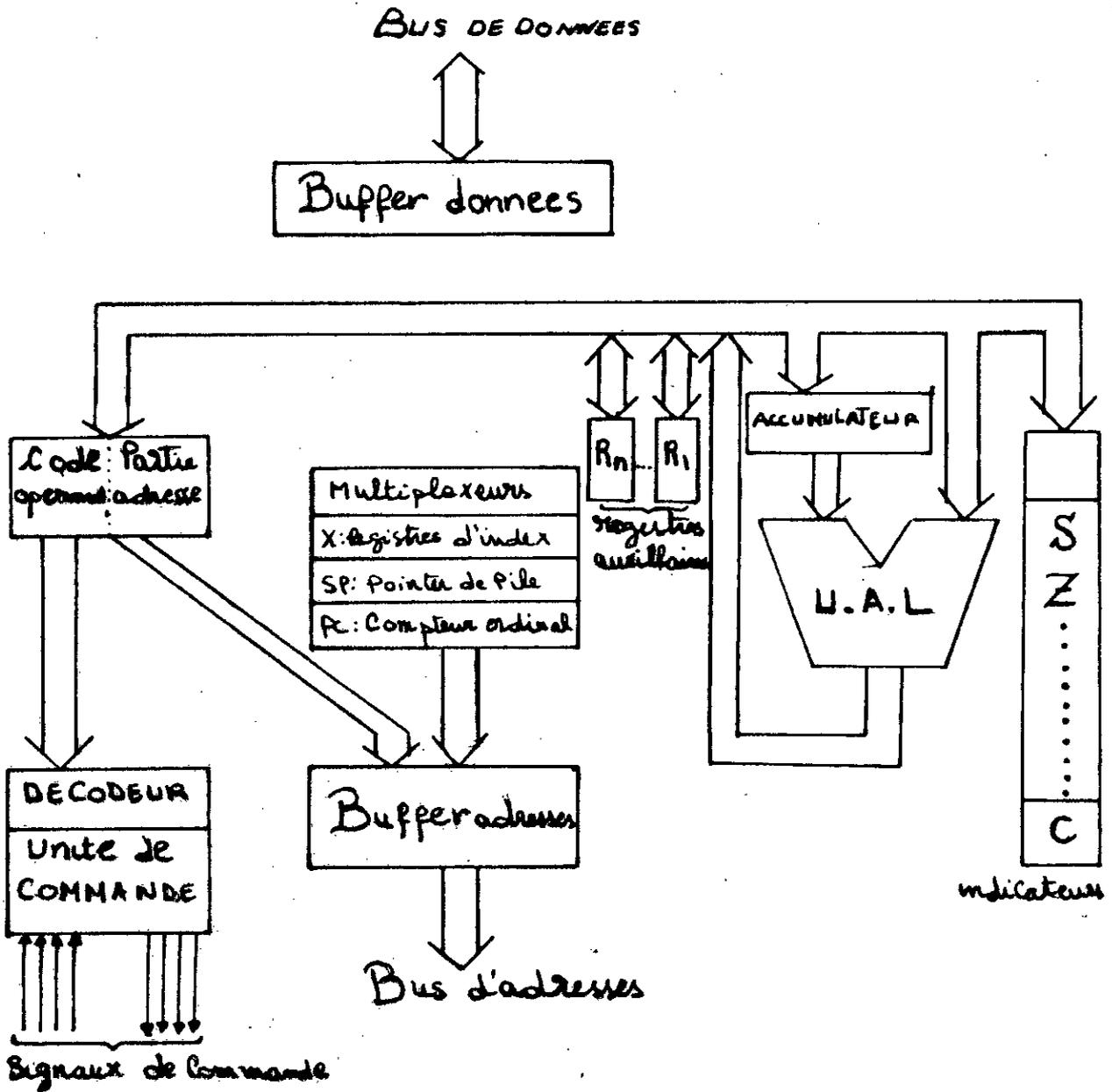


FIG 4-1-ARCHITECTURE INTERNE DU MAT 385

Il est constitué principalement par: [9][13]

-LE MICROPROCESSEUR:

C'est le 8085 D'INTEL, il comprend les sous-ensembles suivants:

Une unité arithmétique et logique ( ALU ) qui effectue les opérations du programme utilisateur.

Un registre d'instructions qui range les instructions reçues de la mémoire en cours de l'exécution.

Un compteur de programme permettant d'assurer le séquençement des instructions pendant l'exécution du programme.

-LES MEMOIRES:

Elles permettent de stocker le moniteur, les sous-programmes spéciaux, les données du programme, les résultats intermédiaires et finaux, et le programme lui-même.

Les mémoires du MAT 385 sont organisées de la manière suivante:

RAM 1K
RAM 1K non volatile
RAM (256 bytes)
RAM (256 bytes)
ROM 2k spécial sous-programmes
moniteur ROM 2K

FIG4-2-MEMOIRES DU MAT 385

-LES PERIPHERIQUES:

Elles permettent les échanges bilatéraux d'informations entre le calculateur numérique et l'utilisateur ( écriture, lecture, entrées, sorties... etc )

2-PROGRAMMATION SUR MAT 385: [4][9][10][13]

Dans le MAT 385 et comme dans tous les calculateurs numériques, les programmes sont pilotés par un système de timing appelé TIMER. Celui-ci est coparable à un diviseur de fréquence de l'horloge élémentaire.

Dans nos programmes, nous avons utilisé de plus, des compteurs pour diviser cette fois-ci, la fréquence du timer.

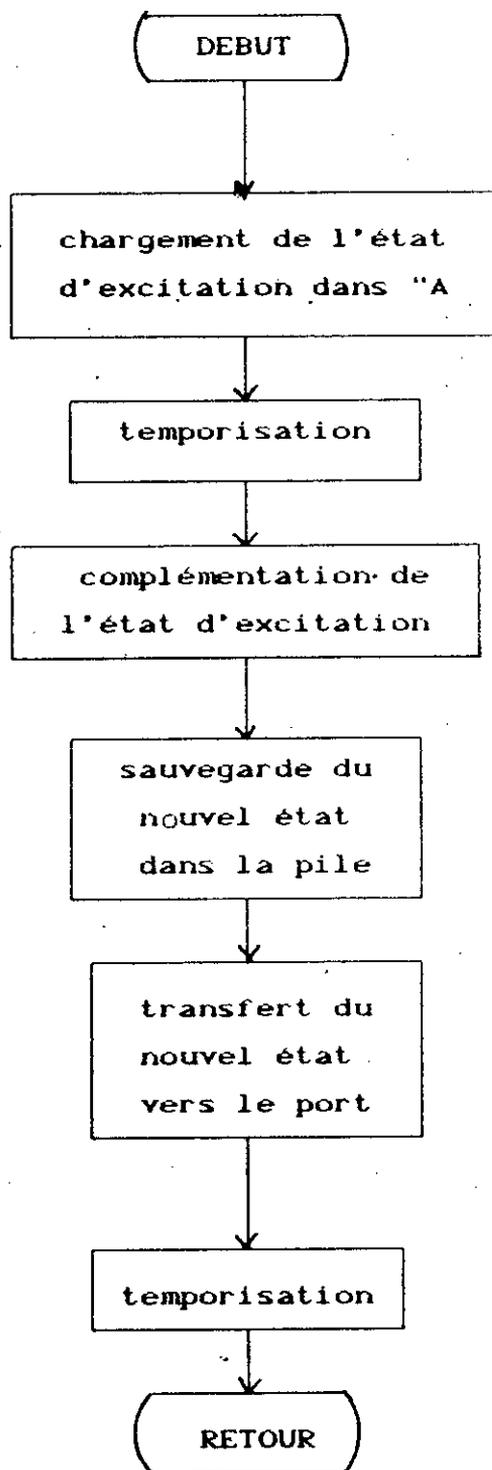
L'état du signal de commande fourni par les programmes utilisés se maintient constant durant tout le comptage puis s'inverse par complémentation et pour un autre comptage. L'incrémentation du compteur utilisé s'effectue pour chaque période d'exécution du sous programme-compteur.

Le temps d'exécution des programmes utilisateurs doit être inférieur à la période d'exécution du programme principal et du sous-programme de routine d'interruptions ( maximum est égal à 500 ms ). Chaque instruction d'Intel 8085 demande entre 1 et 12 cycles du CPU.

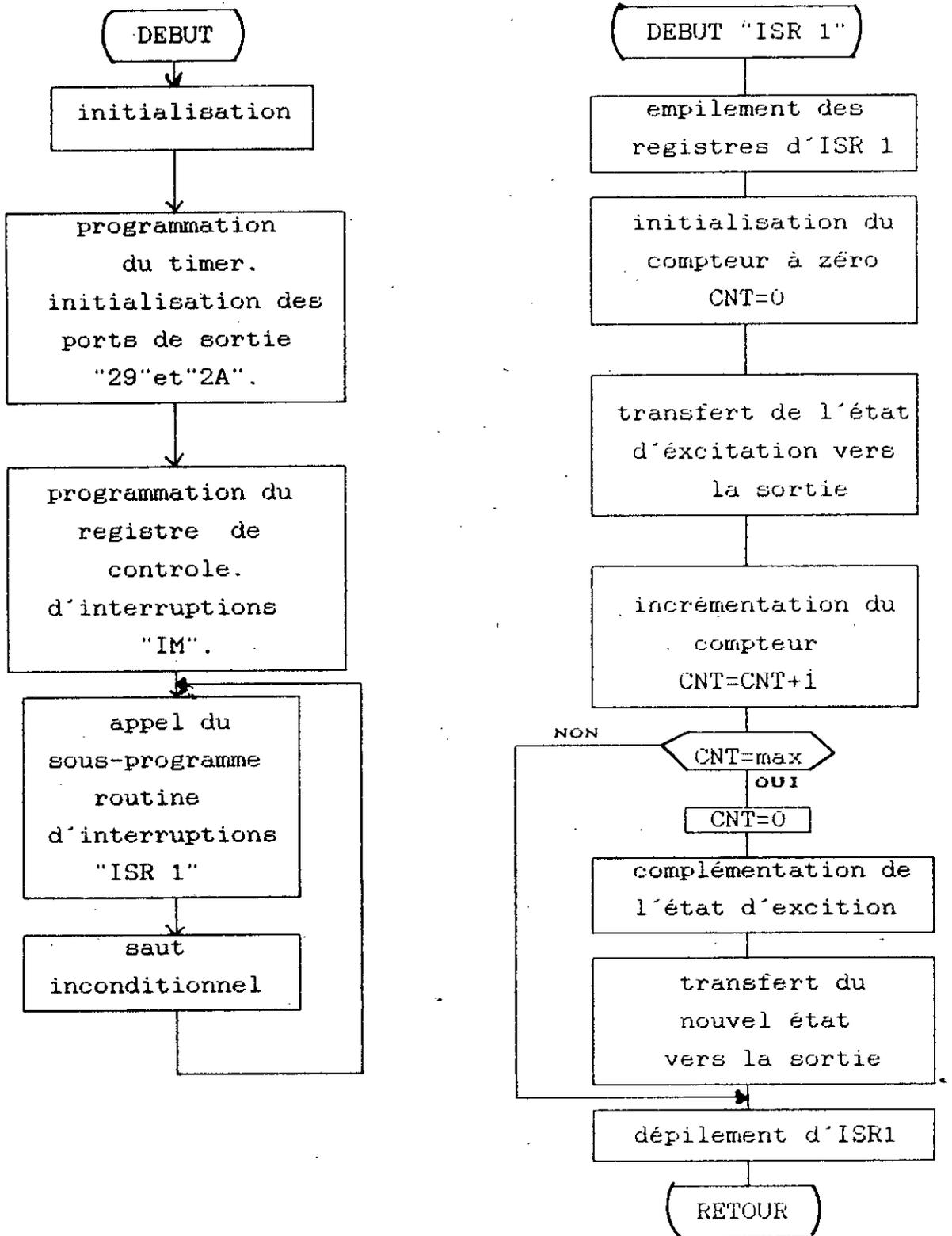
La fréquence du signal de commande à laquelle le moteur tournera est déterminée à partir du nombre d'itérations maximal du compteur utilisé et aussi, de la fréquence du timer.

2-1-PROGRAMMATION DE GENERATION D'IMPULSIONS A FREQUENCE FIXE:

Nous avons élaboré un programme qui nous permet de déterminer les caractéristiques d'arrêt-démarrage dans les trois premiers modes de séquençement. L'organigramme de celui-ci est donné sur la figure 4-3:



ETAPES PRINCIPALES DE LA PROGRAMMATION DE GENERATION  
DU SIGNAL DE COMMANDE A DES FREQUENCES FIXES



**FIG4-3: PROGRAMMAT DE GENERATION D'IMPULSIONS A FREQUENCE FIXE**

## CHAPITRE IV

Le tableau ci-dessous illustre les fréquences maximales de démarrage dans trois modes de séquençement.

MODES	MODE 1	MODE 2	MODE 3
Fréquences en charge (Hz)	65,5	76,9	192

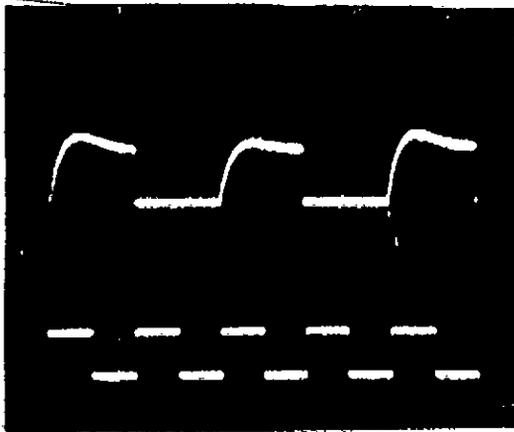
La figure 4-4 montre la forme des courants avec un signal de commande d'une fréquence de 50 Hz.

dans l'étape de la détermination des zones de résonance, nous avons obtenu des résultats légèrement meilleurs que ceux donnés au chapitre-III. Nous illustrons ces premiers dans le tableau suivant:

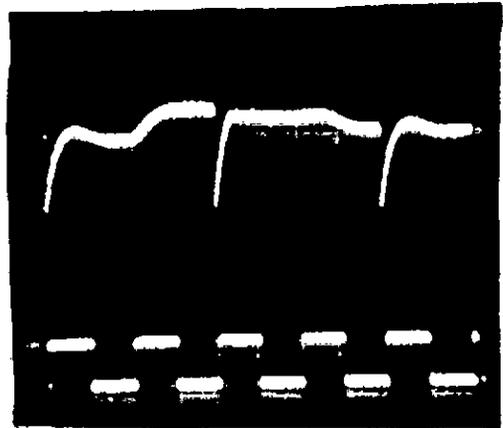
MODES	MODE 1	MODE 2	MODE 3
Zones de fréquences en charge (Hz)	4,25...20 22.....38	6,25...20 46,5.48,5	10...16,5 33.....64

Il est possible de remplacer toute la carte de commande par un calculateur numérique. Il suffit de générer 4 signaux de commande avec un certain séquençement et d'attaquer directement les gates des transistors.

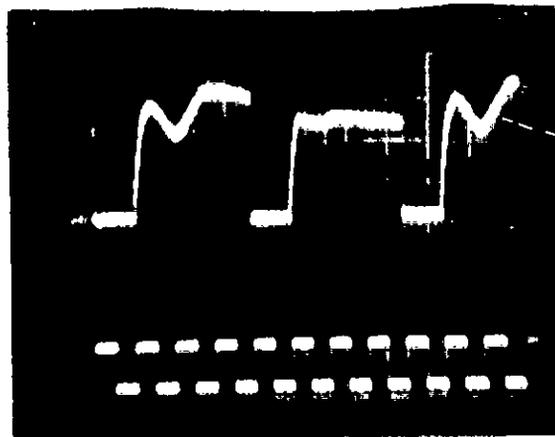
Un programme réalisant une telle fonction a été élaboré et a donné les signaux de commande présentés sur la figure 4-5.



MODE 1, 50 Hz



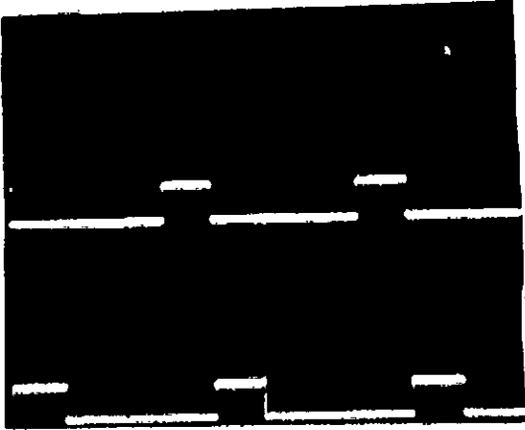
MODE 2, 50 Hz



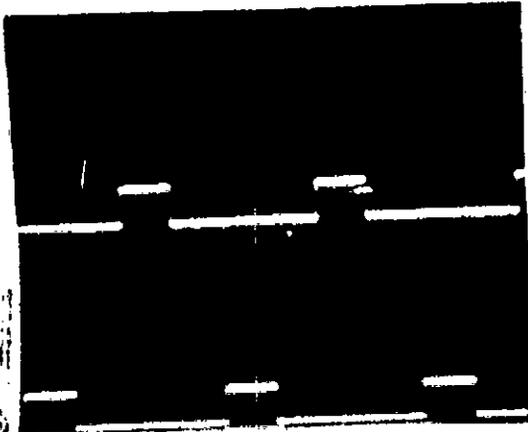
MODE 3, 50 Hz

FIG 4.4-Allures des courants de phases a des frequences faibles.

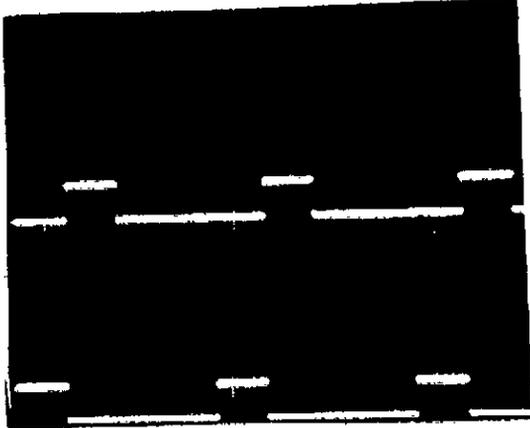
Haut: phase B; bas: phase A



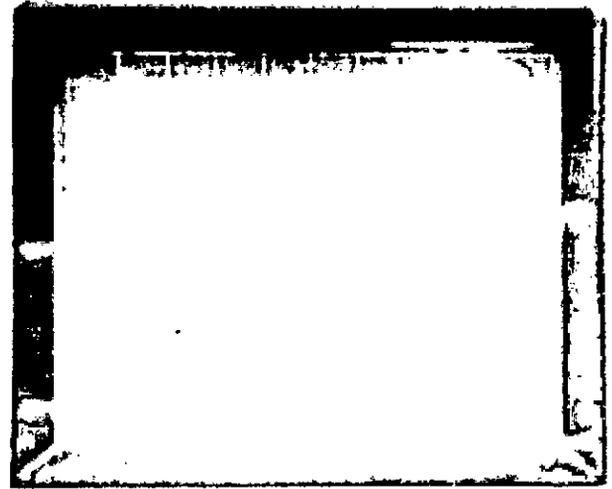
Haut: phase C; bas: phase A



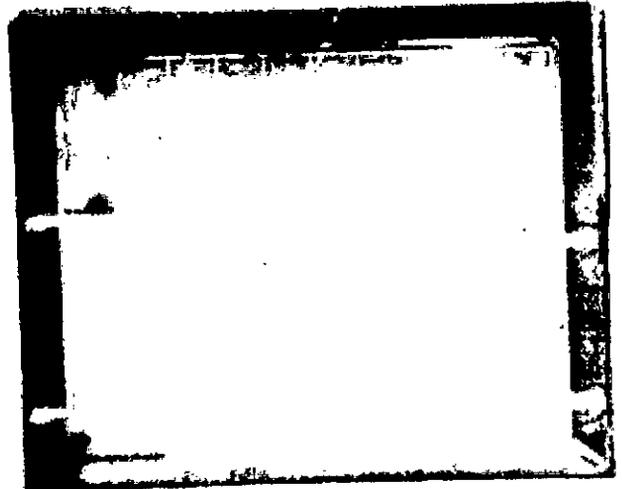
Haut: phase D; Bas: phase A



MODE 1



Haut: phase B; Bas: phase A



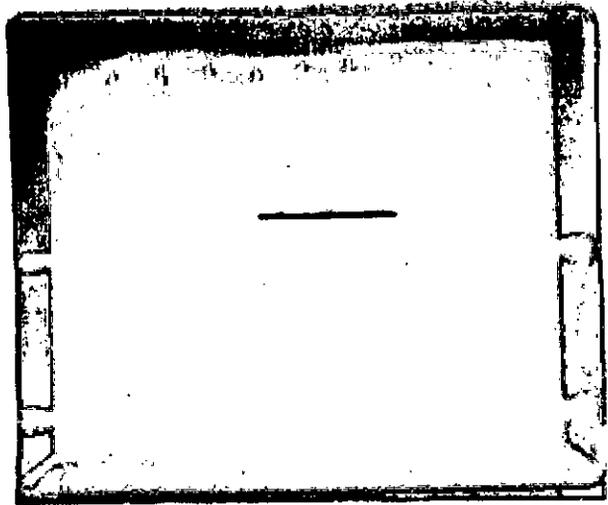
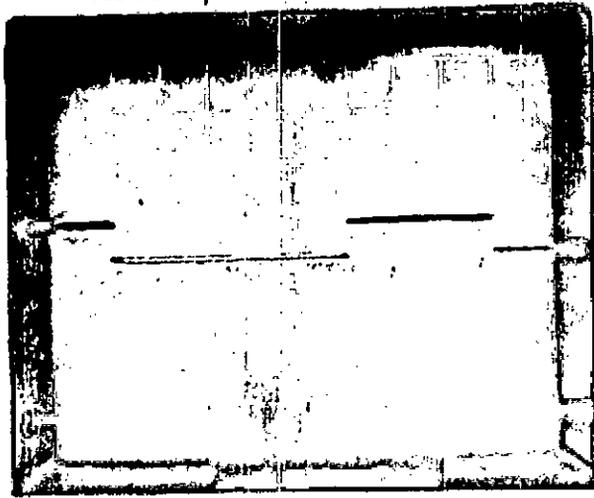
Haut: phase C; Bas: phase A

MODE 2

Figure 4-5: Nature de Signaux de Commande

Haut: Phase B

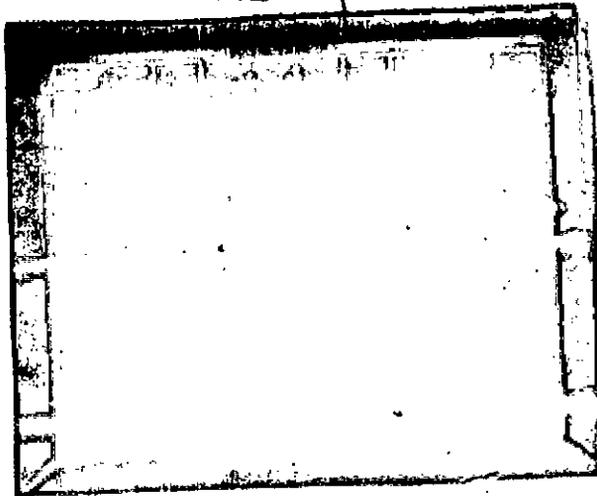
Haut: Phase C



bas: phase A

bas: phase A.

Haut: Phase D



bas: phase A

FIG 4.5 (suite)-Nature des signaux de commande en mode 3

Les conditions d'excitation des phases pour les deux sens de rotation du moteur commandé par ce programme sont illustrées sur les tableaux suivants:

MODE 1	SORTIE (hexa)	PHASE D bit 3	PHASE C bit 2	PHASE B bit 1	PHASE A bit 0
	11	0	0	0	1
	88	1	0	0	0
	44	0	1	0	0
	22	0	0	1	0
	11	0	0	0	1

MODE 2	SORTIE (hexa)	PHASE D bit 6		PHASE C bit 4		PHASE B bit 2		PHASE A bit 0	
	33	0	0	1	1	0	0	1	1
	99	1	0	0	1	1	0	0	1
	CC	1	1	0	0	1	1	0	0
	66	0	1	1	0	0	1	1	0
	33	0	0	0	1	1	0	1	1

MODE 3	SORTIE (héxa)	PHASE B		PHASE C		PHASE D		PHASE A	
		bit 6	bit 5	bit 4	bit 3	bit 2	bit 1	bit 0	bit 0
	07	0	0	0	0	0	1	1	1
	85	1	0	0	0	0	0	1	1
	C1	1	1	0	0	0	0	0	1
	E0	1	1	1	0	0	0	0	0
	70	0	1	1	1	0	0	0	0
	58	0	0	1	1	1	0	0	0
	1C	0	0	0	1	1	1	0	0
	0E	0	0	0	0	1	1	1	0
	07	0	0	0	0	0	1	1	1

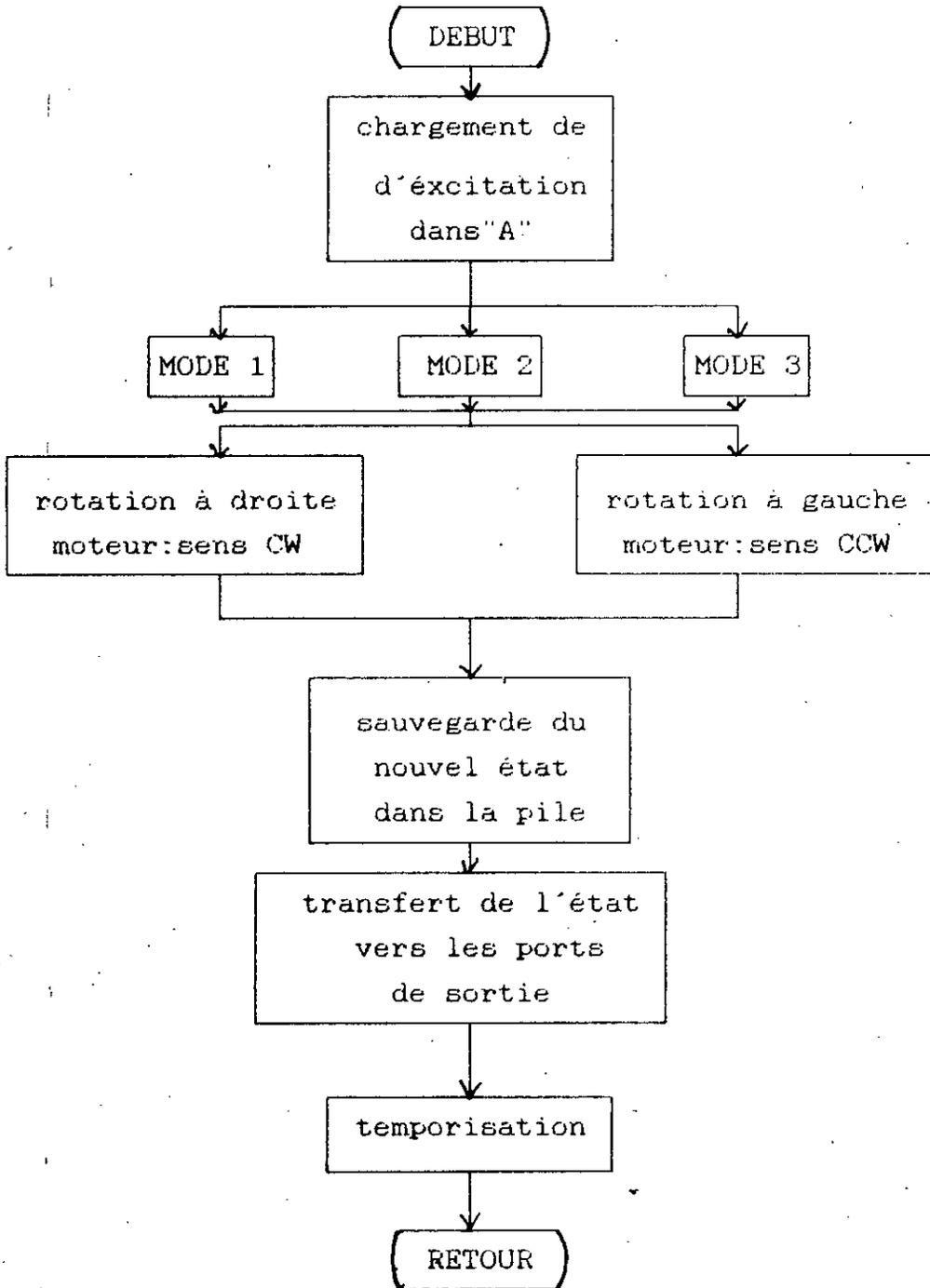
Les séquencements présentés précédemment sont réalisés grâce à l'exécution continue d'une instruction de rotation du registre à transférer vers la sortie de commande.

La figure 4-6 montre l'organigramme élaboré lors de la programmation de ces 4 signaux de commande.

2-2-PROGRAMMATION DE GENERATION D'IMPULSIONS A FREQUENCE VARIABLE:

Nous choisissons une loi de variation linéaire de la fréquence en fonction du temps.

Les instructions d'incrémentatation et de décrémentatation sont utilisées. Le programme de génération de signaux avec une fréquence variable a été élaboré. Nous donnons son organigramme dans la figure 4-8.



ETAPES PRINCIPALES DE PROGRAMMATION DE 4 SIGNAUX  
DECOMMANDE A FREQUENCE FIXE

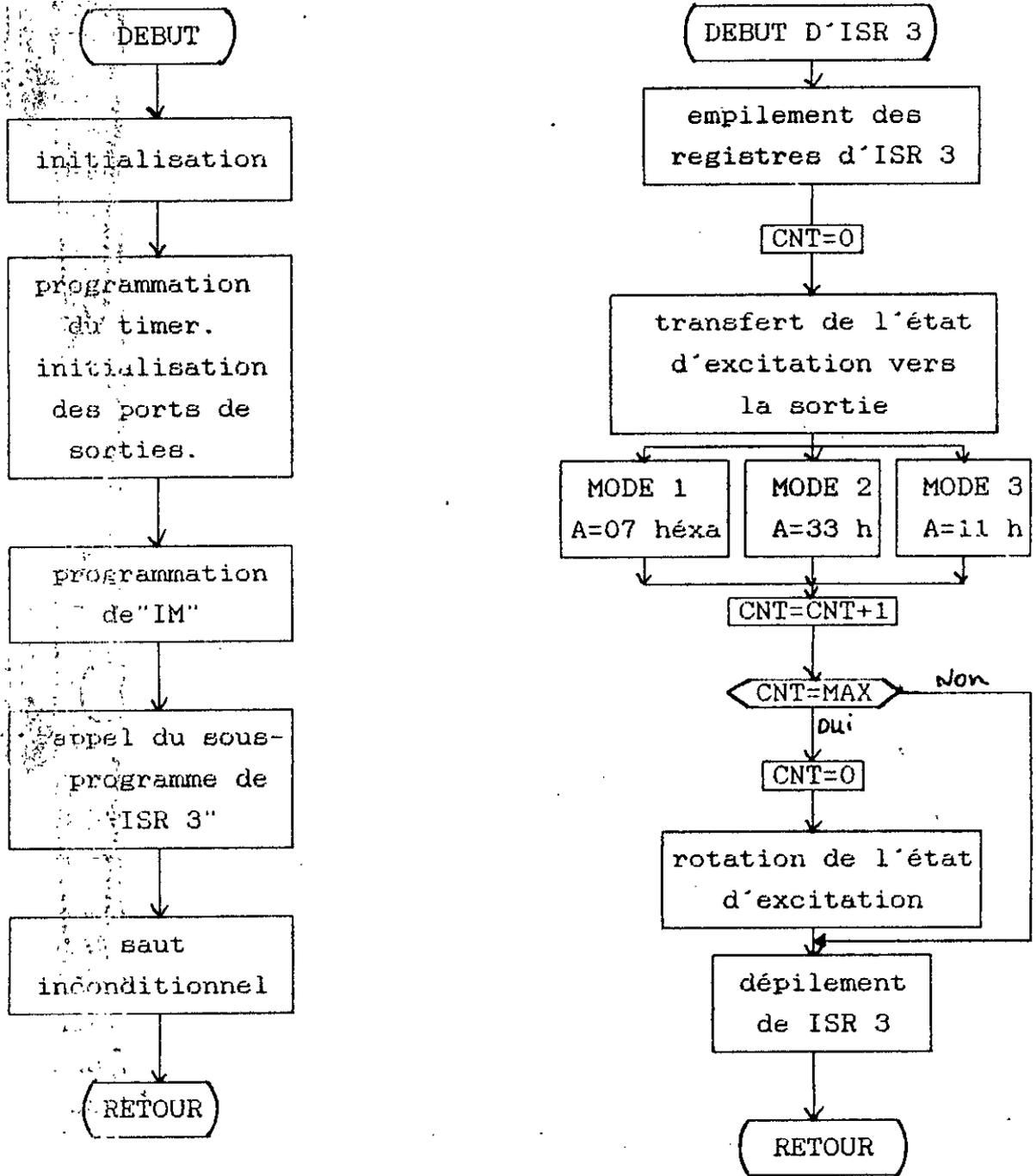
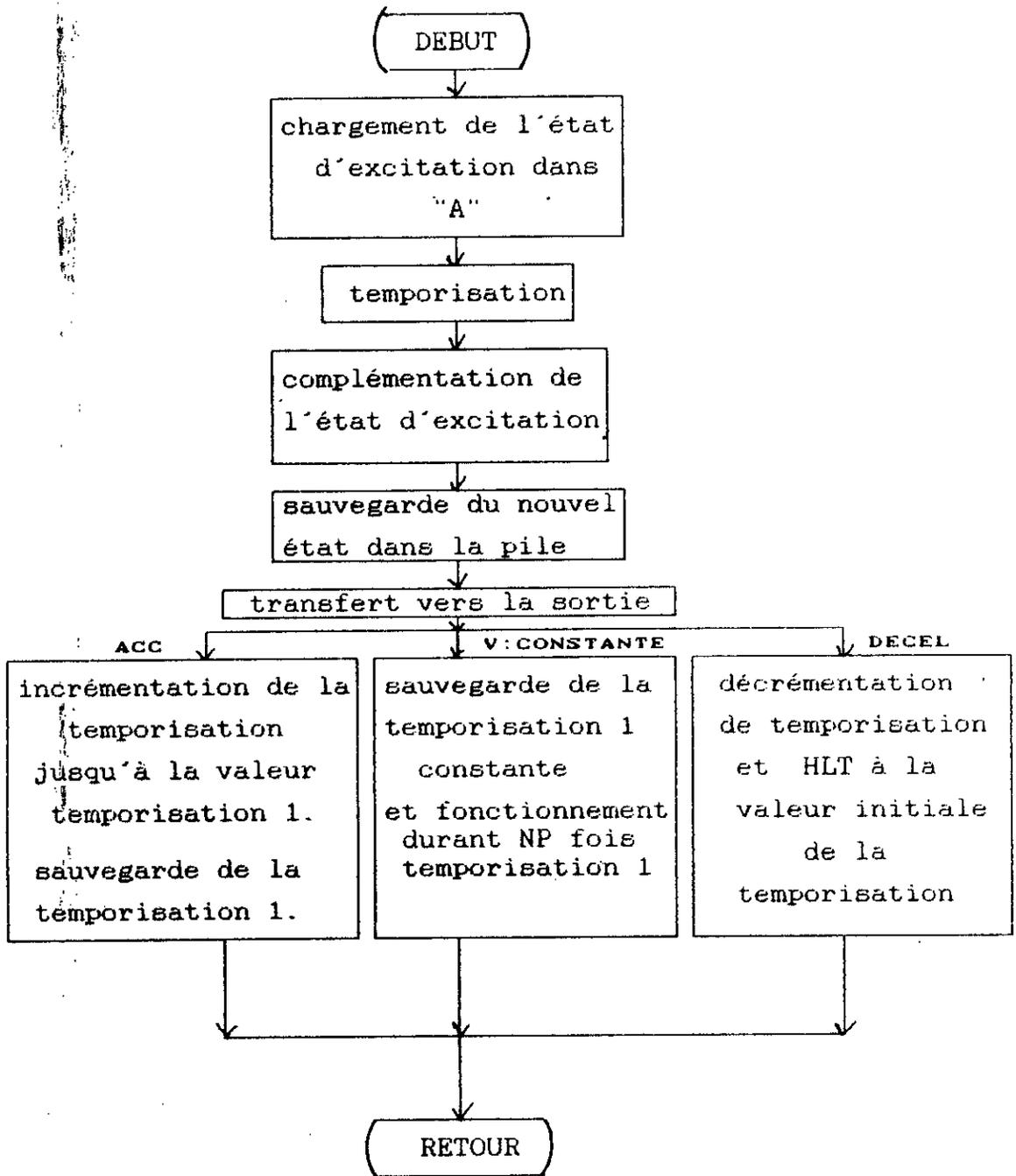


FIG 4-6: PROGRAMME DE GENERATION DE 4 SIGNAUX DE COMMANDE A FREQUENCE FIXE



ETAPES PRINCIPALES DE GENERATION D'UN SIGNAL DE FREQUENCE VARIABLE

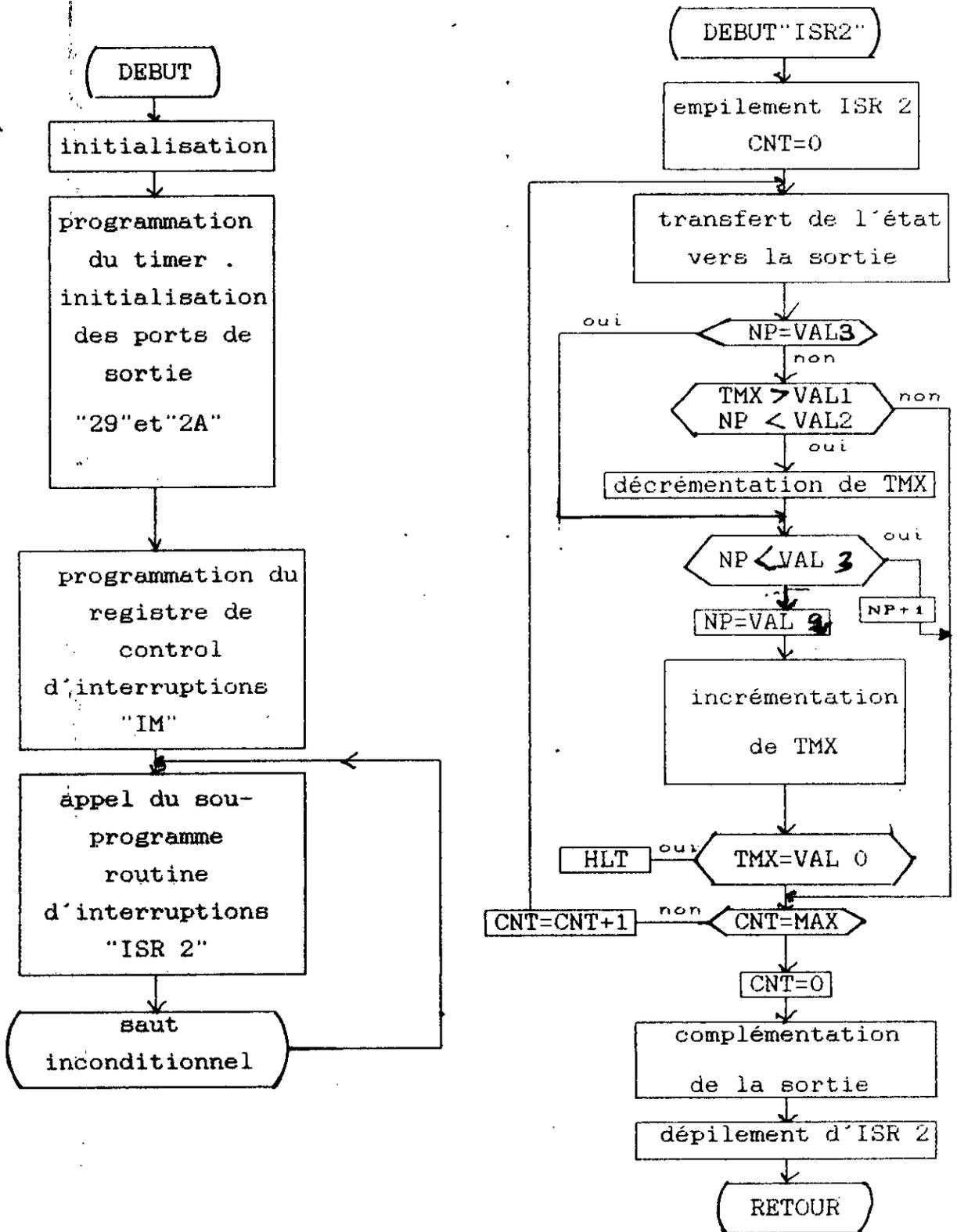


FIG 4-8: PROGRAMME DE GENERATION D'IMPULSIONS A FREQUENCE VARIABLE SELON LA LOI LINEAIRE

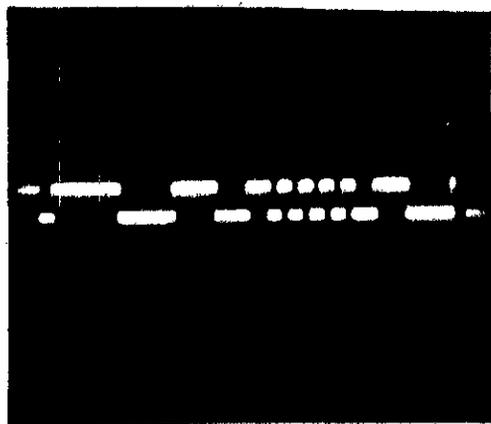
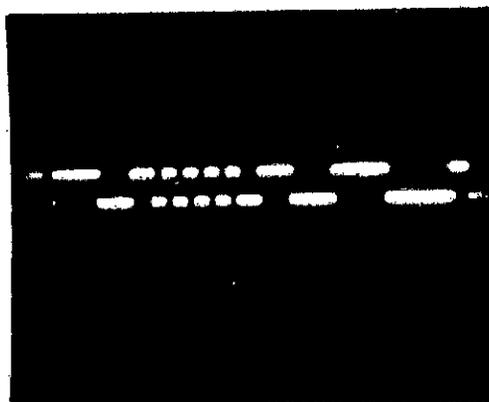
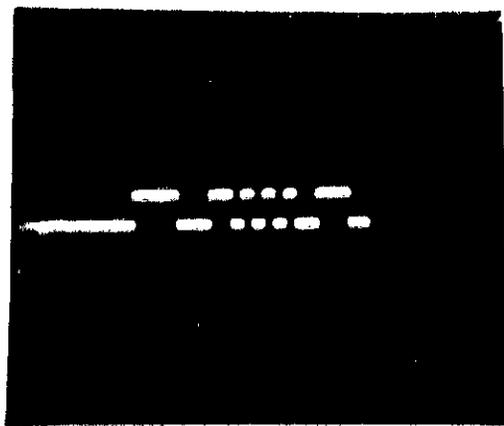


Figure 4-7 : Nature de signaux de commande (fréquences variables)

Ce programme nous a permis de déterminer les fréquences maximales de survitesse. Elles sont comparées aux valeurs obtenus au chapitre-III. Nous reportons ces résultats sur le tableau suivant:

MODES	MODE 1	MODE 2	MODE 3
Fréquences en charge (Hz)	250 }	100	190

La détermination d'une telle caractéristique est plus intéressante par programmation que par G.B.F.

Ce programme nous a permis en plus, de déterminer les allures de courants des signaux de commande à fréquence variable linéairement (figure 4-7).

### 3-APPLIQUATION POUR LA COMMANDE SUR UN CERTAIN NOMBRE DE PAS:

Une fois que les caractéristiques fréquentielles du moteur ont été obtenues, nous pouvons effectuer une commande sur un certain nombre de pas, en utilisant le programme élaboré pour la génération de signaux de commande à fréquence variable et selon la loi linéaire. [14]

La commande suit les étapes suivantes.

- 1) Démarrage à une fréquence inférieure à la fréquence maximale de démarrage dans un mode antérieurement choisi.
- 2) Accélération jusqu'à une fréquence de survitesse.
- 3) Déplacement à la vitesse constante et à la fréquence atteinte à la fin de la deuxième étape.

4) Décélération jusqu'à l'arrêt du moteur.

Une application a été faite en mode 2 et avec:

- Une fréquence de démarrage de 55 Hz.
- Une accélération jusqu'à 143 Hz.
- Un déplacement de 256 pas à 143 Hz.
- Décélération jusqu'à 55 Hz et arrêt.

-CONCLUSION:

Dans ce chapitre, nous avons déterminé les la caractéristique de démarrage du moteur commandé par *calculateur*. Les résultats obtenus sont meilleurs que ceux du chapitre III.

nous avons déterminé aussi, la caractéristique de survitesse par un programme de génération de fréquence variant linéairement. Dans ce cas, nous avons obtenu des résultats très différents de ceux du chapitre III.; es performances ont diminué. Ce-ci est dû à l'augmentation de la fréquence du signal de commande qui tendait à devenir très important lorsque on faisait démarrer le moteur à une fréquence proche de la fréquence maximale de démarrage afin d'éviter les zones de resonance.

# *CONCLUSION*

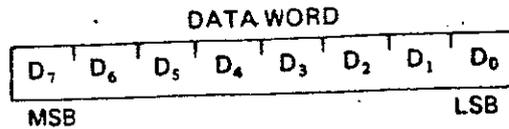
CONCLUSION:

Dans ce travail, nous avons montré l'intérêt d'un calculateur dans la commande des moteurs pas à pas. Nous avons déterminé les caractéristiques fréquentielles en fonction du mode de commande. Nous avons cerné la gamme de fréquences d'instabilité, et nous avons déterminé les fréquences maximales de démarrage et de survitesse. Nous pourrions faire une commande de position du moteur en boucle ouverte après un choix adéquat de la fréquence maximale de démarrage ( loin de la fréquence de résonance ) et une accélération vers une fréquence d'entraînement ne dépassant pas la fréquence de survitesse.

Un travail plus précis peut se faire en modélisant le système commande-moteur-charge et déterminer par la simulation, les vitesses de démarrage et d'accélération qui seront introduites sous forme de tableaux dans la mémoire du calculateur.

Un programme élaboré dans ce sens, nous permettra de commander le moteur en position d'une manière plus précise.

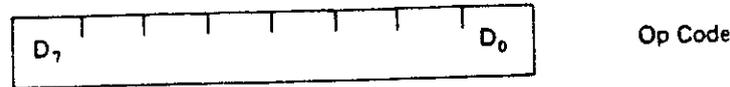
Data in the 8085A is stored in the form of 8-bit binary integers:



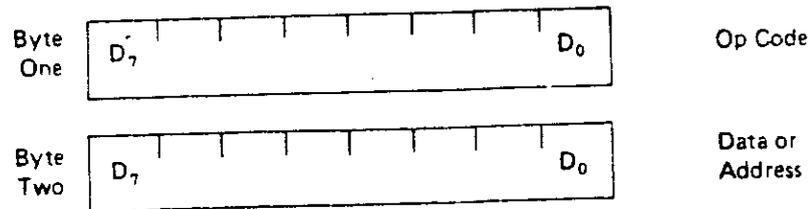
When a register or data word contains a binary number, it is necessary to establish the order in which the bits of the number are written. In the Intel 8085A, BIT 0 is referred to as the **Least Significant Bit (LSB)**, and BIT 7 (of an 8-bit number) is referred to as the **Most Significant Bit (MSB)**.

An 8085A program instruction may be one, two or three bytes in length. Multiple-byte instructions must be stored in successive memory locations; the address of the first byte is always used as the address of the instruction. The exact instruction format will depend on the particular operation to be executed.

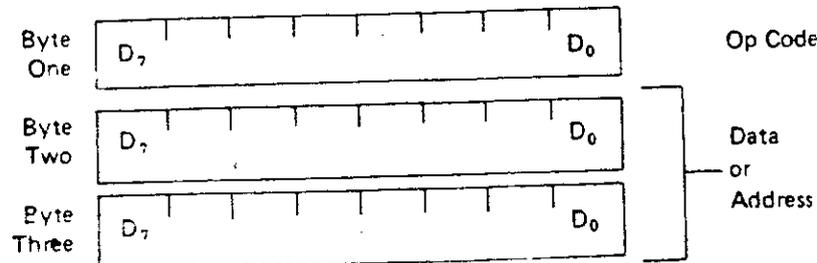
Single Byte Instructions



Two-Byte Instructions



Three-Byte Instructions



#### 4. Addressing Modes:

Often the data that is to be operated on is stored in memory. When multi-byte numeric data is used, the data, like instructions, is stored in successive memory locations, with the least significant byte first, followed by increasingly significant bytes. The 8085A has four different modes for addressing data stored in memory or in registers:

- **Direct** – Bytes 2 and 3 of the instruction contain the exact memory address of the data item (the low-order bits of the address are in byte 2, the high-order bits in byte 3).
- **Register** – The instruction specifies the register or register pair in which the data is located.
- **Register Indirect** – The instruction specifies a register pair which contains the memory address where the data is located (the high-order bits of the address are in the first register of the pair, the low-order bits in the second).
- **Immediate** – The instruction contains the data itself. This is either an 8-bit quantity or a 16-bit quantity (least significant byte first, most significant byte second).

Unless directed by an interrupt or branch instruction, the execution of instructions proceeds through consecutively increasing memory locations. A branch instruction can specify the address of the next instruction to be executed in one of two ways:

- **Direct** – The branch instruction contains the address of the next instruction to be executed. (Except for the 'RST' instruction, byte 2 contains the low-order address and byte 3 the high-order address).
- **Register Indirect** – The branch instruction indicates a register-pair which contains the address of the next instruction to be executed. (The high-order bits of the address are in the first register of the pair, the low-order bits in the second).

The RST instruction is a special one-byte call instruction (usually used during interrupt sequences). RST includes a three-bit field; program control is transferred to the instruction whose address is eight times the contents of this three-bit field.

## 2. Symbols and Abbreviations

The following symbols and abbreviations are used in the subsequent description of the 8085A instructions:

SYMBOLS	MEANING
accumulator	Register A
addr	16-bit address quantity
data	8-bit quantity
data 16	16-bit data quantity
byte 2	The second byte of the instruction
byte 3	The third byte of the instruction
port	8-bit address of an I/O device
r, r1, r2	One of the registers A, B, C, D, E, H, L
DDD, SSS	The bit pattern designating one of the registers A, B, C, D, E, H, L (DDD = destination, SSS = source):

DDD or SSS	Register Name
111	A
000	B
001	C
010	D
011	E
100	H
101	L

rp One of the register pairs:  
 B represents the B,C pair with B as the high-order register and C as the low-order register;  
 D represents the D,E pair with D as the high-order register and E as the low-order register;  
 H represents the H,L pair with H as the high-order register and L as the low-order register;  
 SP represents the 16-bit stack pointer register.

RP The bit pattern designating one of the register pairs B,D,H,SP:

RP	Register Pair
00	B - C
01	D - E
10	H - L
11	SP

rh The first (high-order) register of a designated register pair.

The second (low-order) register of a designated register pair.

PC	16-bit program counter register (PCH and PCL are used to refer to the high-order and low-order 8 bits respectively).
SP	16-bit stack pointer register (SPH and SPL are used to refer to the high-order and low-order 8 bits respectively).
r <sub>m</sub>	Bit m of the register r (bits are numbered 7 to 0 from left to right).
LABEL	16-bit address of subroutine.
	<i>The condition flags:</i>
Z	Zero
S	Sign
P	Parity
CY	Carry
AC	Auxiliary Carry
( )	The contents of the memory location or registers enclosed in the parentheses.
←	Information is transferred in the direction indicated.
∧	Logical AND
⊕	Exclusive OR
∨	Inclusive OR
+	Addition
-	Two's complement subtraction
•	Multiplication
↔	's exchanged with'
—	The ones complement (e.g., $\overline{A}$ )
n	The restart number 0 to 7
NNN	The binary representation 000 to 111 for restart number 0 to 7 respectively.

## 3. Instruction and Data Formats

Memory used in the MCS-85 system is organised in 8-bit bytes. Each byte has a unique location in physical memory. That location is described by one of a sequence of 16-bit binary addresses. The 8085A can address up to 64K (K = 1024, or  $2^{10}$ ); hence, 64K represents the decimal number 65,536 bytes of memory, which may consist of both random-access, read-write memory (RAM) and read-only memory (ROM), which is also random access.

OP CODE	MNEMONIC	OP CODE	MNEMONIC	OP CODE	MNEMONIC
81	ADD C	AC	XRA H	D7	RST 2
82	ADD D	AD	XRA L	D8	RC
83	ADD E	AE	XRA M	D9	-
84	ADD H	AF	XRA A	DA	JC Adr
85	ADD L	B0	ORA B	DB	IN D8
86	ADD M	B1	ORA C	DC	CC Adr
87	ADD A	B2	ORA D	DD	-
88	ADC B	B3	ORA E	DE	SB1 D8
89	ADC C	B4	ORA H	DF	RST 3
8A	ADC D	B5	ORA L	E0	RPO
8B	ADC E	B6	ORA M	E1	POP H
8C	ADC H	B7	ORA A	E2	JPO Adr
8D	ADC L	B8	CMP B	E3	XTHL
8E	ADC M	B9	CMP C	E4	CPO Adr
8F	ADC A	BA	CMP D	E5	PUSH H
90	SUB B	BB	CMP E	E6	ANI D8
91	SUB C	BC	CMP H	E7	RST 4
92	SUB D	BD	CMP L	E8	RPE
93	SUB E	BE	CMP M	E9	PCHL
94	SUB H	BF	CMP A	EA	JPE Adr
95	SUB L	C0	RNZ	EB	XCHG
96	SUB M	C1	POP B	EC	CPE Adr
97	SUB A	C2	JNZ Adr	ED	-
98	SBB B	C3	JMP Adr	EE	XRI D8
99	SBB C	C4	CNZ Adr	EF	RST 5
9A	SBB D	C5	PUSH B	F0	RP
9B	SBB E	C6	ADI D8	F1	POP PSW
9C	SBB H	C7	RST 0	F2	JP Adr
9D	SBB L	C8	RZ	F3	DI
9E	SBB M	C9	RET Adr	F4	CP Adr
9F	SBB A	CA	JZ	F5	PUSH PSW
A0	ANA B	CB	-	F6	ORI D8
A1	ANA C	CC	CZ Adr	F7	RST 6
A2	ANA D	CD	CALL Adr	F8	RM
A3	ANA E	CE	ACI D8	F9	SPHL
A4	ANA H	CF	RST 1	FA	JM Adr
A5	ANA L	D0	RNC	FB	EI
A6	ANA M	D1	POP D	FC	CM Adr
A7	ANA A	D2	JNC Adr	FD	-
A8	XRA B	D3	OUT D8	FE	CPI D8
A9	XRA C	D4	CNC Adr	FF	RST 7
AA	XRA D	D5	PUSH D		
AB	XRA E	D6	SUI D8		

## THE INSTRUCTION SET

### 1. What the Instruction Set is

A computer, no matter how sophisticated, can do only what it is instructed to do. A program is a sequence of instructions, each of which is recognized by the computer and causes it to perform an operation. Once a program is placed in memory space that is accessible to your CPU, you may run that same sequence of instructions as often as you wish to solve the same problem or to do the same function. The set of instructions to which the 8085A CPU will respond is permanently fixed in the design of the chip.

Each computer instruction allows you to initiate the performance of a specific operation. The 8085A implements a group of instructions that move data between registers, between a register and memory, and between a register and an I/O port. It also has arithmetic and logic instructions, conditional and unconditional branch instructions, and machine control instructions. The CPU recognizes these instructions only when they are coded in binary form.

Instruction	Code	Bytes	T States	Machine Cycles	Page
SBB M	9E	1	7	FR	27
SBI DATA	DE data	2	7	FR	28
SHLD ADDR	22 addr	3	16	FRRWW	22
SIM	30	1	4	F	49
SPHL	F9	1	6	S	46
STA ADDR	32 addr	3	13	FRRW	21
STAX RP	000X 0010	1	7	FW	23
STC	37	1	4	F	37
SUB REG	1001 0SSS	1	4	F	26
SUB M	96	1	7	FR	26
SUI DATA	D6 data	2	7	FR	27
XCHG	EB	1	4	F	23
XRA REG	1010 1SSS	1	4	F	32
XRA M	AE	1	7	FR	33
XRI DATA	EE data	2	7	FR	33
XTHL	E3	1	16	FRRWW	45

Machine cycle types:

- F Four clock period instr fetch
- S Six clock period instr fetch
- R Memory read
- I I/O read
- W Memory write
- O I/O write
- B Bus idle
- X Variable or optional binary digit
- DDD Binary digits identifying a destination register
- SSS Binary digits identifying a source register
- RP Register Pair

B = 000, C = 001, D = 010

E = 011, H = 100, L = 101

A = 111 Memory = 110

BC = 00, HL = 10

DE = 01, SP = 11

OP CODE	MNEMONIC	OP CODE	MNEMONIC	OP CODE	MNEMONIC
00	NOP	2B	DCX H	56	MOV D,M
01	LXI B,D16	2C	INR L	57	MOV D,A
02	STAX B	2D	DCR L	58	MOV E,B
03	INX B	2E	MVI L,D8	59	MOV E,C
04	INR B	2F	CMA	5A	MOV E,D
05	DCR B	30	SIM	5B	MOV E,E
06	MVI B,D8	31	LXI SP,D16	5C	MOV E,H
07	RLC	32	STA Adr	5D	MOV E,L
08	-	33	INX SP	5E	MOV E,M
09	DAD B	34	INR M	5F	MOV E,A
0A	LDAX B	35	DCR M	60	MOV H,B
0B	DCX B	36	MVI M,D8	61	MOV H,C
0C	INR C	37	STC	62	MOV H,D
0D	DCR C	38	-	63	MOV H,E
0E	MVI C,D8	39	DAD SP	64	MOV H,H
0F	RRC	3A	LDA Adr	65	MOV H,L
10	-	3B	DCX SP	66	MOV H,M
11	LXI D,D16	3C	INR A	67	MOV H,A
12	STAX D	3D	DCR A	68	MOV L,B
13	INX D	3E	MVI A,D8	69	MOV L,C
14	INR D	3F	CMC	6A	MOV L,D
15	DCR D	40	MOV B,B	6B	MOV L,E
16	MVI D,D8	41	MOV B,C	6C	MOV L,H
17	RAL	42	MOV B,D	6D	MOV L,L
18	-	43	MOV B,E	6E	MOV L,M
19	DAD D	44	MOV B,H	6F	MOV L,A
1A	LDAX D	45	MOV B,L	70	MOV M,B
1B	DCX D	46	MOV B,M	71	MOV M,C
1C	INR E	47	MOV B,A	72	MOV M,D
1D	DCR E	48	MOV C,B	73	MOV M,E
1E	MVI E,D8	49	MOV C,C	74	MOV M,H
1F	RAR	4A	MOV C,D	75	MOV M,L
20	RIM	4B	MOV C,E	76	HLT
21	LXI H,D16	4C	MOV C,H	77	MOV M,A
22	SHLD Adr	4D	MOV C,L	78	MOV A,B
23	INX H	4E	MOV C,M	79	MOV A,C
24	INR H	4F	MOV C,A	7A	MOV A,D
25	DCR H	50	MOV D,B	7B	MOV A,E
26	MVI H,D8	51	MOV D,C	7C	MOV A,H
27	DAA	52	MOV D,D	7D	MOV A,L
28	-	53	MOV D,E	7E	MOV A,M
29	DAD H	54	MOV D,H	7F	MOV A,A
2A	LHLD Adr	55	MOV D,L	80	ADD B

8085A INSTRUCTION SET INDEX

Instruction	Code	Bytes	T States	Machine Cycles	Page	Instruction	Code	Bytes	T States	Machine Cycles	Page
ACI DATA	CE data	2	7	FR	26	JNZ LABEL	C2 addr	3	7/10	FR/FRR	39
ADC REG	1000 1SSS	1	4	F	25	JP LABEL	F2 addr	3	7/10	FR/FRR	39
ADC M	8E	1	7	FR	25	JPE LABEL	EA addr	3	7/10	FR/FRR	39
ADD REG	1000 0SSS	1	4	F	24	JPO LABEL	E2 addr	3	7/10	FR/FRR	39
ADD M	86	1	7	FR	24	JZ LABEL	CA addr	3	7/10	FR/FRR	39
ADI DATA	C6 data	2	7	FR	25	LDA ADDR	3A addr	3	13	FRRR	20
ANA REG	1010 0SSS	1	4	F	31	LDAX RP	000X 1010	1	7	FR	22
ANA M	A6	1	7	FR	32	LHLD ADDR	2A addr	3	16	FRRRR	21
ANI DATA	E6 data	2	7	FR	32	LXI RP,DATA16	00RP 0001 data 16	3	10	FRR	20
CALL LABEL	CD addr	3	18	SRRWW	39	MOV REG,REG	01DD DSSS	1	4	F	17
CC LABEL	DC addr	3	9/18	S R/S R R W W	40	MOV M,REG	0111 0SSS	1	7	FW	18
CM LABEL	FC addr	3	9/18	S R/S R R W W	40	MOV REG,M	01DD D110	1	7	FR	18
CMA	2F	1	4	F	37	MVI REG,DATA	00DD D110 data	2	7	FR	19
CMC	3F	1	4	F	37	MVI M,DATA	36 data	2	10	FRW	19
CMP REG	1011 1SSS	1	4	F	34	NOP	00	1	4	F	48
CMP M	BE	1	7	FR	35	ORA REG	1011 0SSS	1	4	F	33
CNC LABEL	D4 addr	3	9/18	S R/S R R W W	40	ORA M	B6	1	7	FR	34
CNZ LABEL	C4 addr	3	9/18	S R/S R R W W	40	ORI DATA	F6 data	2	7	FR	34
CP LABEL	F4 addr	3	9/18	S R/S R R W W	40	OUT PORT	D3 data	2	10	FRO	46
CPE LABEL	EC addr	3	9/18	S R/S R R W W	40	PCHL	E9	1	6	S	42
CPI DATA	FE data	2	7	FR	35	POP RP	11RP 0001	1	10	FRR	44
CPO LABEL	E4 addr	3	9/18	S R/S R R W W	40	PUSH RP	11RP 0101	1	12	SWW	43
CZ LABEL	CC addr	3	9/18	S R/S R R W W	40	PUSH PSW	F5	1	12	SWW	43
DAA	27	1	4	F	31	POP PSW	F1	1	10	FRR	45
DAD RP	00RP 1001	1	10	FBB	30	RAL	17	1	4	F	38
DCR REG	00SS S101	1	4	F	29	RAR	1F	1	4	F	37
DCR M	35	1	10	FRW	29	RC	D8	1	6/12	S/SRR	41
DCX RP	00RP 1011	1	6	S	30	RET	C9	1	10	FRR	40
DI	F3	1	4	F	47	RIM	20	1	4	F	48
EI	FB	1	4	F	47	RLC	07	1	4	F	36
HLT	76	1	5	FB	47	RM	F8	1	6/12	S/SRR	41
IN PORT	DB data	2	10	FRI	46	RNC	D0	1	6/12	S/SRR	41
INR REG	00SS S100	1	4	F	28	RNZ	C0	1	6/12	S/SRR	41
INR M	34	1	10	FRW	28	RP	F0	1	6/12	S/SRR	41
INX RP	00RP 0011	1	6	S	29	RPE	E8	1	6/12	S/SRR	41
JC LABEL	DA addr	3	7/10	FR/FRR	39	RPO	E0	1	6/12	S/SRR	41
JM LABEL	FA addr	3	7/10	FR/FRR	39	RRC	0F	1	4	F	36
JMP LABEL	C3 addr	3	10	FRR	38	RST N	1jXX X111	1	12	SRR	41
JNC LABEL	D2 addr	3	7/10	FR/FRR	39	RZ	C8	1	6/12	S/SFR	41
						SBB REG	1001 1SSS	1	4	F	27

FFFF	Not used
A000 9FFF	Provision is made on the PWB for 6K of RAM (optional extra or may be fitted by customer)
8800 87FF	RAM 1K
8400 83FF	RAM (1K) Non-volatile
8000 7FFF	Not used
3000 2FFF	Not used (RAM foldback)
2900 28FF	RAM (256 bytes)
2800 27FF	Not used (RAM foldback)
2100 20FF	RAM (256 bytes) Monitor reserved Locations & user Scratchpad
2000 1FFF	Keyboard Display Controller
1800 17FF	Special subroutines ROM (2K) (optional extra)
1000 0FFF	Tiny basic ROM (2K) (Optional extra)
0800 07FF	Monitor ROM (2K)
0000	

*Memory Map*

## PIN FUNCTIONS - L297

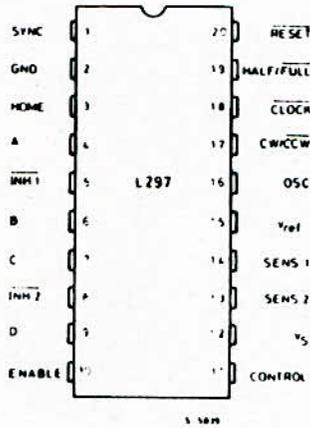
N°	NAME	FUNCTION
1	SYNC	Output of the on-chip chopper oscillator. The SYNC connections of all L297s to be synchronized are connected together and the oscillator components are omitted on all but one. If an external clock source is used it is injected at this terminal.
2	GND	Ground connection.
3	HOME	Open collector output that indicates when the L297 is in its initial state (ABCD = 0101). The transistor is open when this signal is active.
4	A	Motor phase A drive signal for power stage.
5	$\overline{\text{INH1}}$	Active low inhibit control for driver stages of A and B phases. When a bipolar bridge is used this signal can be used to ensure fast decay of load current when a winding is de-energized. Also used by chopper to regulate load current if CONTROL input is low.
6	B	Motor phase B drive signal for power stage.
7	C	Motor phase C drive signal for power stage.
8	$\overline{\text{INH2}}$	Active low inhibit control for drive stages of C and D phases. Same functions as $\overline{\text{INH1}}$ .
9	D	Motor phase D drive signal for power stage.
10	ENABLE	Chip enable input. When low (inactive) $\overline{\text{INH1}}$ , $\overline{\text{INH2}}$ , A, B, C and D are brought low.
11	CONTROL	Control input that defines action of chopper. When low chopper acts on $\overline{\text{INH1}}$ and $\overline{\text{INH2}}$ ; when high chopper acts on phase lines ABCD.
12	V <sub>s</sub>	5V supply input.
13	SENS <sub>2</sub>	Input for load current sense voltage from power stages of phases C and D.

## PIN FUNCTIONS - L297(continued)

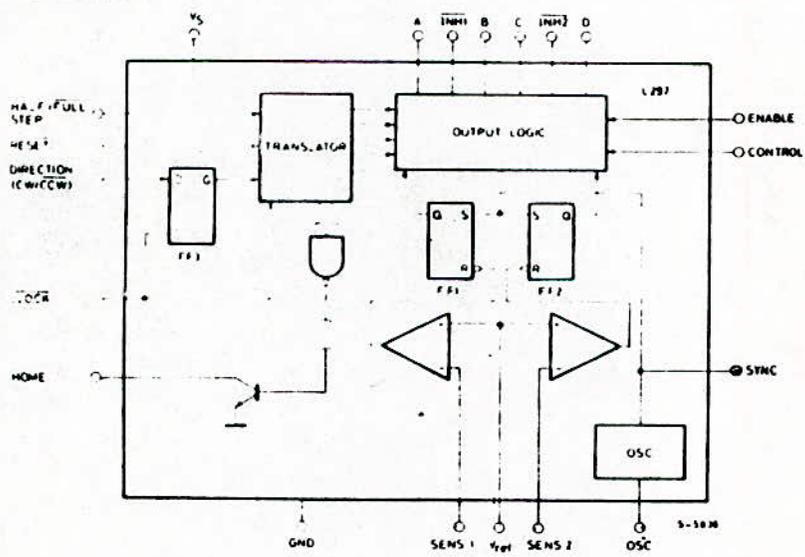
N°	NAME	FUNCTION
14	SENS <sub>1</sub>	Input for load current sense voltage from power stages of phases A and B.
15	V <sub>ref</sub>	Reference voltage for chopper circuit. A voltage applied to this pin determines the peak load current.
16	OSC	An RC network (R to V <sub>CC</sub> , C to ground) connected to this terminal determines the chopper rate. This terminal is connected to ground on all but one device in synchronized multi-L297 configurations. $f > 1/0.69 RC$ , $R > 10 k\Omega$ .
17	CW/CCW	Clockwise/counterclockwise direction control input. Physical direction of motor rotation also depends on connection of windings. Synchronized internally therefore direction can be changed at any time.
18	CLOCK	Step clock. An active low pulse on this input advances the motor one increment. The step occurs on the rising edge of this signal.
19	HALF/FULL	Half/full step select input. When high selects half step operation, when low selects full step operation. One-phase-on full step mode is obtained by selecting FULL when the L297's translator is at an even-numbered state. Two-phase-on full step mode is set by selecting FULL when the translator is at an odd-numbered position. (The home position is designated state 1).
20	$\overline{\text{RESET}}$	Reset input. An active low pulse on this input restores the translator to the home position (state 1, ABCD = 0101).

# L297 L297A

## CONNECTION DIAGRAM



## BLOCK DIAGRAM



## Power MOS Field-Effect Transistors

## N-Channel Enhancement-Mode Power Field-Effect Transistors

2.0A and 2.5A, 450V-500V

 $r_{DS(on)} = 3.0 \Omega$  and  $4.0 \Omega$ 

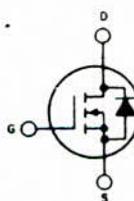
## Features:

- SOA is power-dissipation limited
- Nanosecond switching speeds
- Linear transfer characteristics
- High input impedance
- Majority carrier device

The IRF820, IRF821, IRF822 and IRF823 are n-channel enhancement-mode silicon-gate power field-effect transistors designed for applications such as switching regulators, switching converters, motor drivers, relay drivers, and drivers for high-power bipolar switching transistors requiring high speed and low gate-drive power. These types can be operated directly from integrated circuits.

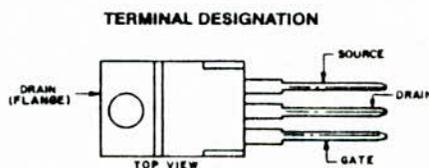
The IRF-types are supplied in the JEDEC TO-220AB plastic package.

## N-CHANNEL ENHANCEMENT MODE



82CS-33741

## TERMINAL DIAGRAM



## JEDEC TO-220AB

## Absolute Maximum Ratings

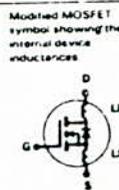
Parameter	IRF820	IRF821	IRF822	IRF823	Units
$V_{DS}$ Drain-Source Voltage (1)	500	450	500	450	V
$V_{DGR}$ Drain-Gate Voltage (R <sub>GS</sub> = 20 k $\Omega$ ) (1)	500	450	500	450	V
$I_D$ @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Continuous Drain Current	2.8	2.5	2.0	2.0	A
$I_D$ @ $T_C = 100^\circ\text{C}$ Continuous Drain Current	1.5	1.5	1.0	1.0	A
$I_{DM}$ Pulsed Drain Current (2)	10	10	8.0	8.0	A
$V_{GS}$ Gate-Source Voltage	±20				V
$P_D$ @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Max. Power Dissipation	40				W (See Fig. 14)
Linear Derating Factor	0.32				W/°C (See Fig. 14)
$I_{LM}$ Inductive Current, Clamped	10	10	8.0	8.0	A (See Fig. 15 and 16) L = 100 $\mu$ H
$T_J$ Operating Junction and Storage Temperature Range	-55 to 150				°C
$T_{stg}$ Lead Temperature	300 (0.063 in. (1.6mm) from case for 10s)				°C

Standard Power MOSFETs

IRF820, IRF821, IRF822, IRF823

Electrical Characteristics @  $T_C = 25^\circ\text{C}$  (Unless Otherwise Specified)

Parameter	Type	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
BV <sub>DSS</sub> Drain-Source Breakdown Voltage	IRF820 IRF822	500	-	-	V	V <sub>GS</sub> = 0V I <sub>D</sub> = 250 $\mu$ A
	IRF821 IRF823	450	-	-	V	
V <sub>GS(th)</sub> Gate Threshold Voltage	ALL	2.0	-	4.0	V	V <sub>DS</sub> = V <sub>GS</sub> - I <sub>D</sub> = 250 $\mu$ A
I <sub>GSS</sub> Gate-Source Leakage Forward	ALL	-	-	500	nA	V <sub>GS</sub> = 20V
I <sub>GSS</sub> Gate-Source Leakage Reverse	ALL	-	-	500	nA	V <sub>GS</sub> = -20V
I <sub>DSS</sub> Zero Gate Voltage Drain Current	ALL	-	-	250	$\mu$ A	V <sub>DS</sub> = Max. Rating V <sub>GS</sub> = 0V
				1000	$\mu$ A	V <sub>DS</sub> = Max. Rating x 0.8 V <sub>GS</sub> = 0V, T <sub>C</sub> = 125°C
I <sub>D(on)</sub> On-State Drain Current ①	IRF820 IRF821	2.5	-	-	A	V <sub>DS</sub> > I <sub>D(on)</sub> x R <sub>DS(on)</sub> max. V <sub>GS</sub> = 10V
	IRF822 IRF823	2.0	-	-	A	
R <sub>DS(on)</sub> Static Drain-Source On-State Resistance ②	IRF820 IRF821	-	2.5	3.0	$\Omega$	V <sub>GS</sub> = 10V, I <sub>D</sub> = 1.0A
	IRF822 IRF823	-	3.0	4.0	$\Omega$	
g <sub>fs</sub> Forward Transconductance ③	ALL	1.0	1.75	-	S/Ω	V <sub>DS</sub> > I <sub>D(on)</sub> x R <sub>DS(on)</sub> max. I <sub>D</sub> = 1.0A
C <sub>iss</sub> Input Capacitance	ALL	-	300	400	pF	V <sub>GS</sub> = 0V, V <sub>DS</sub> = 25V, f = 1.0 MHz See Fig. 10
C <sub>oss</sub> Output Capacitance	ALL	-	75	150	pF	
C <sub>rss</sub> Reverse Transfer Capacitance	ALL	-	20	40	pF	V <sub>DS</sub> = 0.5 BV <sub>DSS</sub> , I <sub>D</sub> = 1.0A, Z <sub>o</sub> = 50 $\Omega$ See Fig. 17
t <sub>don</sub> Turn-On Delay Time	ALL	-	30	60	ns	
t <sub>r</sub> Rise Time	ALL	-	25	50	ns	① MOSFET switching times are essentially independent of operating temperature. ②
t <sub>off</sub> Turn-Off Delay Time	ALL	-	30	60	ns	
t <sub>f</sub> Fall Time	ALL	-	15	30	ns	V <sub>GS</sub> = 10V, I <sub>D</sub> = 3.0A, V <sub>DS</sub> = 0.8 Max. Rating See Fig. 18 for test circuit. (Gate charge is essentially independent of operating temperature.)
Q <sub>g</sub> Total Gate Charge (Gate-Source Plus Gate-Drain)	ALL	-	11	15	nC	
Q <sub>gs</sub> Gate-Source Charge	ALL	-	5.0	-	nC	
Q <sub>gd</sub> Gate-Drain ("Miller") Charge	ALL	-	6.0	-	nC	
L <sub>D</sub> Internal Drain Inductance			3.5	-	nH	Measured from the contact screw on tab to center of die
	ALL		4.5	-	nH	
L <sub>S</sub> Internal Source Inductance	ALL		7.5	-	nH	Measured from the source lead, 6mm (0.25 in.) from package to source bonding pad



Thermal Resistance

R <sub>thJC</sub> Junction to Case	ALL	-	3.12	C/W	
R <sub>thCS</sub> Case to Sink	ALL	1.0	-	C/W	Mounting surface flat, smooth, and greased
R <sub>thJA</sub> Junction to Ambient	ALL	-	80	C/W	Free Air Operation

Source-Drain Diode Ratings and Characteristics

I <sub>S</sub> Continuous Source Current (Body Diode)	IRF820 IRF821	-	-	2.5	A	Modified MOSFET symbol showing the integral reverse P-N junction rectifier.
	IRF822 IRF823	-	-	2.0	A	
I <sub>SM</sub> Pulse Source Current (Body Diode) ③	IRF820 IRF821	-	-	10	A	
	IRF822 IRF823	-	-	8.0	A	
V <sub>SD</sub> Diode Forward Voltage ④	IRF820 IRF821	-	-	1.6	V	T <sub>C</sub> = 25°C, I <sub>S</sub> = 2.5A, V <sub>GS</sub> = 0V
	IRF822 IRF823	-	-	1.5	V	
t <sub>rr</sub> Reverse Recovery Time	ALL	-	800	-	ns	T <sub>J</sub> = 150°C, I <sub>F</sub> = 2.5A, dI <sub>F</sub> /dt = 100 A/ $\mu$ s
Q <sub>RR</sub> Reverse Recovered Charge	ALL	-	3.5	-	$\mu$ C	T <sub>J</sub> = 150°C, I <sub>F</sub> = 2.5A, dI <sub>F</sub> /dt = 100 A/ $\mu$ s
t <sub>on</sub> Forward Turn-on Time	ALL	Intrinsic turn-on time is negligible				Turn-on speed is substantially controlled by L <sub>S</sub> + L <sub>D</sub>

① T<sub>J</sub> = 25°C to 150°C ② Pulse Test: Pulse width < 300 $\mu$ s, Duty Cycle < 2%

③ Repetitive Rating: Pulse width limited by max. junction temperature

See Transient Thermal Impedance Curve (Fig. 5)

# IRF820, IRF821, IRF822, IRF823

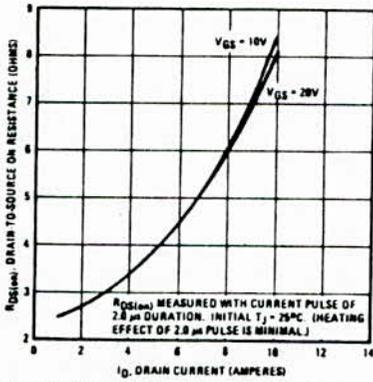


Fig. 12 - Typical On-Resistance Vs. Drain Current

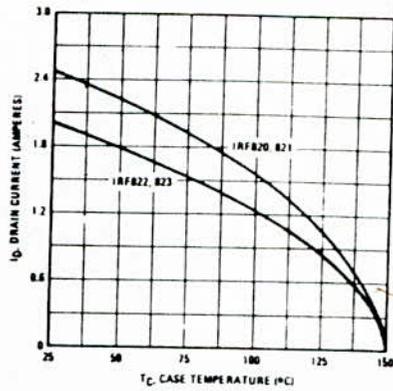


Fig. 13 - Maximum Drain Current Vs. Case Temperature

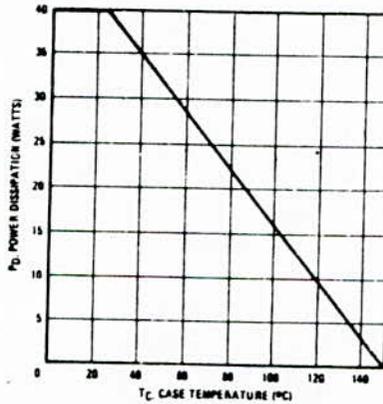


Fig. 14 - Power Vs. Temperature Derating Curve

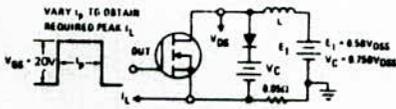


Fig. 15 - Clamped Inductive Test Circuit



Fig. 16 - Clamped Inductive Waveforms

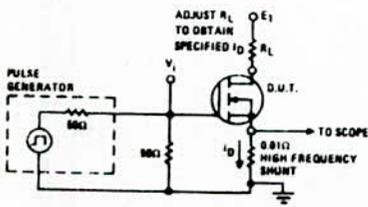


Fig. 17 - Switching Time Test Circuit

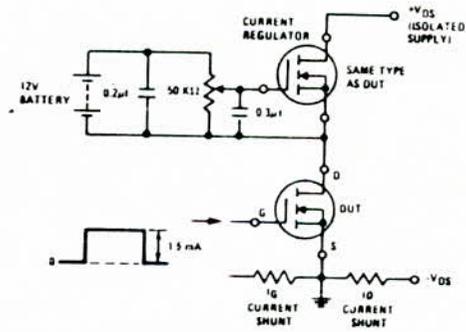


Fig. 18 - Gate Charge Test Circuit

# ***BIBLIOGRAPHIE***

BIBLIOGRAPHIE

1-ABIGNOLI. M , GOELDEL .C

" LES MOTEURS PAS A PAS" ,cours

2-CROZET. J-M

"MICROPROCESSEURS ET MICRO ORDINATEURS"

Paris:Masson 1980.

3-DARDANNE. C

"LE MICROPROCESSEUR 6809"

Paris:Eyrolles 1982

4-INTEL

" MCS<sup>R</sup>-8085 FAMILY USERS MANUEL "

Janvier 1983

5-JUFFER M

" TRANSDUCTEURS ELECTROMECHANIQUES "

2ème éd-Lausanne(Suisse) 1985

6-JUFFER. M

" ELECTROMECHANIQUE "

Paris:dunod 1979

7-LACROUX. G

" LES ACTIONNEURS ELECTRIQUES POUR LA ROBOTIQUE  
ET LES ASSERVISSEMENTS "

Paris 1985

8-NASLIN. P

" CIRCUITS LOGIQUES ET AUTOMATIQUES A SEQUENCES "

2ème éd-Paris:dunod 1965

9-MICROPROCESSOR APPLICATION TRAINER MAT 385

VOLUME 1:

" INTRODUCTION AND ASSIGNMENTS "

VOLUME 2:

" INTERFACING AND APPLICATIONS "

" PROGRAMMING TECHNIQUES "

VOLUME 3:

" INSTALLATION AND OPERATION "

VOLUME 4:

" PROGRAMMING MANUAL "

England

10-HIROYOKI MIYAMOTO

"MODELISATION ET COMMANDE OPTIMALE  
D'UN MOTEUR PAS A PAS PAR MICROPROCESSEUR"

THESE PRESENTEE A L'I.N.P.L  
pour l'obtention du titre de

DOCTEUR INGENIEUR  
spécialisé en GENI ELECTRIQUE

Lorraine 31 mai 1979

11-PREMIERES JOURNEES D'ETUDES SUR :

LES MOTEURS PAS A PAS

ET LEURS APPLICATIONS

Jeudi 21 et vendredi 22 juin 1979

E.N.S.E.M NANCY

12-M. SABRI; F. RAHOUAL

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE DIRIGE PAR  
H. SAHRAOUI pour l'obtention du titre  
INGENIORAT D'ETAT EN ELECTRONIQUE

U.S.T.H.E 1980

13-Y. AIT GOUGAM; M. MEKAOUCHA

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE présenté pour  
l'obtention du titre  
INGENIORAT D'ETAT EN ELECTRONIQUE

E.N.P Juin 1985

14-TAKASHI. KENJO

"STEPPING MOTORS AND THEIR MICROPROCESSOR CONTROLS"

OXFORD 1984

15-E. N. S. E. M

"LES MOTEURS PAS A PAS"  
"Modeles-alimentation-commande"

Mars 1981

16-ROLAND. RUBET

" LES MOTEURS PAS A PAS A AIMANTS PERMANENTS "

E. N. S. E. M : Mars 1981

16-J. M. KAUFFMANN; E. GUDEFIN

" MOTEURS PAS A PAS A RELUCTANCE VARIABLE "

E. N. S. E. M : Mars 1981

17-A. MAILFERT; S. CHARBONNIER; G. HOMBOURGER

" ETUDE D'UNTYPE DE MOTEURS HYBRIDES UTILISABLE "  
" EN FONCTIONNEMENT PAS A PAS "

E. N. S. E. M : Mars 1981

18-J. P. KELLER

"MISE EN OEUVRE DES MOTEURS PAS A PAS HYBRIDES"

E. N. S. E. M : Mars 1981