

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT : ELECTROTECHNIQUE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

ETUDE ET RÉALISATION
DE LA COMMANDE D'UN MOTEUR
A COURANT CONTINU
PAR MICROPROCESSEUR

Proposé Par :

MM. A. PODGORSKI

Z. BARSKI

Etudié par :

MM. AIT-GOUGAM Yazid

MEKAOUCHA Mohammed

Dirigé par :

MM. A. PODGORSKI

M.S. BOUCHERIT

PROMOTION : JUIN 1988

ELECTRO-TECHNIQUE

ETUDE ET RÉALISATION
DE LA COMMANDE D'UN MOTEUR
A COURANT CONTINU
PAR MICROPROCESSEUR

MM. A. PODGORSKI
Z. BARSKI

MM. AIT-GOUGAM Yazid
MEKAOUCHA Mohammed

MM. A. PODGORSKI
M.S. BOUCHERIT

JUIN 1988

EXTRA STERILIZED

Dr. J. C. Riddle

D E D I C A C E S

JE DEDIE CE MODESTE TRAVAIL à :

- Ma Grande et Mère
- Mes Deux Frères : NADJR et KRIMO

Et à tous mes Amis

MEKAOUCHA MOHAMMED

JE DEDIE CE MODESTE TRAVAIL à :

- Mes Parents
- Mes Frères et Soeurs
- Toute ma famille

Et à tous mes Amis

AJT GOUGAM YAZID

REMERCEMENTS

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

Au terme de ce travail, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à Monsieur A. PODGORSKI qui nous a constamment guidé au cours de cette étude, sans ménager ses précieux conseils et ses encouragements.

Nous exprimons notre très vive reconnaissance à Monsieur Z. BARSKI pour ses conseils et ses encouragements.

Que Monsieur M.S. BOUCHERIT trouve ici notre profonde reconnaissance pour l'aide qu'il a apporté tout au long de ce travail, sans ménager ni son temps ni ses précieux conseils.

Nous tenons à remercier tous ceux qui par une participation quelconque où une simple suggestion, nous ont aidés.

SOMMAIRE

INTRODUCTION.

CHAPITRE I : Les microprocesseurs dans la commande.

- I.1 : Introduction
- I.2 : Architecture standard d'un microprocesseur.
- I.3 : Structure d'un micro-ordinateur.
- I.4 : Fonctionnement.
- I.4.1 : Stockage de l'information.
- I.4.2 : Les entrées - sorties.
- I.5 : Rôle d'un microprocesseur dans la commande.

CHAPITRE II : Description et Modelisation du système.

- II.1 : Description du système à régler.
- II.2 : Modelisation du système à régler.
- II.3 : Caractéristiques du système à régler.
- II.3.1 : Caractéristiques électriques du moteur.
- II.3.2 : Caractéristiques mécaniques du moteur.
- II.4 : Schéma fonctionnel.
- II.5 : Le microprocesseur et ses interfaces.
- II.5.1 : Le microprocesseur.
- II.5.2 : Les interfaces.
- II.5.2.1 : Interface matériel.
- II.5.2.2 : Interface logiciel.

CHAPITRE III : Commande numérique de vitesse Par retour tachymétrique.

- III.1 : structure de la commande.
- III.1.1 : principe.
- III.2 : Analyse du système.
- III.2.1 : structure du réglage.
- III.2.2 : choix de la période d'échantillonnage.
- III.2.3 : choix et dimensionnement du régulateur.
- III.3 : étude expérimentale.
- III.3.1 : algorithme de réglage du régulateur PI.
- III.3.2 : essais.

CHAPITRE IV : Commande numérique de position

- IV.1 : structure de la commande
- IV.1.1 : principe.
- IV.2 : analyse du système.
- IV.2.1 : structure du réglage.
- IV.2.2 : choix et dimensionnement des paramètres du système.
- IV.2.2.1 : choix de la période d'échantillonnage.
- IV.2.2.2 : choix et dimensionnement du régulateur.
- IV.3 : étude expérimentale.
- IV.3.1 : Algorithme de réglage du régulateur P.D.
- IV.3.2 : essais.

CHAPITRE V : Commande numérique de position avec réaction tachymétrique.

- V.1 : structure de la commande
- V.1.1 : principe.
- V.2 : Analyse du système.
- V.3 : étude expérimentale.
- V.3.1 : algorithme de réglage
- V.3.2 : essais.

CONCLUSION.

ANNEXE.

BIBLIOGRAPHIE.

PRINCIPAUX SYMBOLES UTILISES

- A : Constante de vitesse.
- $B_o(Z)$: Fonction de transfert du bloqueur.
- C em : Couple electromagnetique.
- Cr : Couple resistant.
- $D_h(Z)$: Fonction de transfert du regulateur PI.
- $D_\theta(Z)$: Fonction de transfert du regulateur PD.
- e : Erreur de vitesse ou de position.
- E : F.C.E. M du moteur.
- $G_\Omega(s)$: Fonction de transfert relative à la vitesse.
- $G_i(s)$: Fonction de transfert du systeme continu .
- $G_\theta(s)$: Fonction de transfert relative à la position .
- $G_i(Z, \epsilon)$: Fonction de transfert du systeme échantillonné .
- $G_f(Z, \epsilon)$: Fonction de transfert du systeme échantillonné en boucle fermée .relative à la vitesse .
- $G_{io}(Z, \epsilon)$: Fonction de transfert du systeme échantillonné en B.O. relative à la vitesse
- $H_\theta(Z, \epsilon)$: Fonction de transfert du systeme échantillonné relative à la position
- \mathcal{I} : Courant d'induit du moteur
- \mathcal{J}_m : Moment d'inertie du moteur
- \mathcal{J}_d : Moment d'inertie du disque
- k_p : Coefficient proportionnel du regulateur
- k_I : Coefficient integral du regulateur PI
- k_d : Coefficient derivateur du regulateur PD
- k_{TG} : Coefficient de la contre reaction tachymetrique
- k_s : Constante de vitesse .
- k_Ω : Coefficient du regulateur PI
- k_θ : Coefficient du regulateur PD .

- k_v : Constante de vitesse relative à la position -
 k_b : constante de F.C.E.M -
 k_t : constante de couple .
 k_{amp} : Gain de l'amplificateur .
 k_g : Coefficient de conversion de la generatrice tachymetrique .
 k_e : Coefficient de conversion du potentiometré de position .
 l_a : Inductance d'inducteur .
 l_e : Inductance d'inducteur .
 N : Reducteur de vitesse .
 R_a : Resistance d'induit .
 R_e : Resistance d'inducteur .
 T : Periode d'echantillonnage .
 τ_m : Constante de temps mecanique .
 τ_v : Constante de temps mecanique reduite .
 U : Tension de sortie du convertisseur N/A .
 U_1 : Tension de commande du moteur .
 Z_m : Pole correspondant à la contante de temps mecanique .
 Ω_n : Vitesse nominale du moteur .
 Ω_m : Vitesse maximale du moteur .
 θ_c : Position de consigne .
 θ_m : Position mesurée .
 Ω_c : Vitesse de consigne .
 Ω ; Vitesse mesurée .

I N T R O D U C T I O N

L'évolution actuelle de la technologie, dans le domaine des circuits intégrés, permet d'envisager l'introduction des microprocesseurs dans la plupart des systèmes à automatiser.

Pour l'électrotechnique, de nombreux types d'asservissements sont possibles avec les machines électriques. En particulier la machine à courant continu qui a été le support de l'introduction du microprocesseur, car le moyen le plus simple de modifier sa vitesse de rotation est d'agir sur la tension d'induit en gardant constant le flux.

Inducteur .//.

L'analyse d'un système de régulation comprenant un microprocesseur nécessite l'introduction de méthodes particulières d'analyse et de synthèse du système qui tiendront compte du caractère discontinu de ce mode de réglage.

Dans cette étude, l'analyse et la synthèse du système seront menées par la transformée en Z.

Dans le premier chapitre nous traiterons les microprocesseurs et leurs applications à la commande des machines.

Le second chapitre est consacré à la description et à la modélisation du système à régler.

Dans le chapitre trois, nous faisons l'analyse et synthèse de la commande numérique de vitesse.

Nous examinons dans les chapitres quatre et cinq la commande numérique de position, sans contre réaction tachymétrique puis avec contre réaction tachymétrique.

Chaque commande étudiée à été suivie par des essais expérimentaux.

CHAPITRE I

LES MICROPROCESSEURS DANS LA COMMANDE

I - INTRODUCTION:

C'est vers 1970, que sont apparus sur le marché Américain les premiers microprocesseurs, étudiés par la société Intel sous le nom de MCS-4. Les microprocesseurs représentent une évolution aussi importante dans la conception des systèmes que l'apparition des circuits intégrés, il est curieux de constater à ce propos qu'il a fallu 4 ans à partir de la naissance des circuits intégrés pour qu'on commence à les utiliser régulièrement, et que 4 ans se sont écoulés entre l'apparition des microprocesseurs et le début de leur exploitation à l'échelle industrielle. (1)

Les applications des microprocesseurs à la commande des convertisseurs électromécaniques, peuvent se révéler aussi révolutionnaires que celles des thyristors il y'a 20 ans. Il faut s'attendre à les voir remplacer dans ce domaine d'ici peu d'années, plus au moins totalement les circuits analogiques ou logiques actuels, tout en introduisant de nouvelles fonctions, en effet, les possibilités d'une logique programmée, compétitive économiquement sont prometteuses. (2):

- amélioration des performances et de la précision;
- universalité des circuits de commande, assurée par la souplesse et la diversité du programme propre à chaque utilisation;
- réduction du nombre de composants grâce aux progrès de l'intégration permettant le remplacement des "fonctions matérielles" par les "fonctions logicielles";
- diminution des coûts par une nouvelle politique de fabrication de masse de conception, de maintenance.

En fait, cela peut entraîner une nouvelle façon d'aborder le problème de la commande des convertisseurs électromécaniques. (2).

1.2 Architecture standard d'un microprocesseur.

Un microprocesseur comprend essentiellement :

- une unité arithmétique et logique (U.A.L) qui effectue les différentes opérations arithmétiques et logiques;
- une unité de commande, qui joue le rôle d'un contrôleur et assure l'exécution correcte des instructions du microprocesseur;
- les registres, souvent utilisés pour le stockage provisoire de l'information certains ont une tâche beaucoup plus précise, comme le compteur ordinal, l'accumulateur. (fig 1).

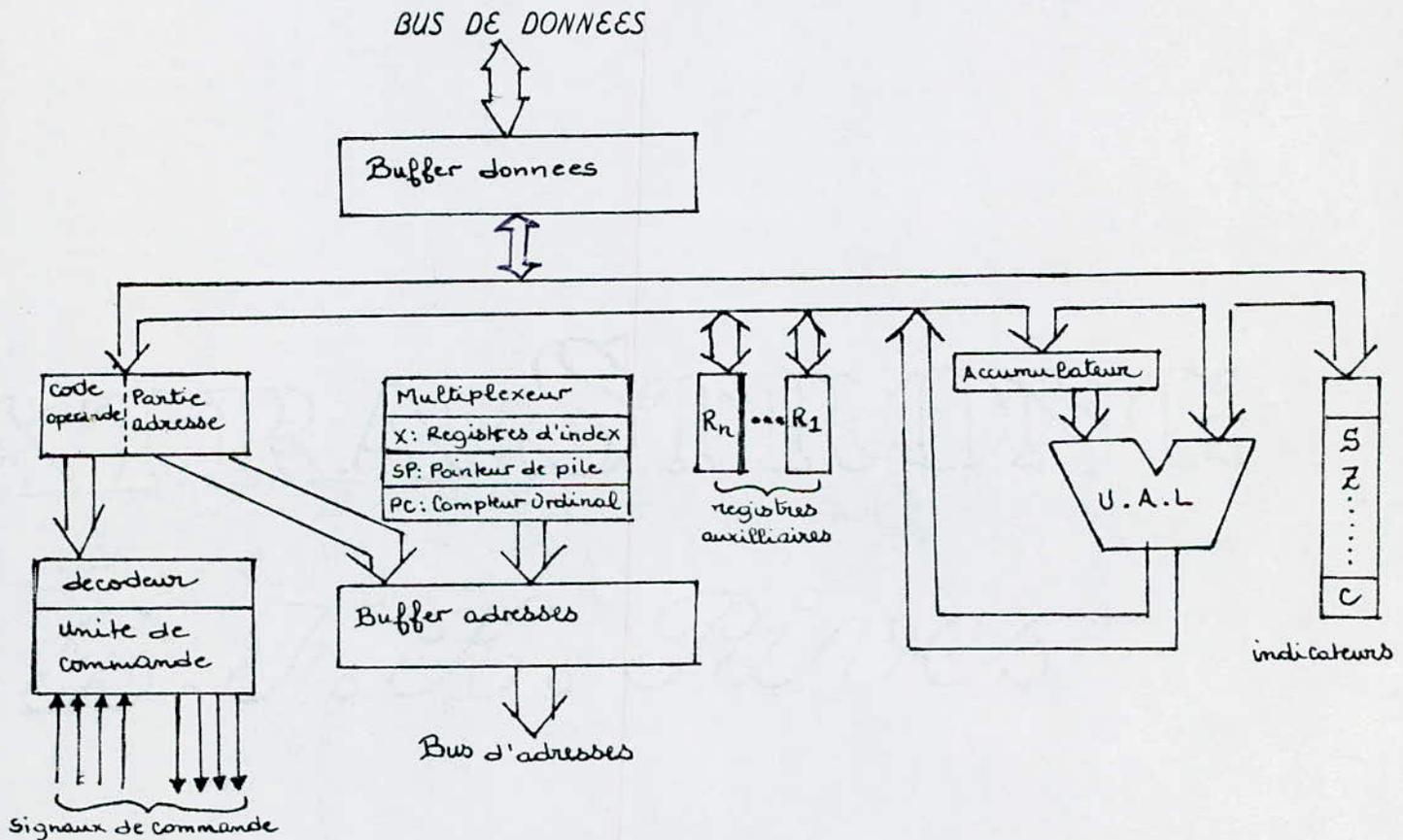


Fig. 1 Architecture Standard d'un Microprocesseur

.../...

I. 3 - STRUCTURE d'un micro-ordinateur:

Dans un micro-ordinateur, l'information numérique se présente sous la forme d'un nombre binaire de 8, 16, ou 32 bits, un "mot" constitué "physiquement" de 8, 16 ou 32 impulsions de niveau "0" ou "1", transitant simultanément sur des lignes parallèles bidirectionnelles constituant le Bus de données. Pour gérer les transferts d'informations, l'unité centrale, le micro-processeur, donne l'adresse de la position mémoire où du port d'entrée - sortie dont il veut lire le contenu où dans lequel il veut écrire un certain nombre de lignes logiques unidirectionnelles constituant le bus d'adresses. De plus, il fixe la nature du transfert par des signaux de commande de lecture ou d'écriture en mémoire ou d'entrée - sortie transitant par d'autres lignes constituant le bus de contrôle. /2/. (fig 2).

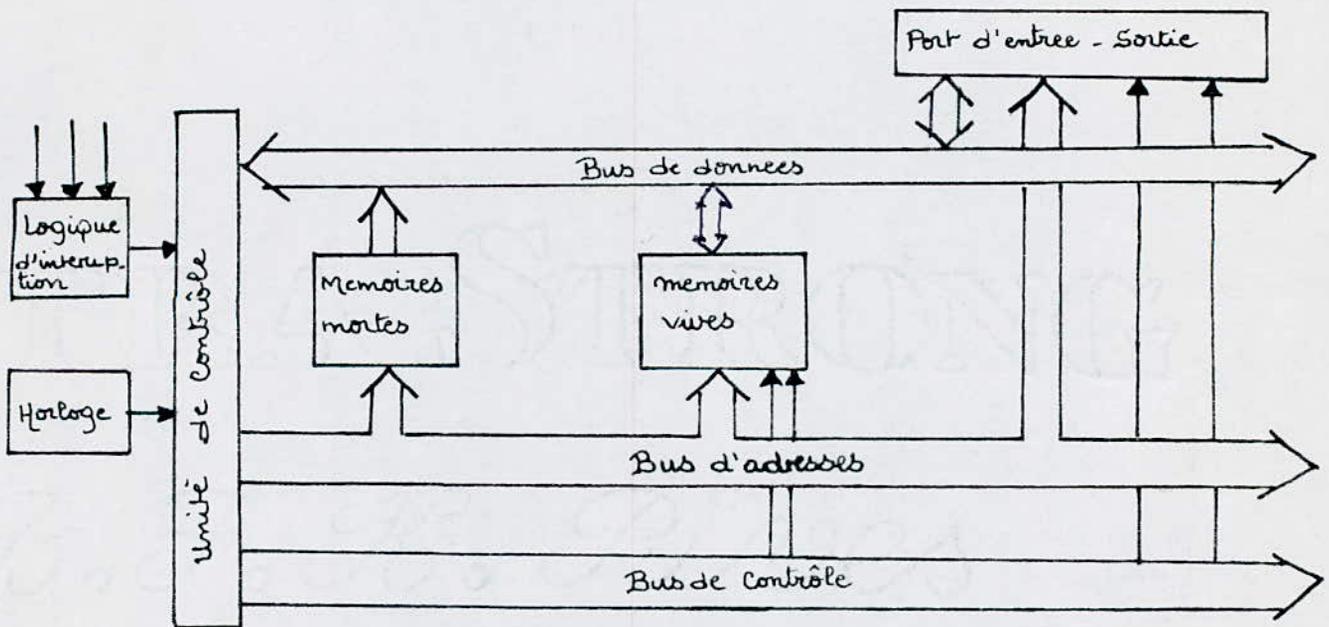


Fig 2 : Structure Schematique d'un micro-ordinateur

I. 4 - FONCTIONNEMENT :

Dans un micro-ordinateur, il y a une circulation continue d'informations numériques, cadencée par une horloge interne, entre l'unité centrale, les mémoires et les unités d'entrées-sorties réalisant la liaison avec l'extérieur. /2/.

.../...

I. 4.1. STOCKAGE DE L'INFORMATION:

On appelle l'organe où est stockée l'information, mémoire. Les mémoires existent sous de nombreux types.

On retiendra 2 types :

- Mémoire vive ; "Random access memory" ou "RAM" :
est une mémoire dans laquelle l'information peut être enregistrée et extraite à volonté, sous le contrôle du processeur via les signaux du bus de commande.
- Mémoire morte ; "Read only memory", ou (ROM) :
est une mémoire dans laquelle les informations ne peuvent être modifiées par le processeur ; on ne pourra accéder qu'à leur lecture ; l'information stockée est conservée même après la mise hors tension.

I. 4.2. LES ENTREES-SORTIES:

La liaison entre la logique programmée et le système qu'elle pilote est assurée par des circuits dits d'entrées-sorties. Dans le cas le plus simple ils assurent simplement un transfert d'information au niveau du bit ou du mot ; par exemple ils testeront sur commande du processeur l'état d'un ou plusieurs contacts de fin de course et adresseront à ce même processeur le bit témoignage de l'état ouverts ou fermés, ou alors ils transmettront un ordre de mise en marche ou d'arrêt. //.

- d'une part, elles assurent le transfert de l'information utile, pour cela elles doivent respecter les impératifs de grandeurs électriques (tension, courant, des organes en amont (processeur) et en aval (périphériques, organes de commande).
- Sélectionnent le destinataire visé :

Diverses raisons font que les organes d'entrées-sorties se voient parfois dotées de circuits en électronique câblée pour constituer l'interfaçage entre le micro-processeur et le système piloté. Parmi celles-ci on retiendra

.../...

- 1 - Pour décharger l'UC d'une tâche qui l'occuperait pendant un temps prohibitif et / ou nécessiterait un logiciel important;
- 2 - Pour exécuter des tâches exigeant un temps de réaction plus court que ce que permettrait la commande par microprocesseur, par exemple, gestion de périphériques rapides;
- 3 - Pour réaliser une adaptation efficace au phénomène à asservir, par exemple assurer conversion avec l'analogique.

1.5 - RÔLE D'UN MICROPROCESSEUR DANS LA COMMANDE DES CONVERTISSEURS ELECTROMECANIQUES:

La tendance générale à accroître le nombre de boucles d'asservissement, l'évolution normale vers une volonté d'optimisation de fonctionnement, les avantages de la technologie conduisent à utiliser un micro-ordinateur pour réaliser les différentes fonctions de la commande.

Les premières applications conduisent donc à remplacer purement et simplement tout ou partie des circuits par un micro-ordinateur en adaptant ses performances aux contraintes du système. Un certain nombre d'applications ont été déjà faites, dans lesquelles le micro-ordinateur est utilisé comme correcteur numérique (direct digit control).

Citons, parmi les plus intéressantes, des systèmes d'asservissement de vitesse de machines à courant continu alimentées à partir du réseau industriel par des ponts à thyristors tête bêche. D'autres asservissements de vitesse de machines à courant continu utilisent des hacheurs à thyristors; le micro-ordinateur peut encore être utilisé dans la commande de machines à courant alternatif, en assurant la commande d'un cycloconvertisseur alimentant un moteur à rotor bobiné. /2/

Cette énumération non limitative, montre que le microprocesseur peut déjà jouer un rôle intéressant dans la commande des convertisseurs électromécaniques en remplaçant les correcteurs classiques.

Le problème lié à sa relative lenteur imposent très souvent de réaliser certaines fonction par des circuits périphériques du micro-ordinateur. C'est le cas pour les générateurs d'impulsions de commande des convertisseurs statiques qui sont réalisés par des circuits logiques.

DESCRIPTION ET MODELISATION DU SYSTEME

Ce chapitre est consacré à la description et la modelisation du système à regler ainsi que la description du microprocesseur et ses interfaces.

II . 1 - DESCRIPTION DU SYSTEME A REGLER

Le système à regler est un moteur à courant continu de faible puissance alimenté par un amplificateur à transistors. Un étage amplificateur permet le contrôle de la puissance à l'entrée du moteur en réponse à un signal de faible niveau. (fig II . 1)

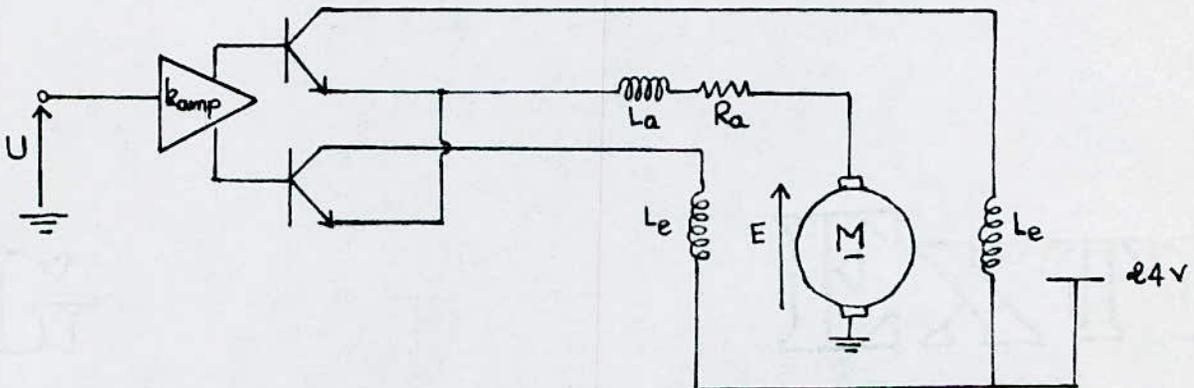


Fig II . 1 . Schema simplifié du système à régler.

II . 2 - MODELISATION DU SYSTEME A REGLER.

Le moteur à courant continu est régi par les equations suivantes :

- Equation électrique :

$$U_1 = E + R_a I + L_a \frac{dI}{dt} \quad (1)$$

- Equation mécanique :

$$C_{em} = J \frac{dn}{dt} + F n + C_r \quad (2)$$

avec :

$$U_1 = K_{amp} \cdot I \quad (3)$$

$$\mathcal{E} = K_b \cdot \omega \quad (4)$$

$$C_{em} = K_t \cdot I \quad (5)$$

II. 3 - Caractéristiques du système à régler :

Nous donnons dans ce qui suit les caractéristiques du système à régler ; (4) .

II. 3.1 - Caractéristiques électriques du moteur :

plaque signalétique :

$$P_n = 15 \text{ W}$$

$$\omega_n = 210 \text{ rd/s.}$$

- Induit :

- . TENSION NOMINALE : $U_n = 7 \text{ v}$
- . COURANT NOMINAL : $I_n = 2 \text{ A}$
- . RESISTANCE D'INDUIT : $R_a = 3.2 \Omega$
- . INDUCTANCE D'INDUIT : $L_a = 8.6 \cdot 10^{-3} \text{ H}$
- . CONSTANTE DE F.C.E.M : $K_b = 0.1 \text{ vs/rd}$

- Inducteur :

- . TENSION NOMINALE : $U_n = 24 \text{ v}$
- . RESISTANCE INDUCTEUR : $R_e = 3,5 \Omega$
- . INDUCTANCE INDUCTEUR : $L_e = 17,5 \cdot 10^{-3} \text{ H}$
- . CONSTANTE DE COUPLE : $K_t = 3.3 \cdot 10^{-3} \text{ NM A}^{-1}$

II.3.2 - CARACTERISTIQUES MECANIQUES DU MOTEUR :

- . MOMENT D'INERTIE DES MASSES TOURNANTES : $J_m = 3. \cdot 10^{-5} \text{ Kg.m}^2$
- . MOMENT D'INERTIE DU DISQUE : $J_d = 496. \cdot 10^{-6} \text{ kg.m}^2$
- . VITESSE MAXIMALE DU MOTEUR : $\omega_{max} = 500 \text{ rd/s}$
- . FACTEUR DE REDUCTION DE VITESSE : $N = 30 : 1$
- . CONSTANTE DE TEMPS MECANIQUE : $\tau_m = 0.29 \text{ s}$

.../...

II.3.3 - CARACTERISTIQUES DES ELEMENTS ASSOCIES :

- ELEMENT AMPLIFICATEUR :

$$K_{amp} = 11.2$$

- POTENTIOMETRE DE SORTIE :

. Alimentation : $U_p = \pm 12 \text{ v}$

. Resistance : $R_p = 10 \text{ k}\Omega$

. Coefficient de Conversion : $K_e = 3.82 \text{ v/rad}$

- GENERATRICE TACHYMETRIQUE :

$$K_g = 0.026 \text{ vs/rad}$$

II.4 - Schema Fonctionnel :

La transformée de la place des equations établies precedemment nous permet d'écrire :

$$I(s) = \frac{U_1(s) - k_b \Omega(s)}{R_a + L_a s} \quad (6)$$

$$\Omega(s) = \frac{k_t I(s) - C_r(s)}{J s + F} \quad (7)$$

Nous deduisons alors le schema fonctionnel suivant :

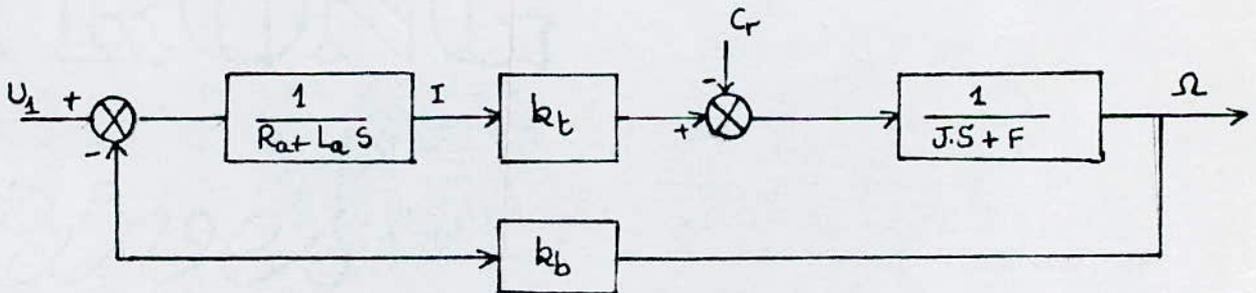


Fig II.2. Schema fonctionnel du système

Après substitution des equations (3) et (4) la fonction de transfert de la vitesse devient :

$$\Omega(s) = \frac{K_s}{1 + \tau_m s} U_1(s) - \frac{K_z}{1 + \tau_m s} C_r(s) \quad (8)$$

avec :

$$K_s = \frac{k_t}{F R_a + k_t \cdot k_b} \quad (9)$$

$$K_z = \frac{R_a}{F R_a + k_t \cdot k_b} \quad (10)$$

dans notre cas : $F \ll \frac{kt}{Ra} \frac{kb}{Ra}$

La constante de temps mecanique : $\tau_m = \frac{J Ra}{kt kb} = 0.298$

La constante de vitesse : $Ks = \frac{1}{kb} = 10 \text{ rad/v.s}$

11.5 - LE MICROPROCESSEUR ET SES INTERFACES :

11.5.1 - LE MICROPROCESSEUR :

C'est le 80 85 d'INTEL, doté d'une unité centrale de 40 broches qui traite des données de 8 bits en parallele. L'adressage des données et des composants d'entrée - sortie utilise des adresses de 16 bits, sa capacité mémoire est de 64 K octets, la structure des registres du 80 85 est présenté à la fig 11.3. Il y a un accumulateur de 8 bits, un pointeur de pile de 16 bits et un registre code condition.

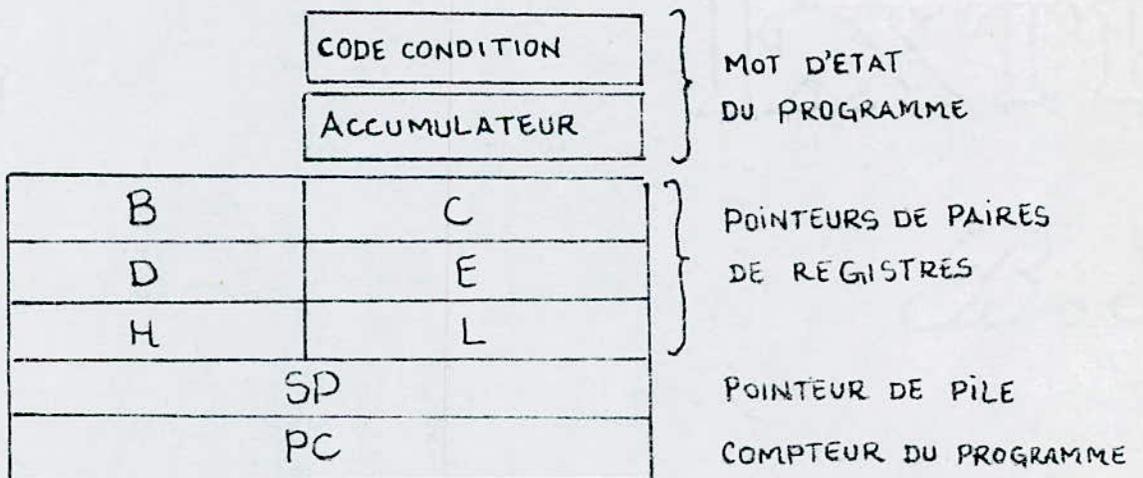


Fig 11.3. Registres du microprocesseur 80 85

11.5.2 - LES INTERFACES :

Les échanges entre le microprocesseur et un système extérieur nécessitent :

- Une partie matérielle comprenant les circuits d'interfaces;
- Une partie logicielle constituant le programme de gestion du système.

5.2.1 - INTERFACE MATERIEL :

Dans notre application différents signaux doivent être traités par le microprocesseur :

- Tension de commande;
- Tension délivrée par la génératrice tachymétrique;
- Tension délivrée par le potentiomètre de sortie.

La conversion d'un signal analogique en numérique (resp. numérique en analogique) s'effectue à l'aide d'un convertisseur analogique numérique (resp. numérique - analogique).

- Convertisseur analogique numérique :

Un circuit électronique permettant de traduire en binaire ou en BCD une tension analogique.

- Convertisseur numérique analogique :

Un circuit électronique permettant de convertir un nombre binaire ou BCD en une tension analogique.

Les caractéristiques des convertisseurs sont les suivantes :

- . TENSION BIPOLAIRE : ± 12 v
- . RESISTANCE : 100 k Ω
- . COURANT : 5 mA

On a pour :

FFH: +10 v

80H: 0 v

00H: -10 v

5.2.2 - INTERFACE LOGICIEL :

Les signaux d'entrée (vitesse, position) nécessitent d'une part des signaux de contrôle (ordre de conversion, fin de conversion) d'autre part la lecture où l'écriture des données est effectuée grâce à des instructions spécialisées (IN , OUT).

COMMANDE NUMERIQUE

de vitesse par retour tachymetrique.

III . 1 - STRUCTURE DE LA COMMANDE

III . 1.1 - PRINCIPLE :

La régulation de vitesse du moteur à courant continu est faite par variation de la tension d'induit.

La mesure de vitesse est effectuée grâce à une génératrice tachymétrique montée en bout d'arbre.

L'information "vitesse" est traduite en numérique par l'intermédiaire d'un convertisseur analogique-numérique, puis lue par le microprocesseur, ce dernier calcule ensuite l'écart avec la vitesse de consigne.

Après correction effectuée par le programme, le microprocesseur génère le signal de sortie sous forme numérique. Après transformation du signal en analogique par l'intermédiaire du convertisseur numérique-analogique, il est amplifié, puis envoyé au moteur.

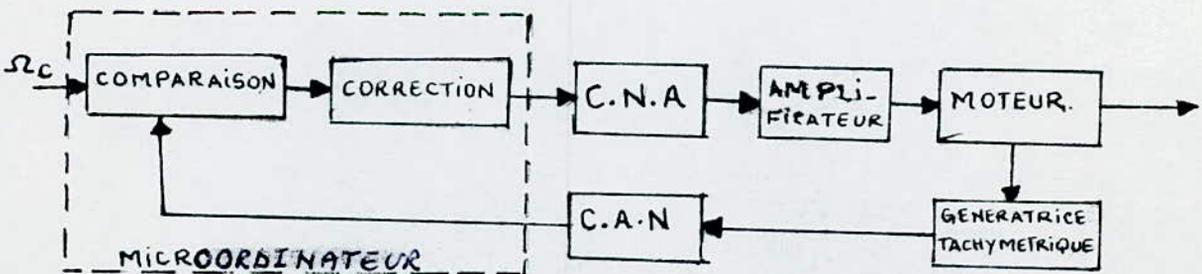


Fig III . 1 Schema de Principe

III . 2 - Analyse du Système:

Le caractère échantillonné de l'information introduit par le microprocesseur nécessite l'utilisation de méthodes d'étude particulières pour l'analyse de la commande. (3)

Dans ce qui suit, l'étude du système à régler sera traitée par la transformée en Z.

III .2.1 - STRUCTURE DE REGLAGE:

Le schéma fonctionnel du système est:

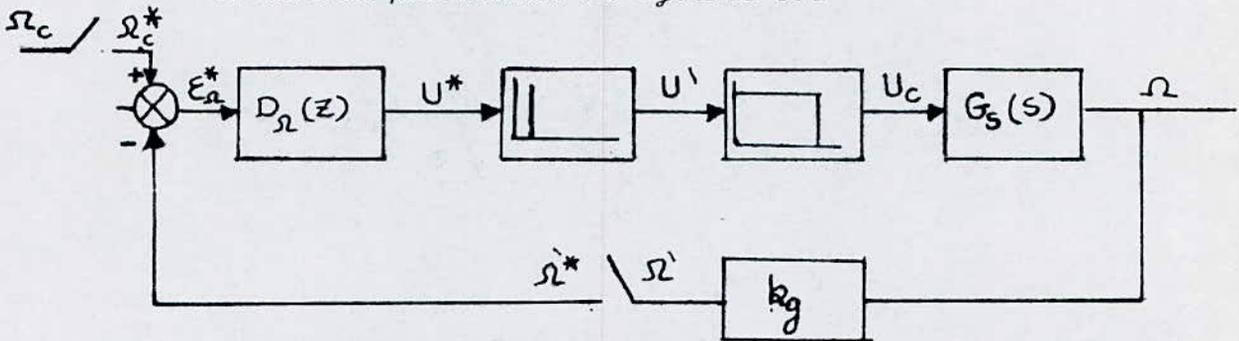


Fig III . 2- Structure de réglage échantillonné

- La fonction de transfert du système à régler :

$$G_S(s) = \frac{K}{1 + \tau_m \cdot s}$$

- La fonction de transfert du bloqueur. /3/ :

$$B_0(s) = \frac{1 - e^{-sT}}{s}$$

- La fonction de transfert du circuit de réglage :

$$G_i(s) = \frac{K}{1 + \tau_m s} B_0(s) \quad (13)$$

- Le passage à la transformée en Z nous permet d'écrire.

$$G_i(Z, \epsilon) = K \frac{(1 - e^{-\epsilon T / \tau_m}) Z + (e^{-\epsilon T / \tau_m} - e^{-T / \tau_m})}{Z - e^{-T / \tau_m}} \quad (14)$$

posons :

$$Z_m = e^{-T / \tau_m} \quad (15)$$

$$D_1(\epsilon) = 1 - Z_m^\epsilon \quad (16)$$

$$D_0(\epsilon) = Z_m^\epsilon - Z_m \quad (17)$$

L'équation (14) devient :

$$G_i(Z, \varepsilon) = K \frac{D_1(\varepsilon) Z + D_0(\varepsilon)}{Z - Z_m} \quad (18)$$

La fonction de transfert du circuit de réglage en boucle ouverte :

$$G_o(Z, \varepsilon) = D_{\Omega}(Z) \cdot G_i(Z, \varepsilon) \quad (19)$$

La fonction de transfert du circuit de réglage fermé.

$$G_f(Z, \varepsilon) = \frac{G_o(Z, \varepsilon)}{1 + k_g \cdot G_o(Z, \varepsilon)} \quad (20)$$

III .2.2 - CHOIX DE LA PERIODE D'ECHANTILLONNAGE:

Le choix de la période d'échantillonnage est basé sur le théorème de Shannon qui s'énonce comme suit :

La pulsation d'échantillonnage $\omega = \frac{2\pi}{T}$ est au moins deux fois plus grande que la plus grande des pulsations du système à échantillonner.

La seule constante de temps dominante est la constante de temps mécanique (τ_m) On a :

$$T \leq \frac{\tau_m}{2} ; \text{ on choisit } T = 0.1 \text{ S}$$

La mesure du temps de calcul du programme de régulation s'avère nécessaire quant à son influence sur la stabilité du système et son ordre de grandeur par rapport à la période d'échantillonnage.

Cependant une mesure avait été faite dans ce but, le temps de calcul vaut :

$$E_t = 5 \text{ ms}$$

Ce dernier étant négligeable devant la période d'échantillonnage, il n'a pas été pris en considération dans l'analyse et la synthèse de notre système.

.../...

III.2.3- Choix et dimensionnement du régulateur.

Le choix et le dimensionnement du régulateur repose sur :

- La compensation des pôles dominants du système à régler par les zéros du régulateur;
- L'annulation de l'écart de réglage en régime établi.

Pour annuler l'écart de réglage, le régulateur doit avoir un comportement intégral puisque notre système n'en possède pas.

Le régulateur ainsi choisi est un proportionnel intégral.

La fonction de transfert du régulateur est :

$$D_{\Omega}(Z) = \frac{S(Z)}{R(Z)} \quad (21)$$

avec :

$$S(Z) = b_1 Z + b_0 \quad (22)$$

$$R(Z) = Z - 1 \quad (23)$$

on tire :

$$b_1 = k_{\Omega} \quad (24)$$

$$b_0 = k_{\Omega} \cdot Z_m \quad (25)$$

k_{Ω} : coefficient du régulateur PI

Le coefficient proportionnel du régulateur PI est : $k_p = k_{\Omega} \cdot Z_m$ (26)

Le coefficient intégral du régulateur PI est : $k_i = k_{\Omega} (1 - Z_m)$ (27)

La détermination du coefficient du régulateur PI est basée sur la connaissance de l'équation caractéristique du système :

La fonction de transfert en boucle ouverte :

$$G_0(Z, \varepsilon) = k_{\Omega} \frac{Z - Z_m}{Z - 1} \cdot K \cdot \frac{D_1(\varepsilon) \cdot Z + D_0(\varepsilon)}{Z - Z_m} \quad (28)$$

L'équation caractéristique devient :

$$1 + G_0(Z, 0) = 0. \quad (29)$$

.../...

avec:

$$D_1(0) = 0 \quad (30)$$

$$D_0(0) = 0.29 \quad (31)$$

Par la méthode de la marge de phase on détermine le coefficient k_{Ω} du régulateur PI. La réponse harmonique. (fig JJJ. 3), a pour expression analytique :

$$F(Z) = \frac{0.29 \cdot K}{Z - 1} \quad (32)$$

avec :

$$Z = \cos \Omega + j \sin \Omega \quad (33)$$

$$K = k_{amp} \cdot k_s \cdot k_g \quad (34)$$

Pour une marge de gain : $G_m = 0.43 \quad (35)$

et une marge de phase $\varphi_m = 60^\circ \quad (36)$

On trouve :

$$k_{\Omega} = 1.18$$

$$k_p = 0.835$$

$$k_I = 0.344$$

JJJ . 3 - Etude expérimentale

Pour l'étude expérimentale, nous avons réalisé le schéma suivant :

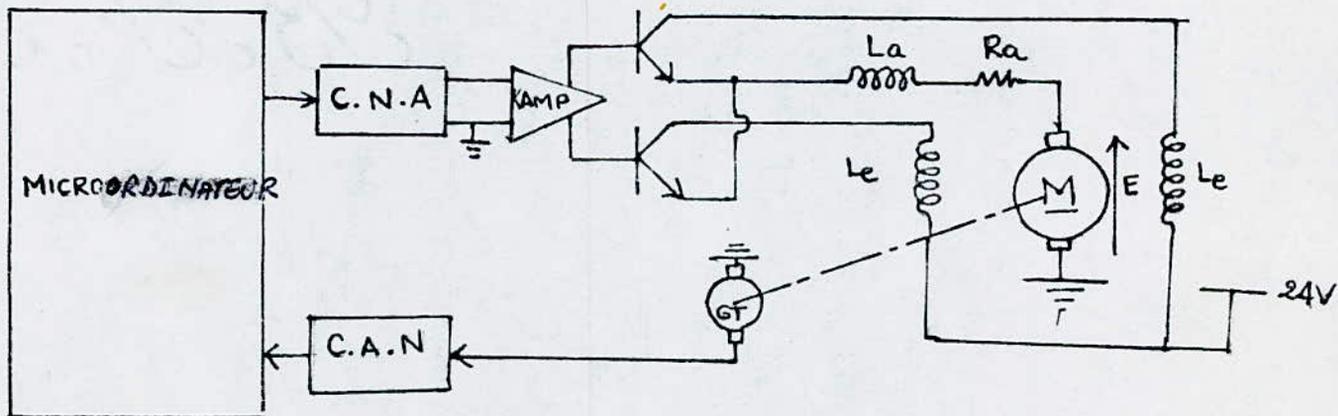


Fig JJJ . 4 - schéma de la commande

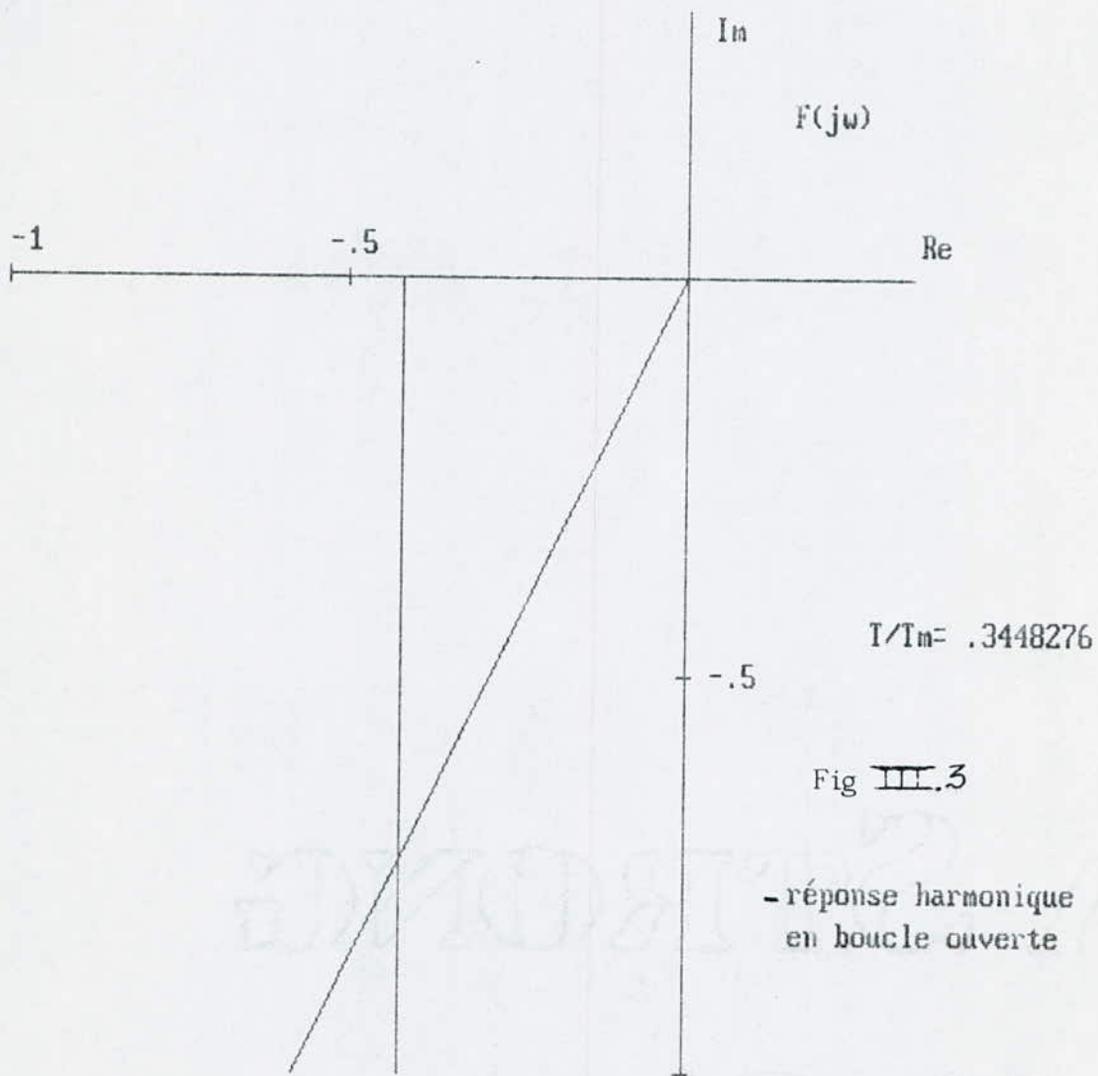


Fig III.3

- réponse harmonique
 en boucle ouverte

III . 3 . 1 - Algorithme de réglage du régulateur PI :

L'algorithme de réglage du régulateur PI est donné par les équations suivantes ./3/ :

$$u : = x + (k_p + k_I) \cdot e$$

sortir U

$$x : = x + k_I \cdot e$$

A partir de cet algorithme, nous avons élaboré l'organigramme permettant la commande du système.

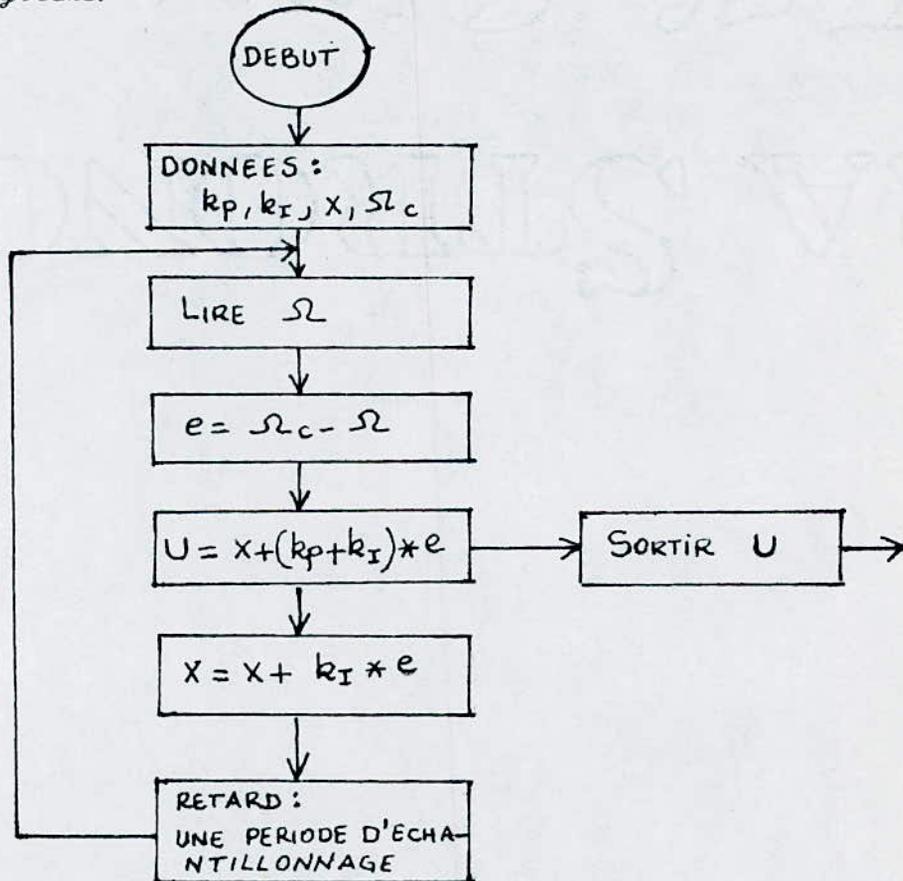


Fig. III . 5 - organigramme de la commande de vitesse

(*) Le programme correspondant est donné en annexe.

.../...

III . 3.2 - ESSAIS :

Les valeurs expérimentales du régulateur PI sont :

$$k_{\Omega} = 1,1$$

$$k_I = 0,3$$

On constate que ces valeurs sont légèrement différentes de celles déterminées théoriquement et sont dues aux approximations qui ont été faites lors de cette étude.

Lors de nos essais, nous avons effectué le relevé des réponses du système à un échelon de vitesse.

Les essais expérimentaux ont donné les résultats suivants :

- la réponse de la vitesse à un échelon de consigne. (fig III . 6);
- la réponse de courant à un échelon de consigne. (fig III .7);
- la réponse de la tension de commande à un échelon de consigne. (fig. III.8).

Des résultats pratiques donnés par les figures mentionnées ci-dessus nous tirons les performances du système.

- le dépassement est de 9% ;
- le temps de montée est de 0,2s ;
- le temps de réponse est de 1s.

Il apparaît de ces résultats que les performances du système sont acceptables.

Afin de voir le comportement du système sous l'influence d'un couple résistant, l'application d'une perturbation nécessitait une limitation de courant, cependant sur une grande plage de variation, la vitesse était rigoureusement constante.

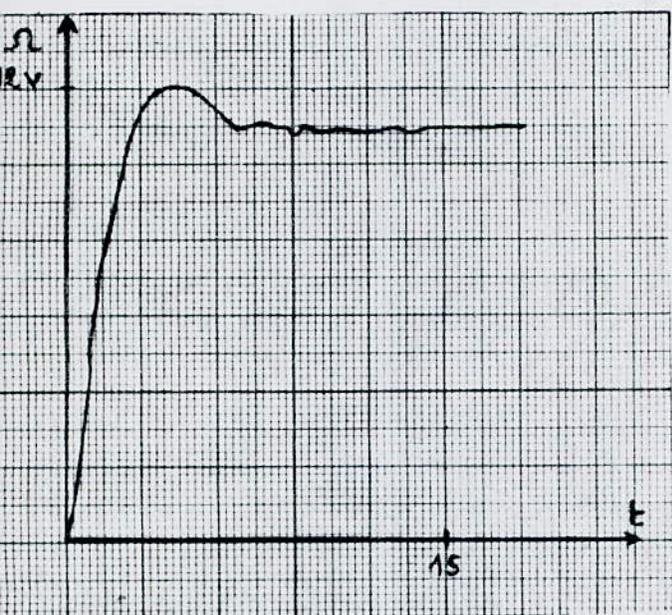


Fig III.6 - REPONSE DE VITESSE POUR
UN ECHELON DE CONSIGNE

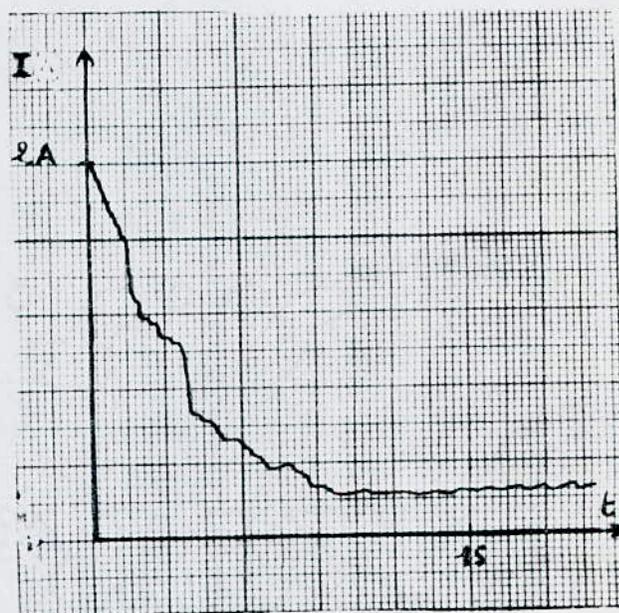


Fig III.7 - REPONSE DE COURANT POUR
UN ECHELON DE CONSIGNE

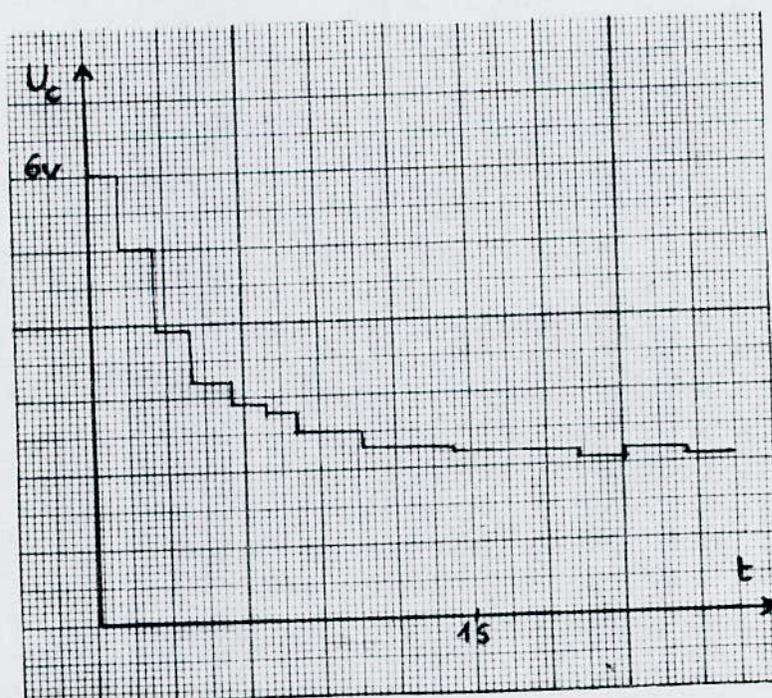


Fig.III.8 - REPONSE DE LA TENSION DE COMMANDE POUR
UN ECHELON DE CONSIGNE .

CHAPITRE IV

COMMANDE NUMERIQUE DE POSITION

IV .1- STRUCTURE DE LA COMMANDE:

IV .1.1- Principe :

Un potentiometre fournit l'information "position", celle-ci est lue par le microprocesseur, apres conversion en numerique par l'intermediaire d'un convertisseur analogique-numerique. Cette information "position" est comparee a la valeur de consigne, puis apres correction, le microprocesseur delivre le signal de commande sur le port de sortie.

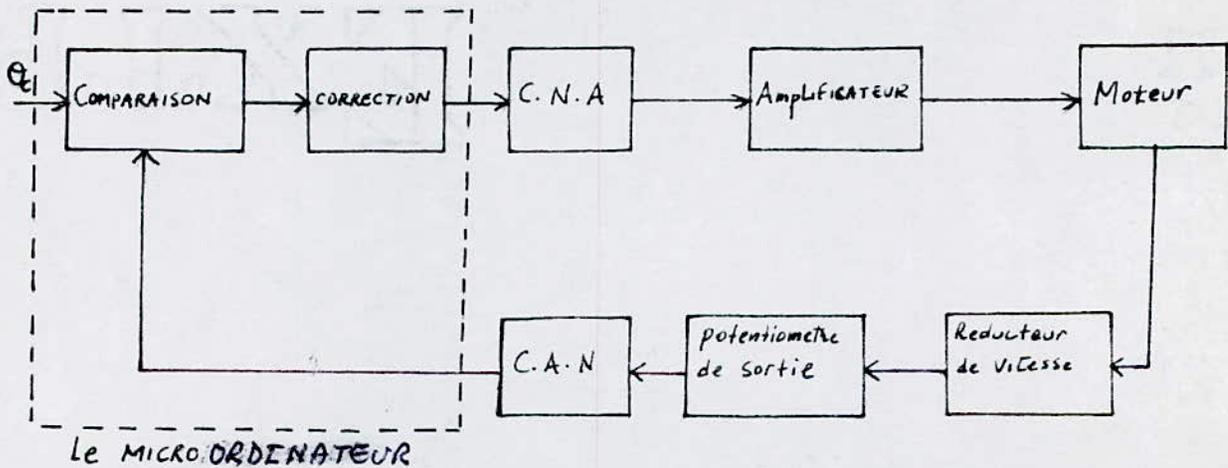


Fig IV . 1 - schéma de principe.

V. 2- ANALYSE DU SYSTEME:

Equations du système à régler:

- Equation électrique :

$$U = E + R_a I + L_a \frac{dI}{dt} \quad (37)$$

- Equation mécanique :

$$\therefore C_{em} = J \frac{d\Omega}{dt} + F\Omega + C_f/N \quad (38)$$

La transformée de la place des equations

$$U(s) = K_b \Omega(s) + (L_a s + R_a) I(s) \quad (39)$$

$$K_t I(s) = (J s + F) \Omega(s) + C_r(s)/N \quad (40)$$

Ces deux equations nous permettent d'établir le diagramme structurel suivant :

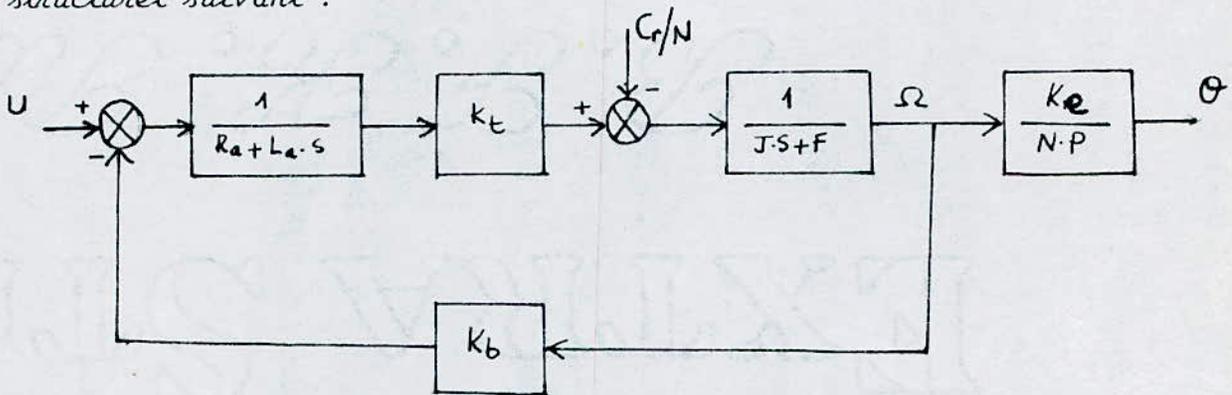


Fig IV .2. DIAGRAMME STRUCTUREL

La fonction à transfert de la vitesse relative à l'entrée principale devient :

$$H_{\Omega}(s) = \frac{K_s}{1 + \tau_m s} \quad (41)$$

avec :

$$K_s = \frac{K_t}{F R_a + K_t \cdot K_b} \quad (42)$$

$$\tau_m = \frac{J R_a}{F R_a + K_t \cdot K_b} \quad (43)$$

La fonction de transfert de position relative à l'entrée principale:

$$H_{\theta}(s) = \frac{K_s \cdot K_e / N}{(1 + \tau_m s)} \quad (44)$$

.../...

IV . 2.1 - STRUCTURE DE REGLAGE

Schéma global du système :

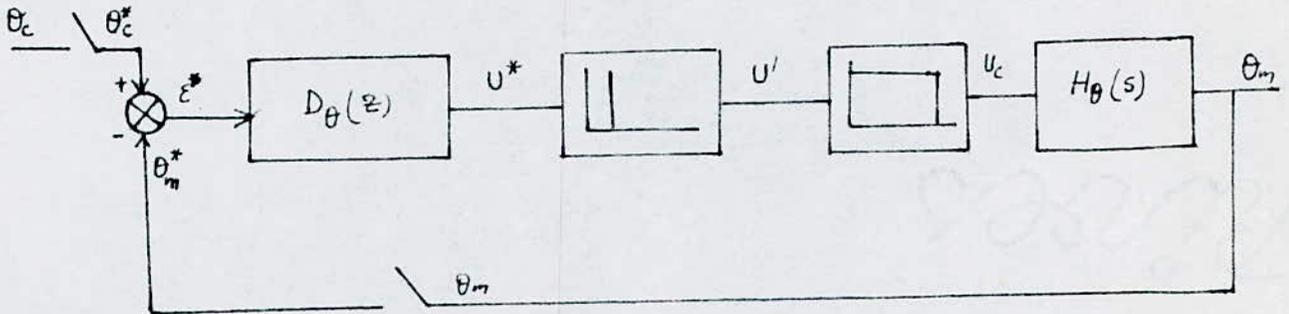


Fig IV . 3 STRUCTURE DU REGLAGE ECHANTILLONNE

IV . 2.2 - CHOIX ET DIMENSIONNEMENT DES PARAMETRES DU SYSTEME

Dans la pratique, on ne s'intéresse pas uniquement à la stabilité du système à régler mais aussi à la finesse de réglage et le bon amortissement des phénomènes transitoires (temps de réponse minimal, écart plus faible possible).

IV . 2.2.1 - CHOIX DE LA PERIODE D'ECHANTILLONNAGE :

Le choix de la période d'échantillonnage repose sur le théorème de Shannon mentionné précédemment.

La période d'échantillonnage choisie :

$$T = 0.1 \text{ s}$$

Le temps de calcul $E_r = 4 \text{ ms}$

IV . 2.2.2 - CHOIX ET DIMENSIONNEMENT DU REGULATEUR :

Le système à régler possède une intégration, il n'est pas nécessaire que le régulateur en possède une seconde, d'où le choix d'un régulateur proportionnel dérivateur.

.../...

La fonction de transfert du système à régler :

$$H_o(s) = \frac{k}{s(1 + \tau_m \cdot s)} \quad (45)$$

$$k = k_s \cdot k_{amp} \cdot k_e / N \quad (46)$$

$$k = 14.26$$

La fonction de transfert du bloqueur/3/ :

$$B_o(s) = \frac{1 - e^{-st}}{s} \quad (47)$$

La transformée en Z appliquée à la fonction de transfert du système.

$$H(Z, \varepsilon) = \frac{Z-1}{Z} \cdot k \cdot \left[\frac{T \cdot Z}{(Z-1)^2} (\varepsilon Z + (1-\varepsilon)) - \frac{\tau_m \cdot Z}{Z-1} + \frac{\tau_m \cdot Z}{Z-Z_m} e^{-\varepsilon T / \tau_m} \right] \quad (48)$$

Cette equation peut être écrite sous la forme :

$$H(Z, \varepsilon) = \frac{Q(Z, \varepsilon)}{P(Z)} \quad (49)$$

avec :

$$Q(Z, \varepsilon) = D_2(\varepsilon) \cdot Z^2 + D_1(\varepsilon) \cdot Z + D_0(\varepsilon) \quad (50)$$

$$P(Z) = (Z-1)(Z-Z_m) \quad (51)$$

$$Z_m = e^{-T/\tau_m} \quad (52)$$

$$\approx 0.708$$

$$D_2(\varepsilon) = k \cdot T \cdot \varepsilon - k \tau_m (1 - Z_m^\varepsilon) \quad (53)$$

$$D_1(\varepsilon) = (1 - \varepsilon(1 + Z_m)) \cdot k \cdot T + k \tau_m (1 + Z_m - 2 Z_m^\varepsilon) \quad (54)$$

$$D_0(\varepsilon) = k \tau_m (Z_m^\varepsilon - Z_m) - (1 - \varepsilon) \cdot k \cdot T \cdot Z_m \quad (55)$$

La fonction de transfert du régulateur P.D est :

$$D_\theta(Z) = k_p + k_d \cdot \frac{Z-1}{Z} \quad (56)$$

$$\text{où alors } D_\theta(Z) = \frac{S(Z)}{R(Z)} \quad (57)$$

avec :

$$S(Z) = b_1 Z + b_0 \quad (158)$$

$$R(Z) = Z \quad (159)$$

$$b_1 = kp + kd \quad (160)$$

$$b_0 = -kd \quad (161)$$

Pour compenser le pôle dominant du système à régler il faut que :

$$S(Z) = k_0 p^1(Z) \quad (162)$$

$$p^1(Z) = Z - Z_m \quad (163)$$

$$p(Z) = (Z-1) p^1(Z) \quad (164)$$

On tire alors :

$$kp = k_0 (1 - Z_m) \quad (165)$$

$$kd = k_0 Z_m \quad (166)$$

La fonction de transfert du système en boucle ouverte.

$$H_\theta(Z, \varepsilon) = D_\theta(Z) \cdot H(Z, \varepsilon) \quad (167)$$

ou

$$H_\theta(Z, \varepsilon) = k_\theta \frac{Q(Z, \varepsilon)}{Z(Z-1)} \quad (168)$$

L'équation caractéristique devient :

$$1 + H_\theta(Z, 0) = 0 \quad (169)$$

soit

$$1 + k_\theta \frac{Q(Z, 0)}{Z(Z-1)} = 0 \quad (170)$$

avec :

$$Q(Z, 0) = D_2(0) Z^2 + D_1(0) Z + D_0(0) \quad (171)$$

$$D_2(0) = 0 \quad (172)$$

$$D_1(0) = 0.217 \quad (173)$$

$$D_0(0) = 0.195 \quad (174)$$

.../...

Dimensionner le régulateur proportionnel dérivateur revient à déterminer le coefficient k_{θ} , on utilise pour cela la méthode de la marge de phase (fig. IV.4).

Pour une marge de phase $\varphi_M = 60^\circ$ et une marge de gain $G_M = 0,27$ le coefficient du régulateur vaut :

$$k_{\theta} = 1,35$$

d'où

$$k_p = 0,39$$

$$k_d = 0,95$$

IV.3 - ETUDE EXPERIMENTALE :

Pour l'étude expérimentale nous avons réalisé le schéma suivant :

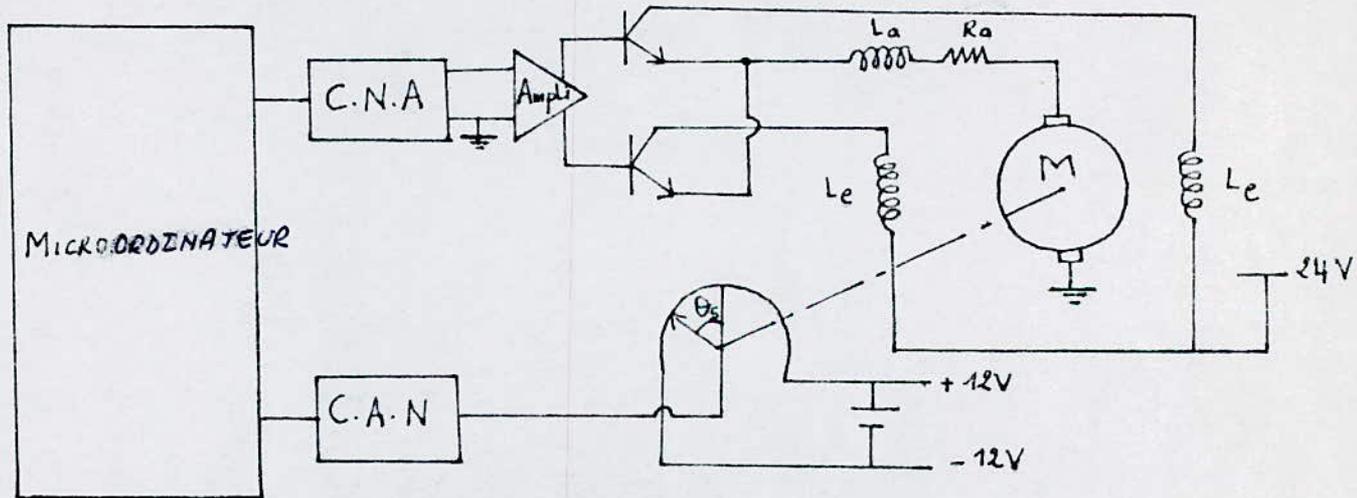


Fig IV.5 Schema de la commande.

IV.3.1 - ALGORITHME DE REGLAGE DU REGULATEUR PD :

Il est donné par les équations suivantes./3/:

$$\Delta U := (k_p + k_d) \cdot e - k_d \cdot e_{-1}$$

sortir Δu

$$e_{-1} := e$$

A partir de cet algorithme, nous avons élaboré l'organigramme de la commande numérique de position.

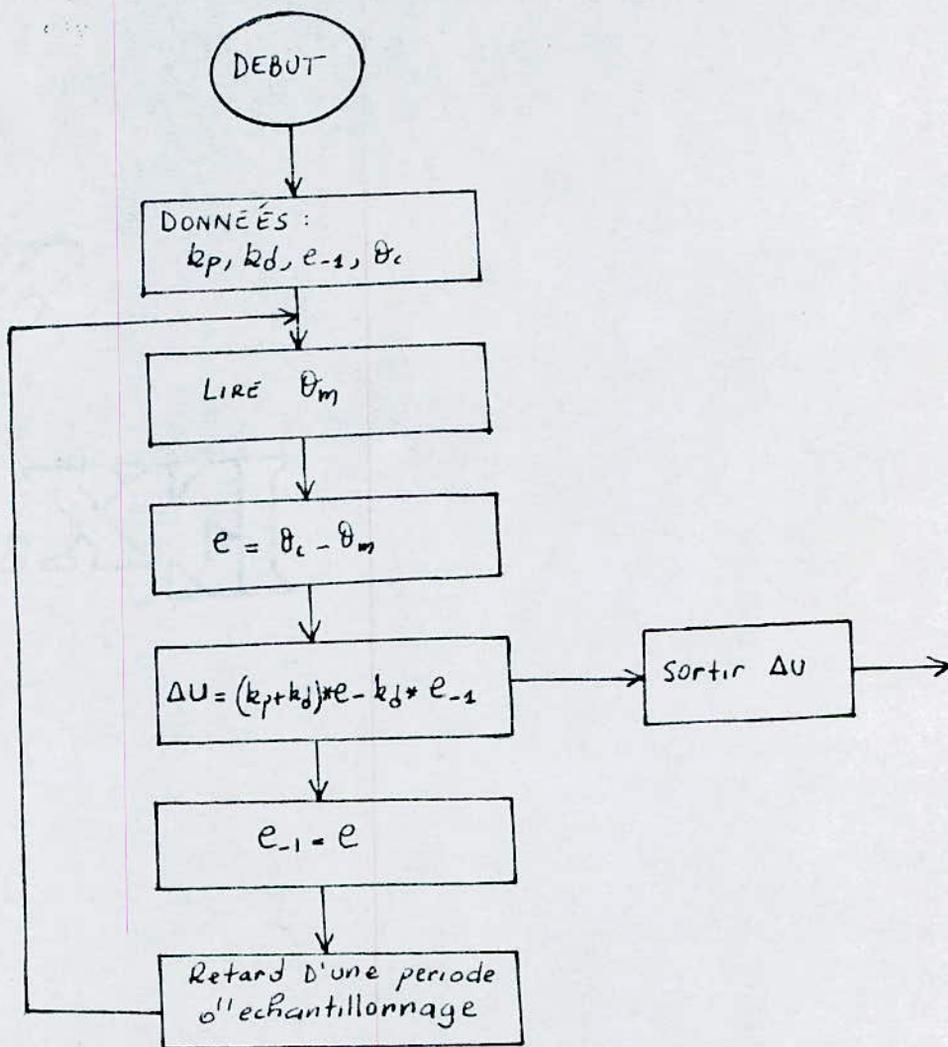


Fig. IV.6. Organigramme de la commande de position avec régulateur PD

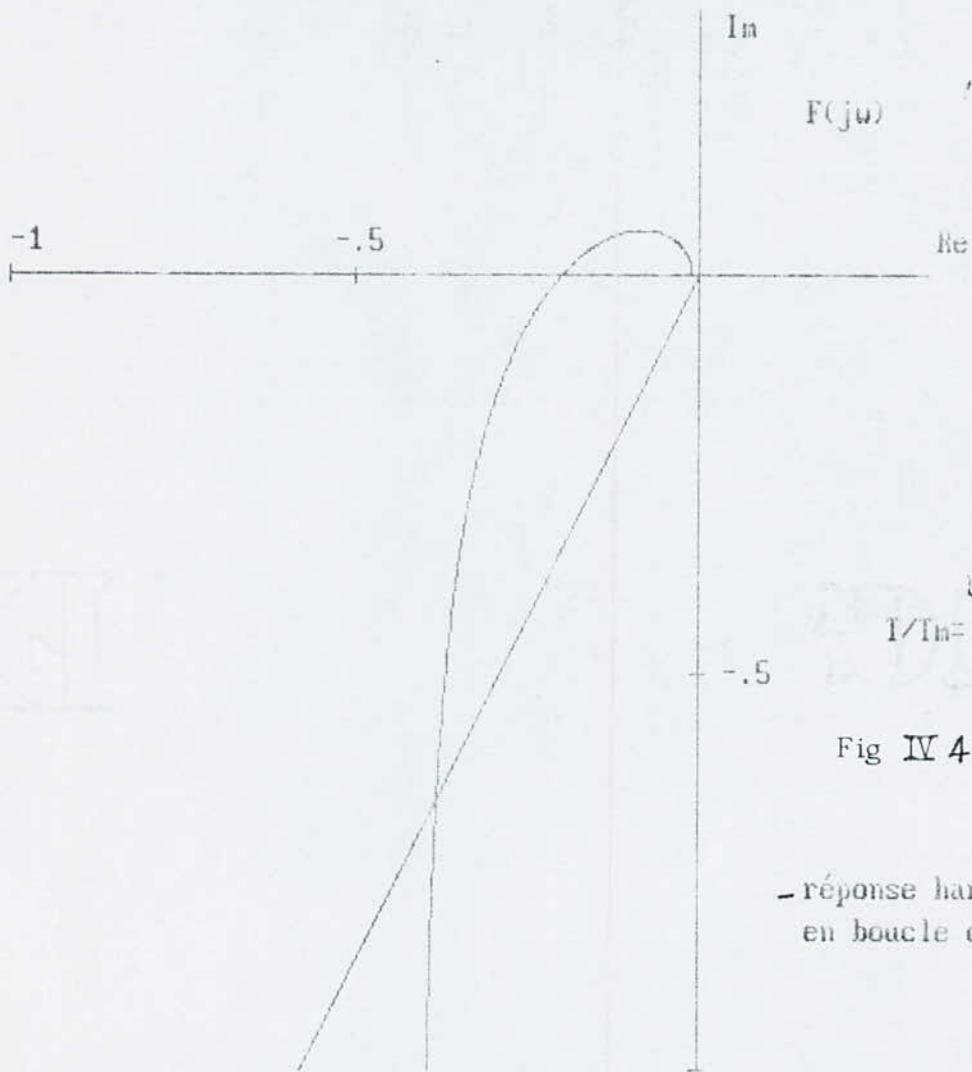
(*) : Le programme correspondant est donné en annexe.

V.3.2 - Essais :

Les coefficients du régulateur PD obtenus par voie expérimentale sont les suivants :

$$k_e = 1,1$$

$$k_d = 0,7$$



$$1/T_m = .3446276$$

Fig IV 4

- réponse harmonique
 en boucle ouverte

La différence qui existe entre ces valeurs et celles déterminées théoriquement est due aux approximations dans l'étude théorique du système.

Les essais effectués, nous ont permis de relever les réponses du système à un échelon de position.

les essais expérimentaux ont donné les résultats suivants :

- la réponse de position à un échelon de consigne. (fig IV .7)
- la réponse de vitesse à un échelon de consigne. (fig IV .8)
- la réponse de courant à un échelon de consigne. (fig IV .9)
- la réponse de la tension de commande à un échelon de consigne. (fig IV . 10)

Les performances du système, sont tirées par les résultats pratiques données ci-dessus.

- le dépassement est de 7%
- le temps de montée est de 0,25 s
- le temps de réponse est de 0,8 s

ainsi, il apparaît de ces résultats que les performances du système sont acceptables.

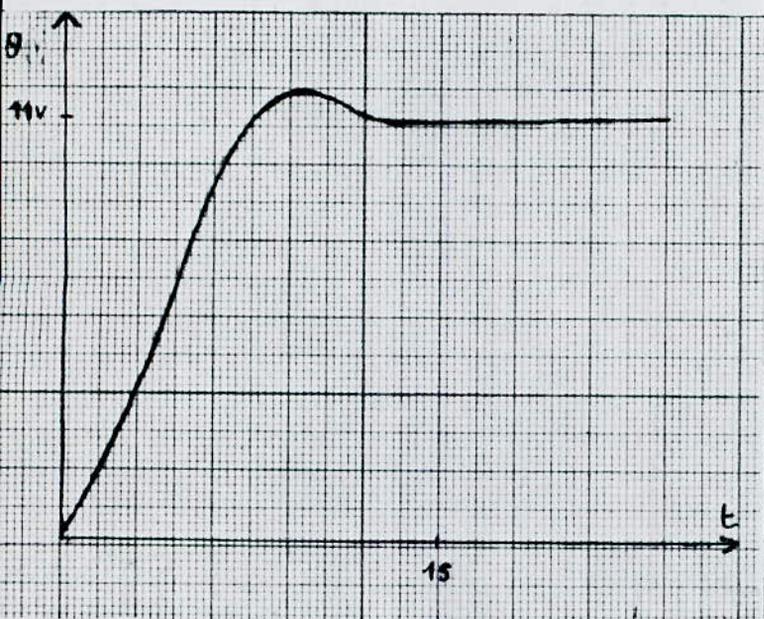


Fig. IV.7-REPOSE DE POSITION POUR UN ECHELON DE CONSIGNE

Fig.IV.9-REPOSE DE COURANT POUR UN ECHELON DE CONSIGNE

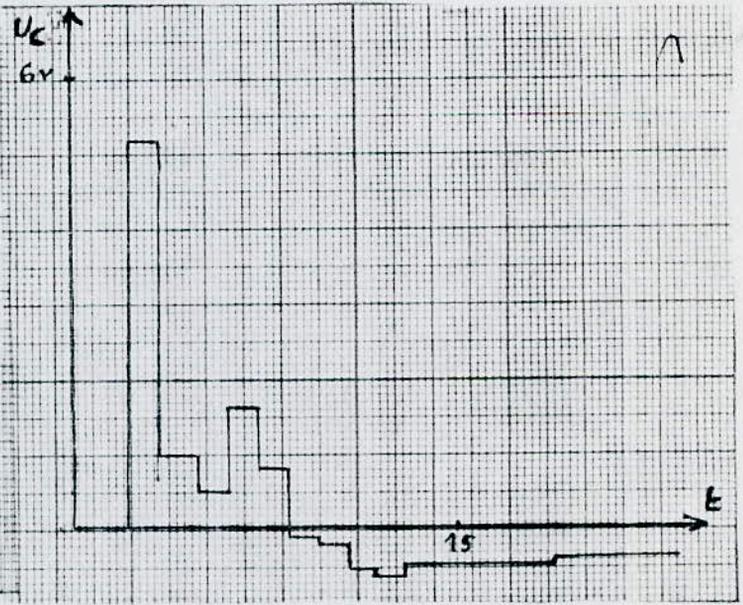
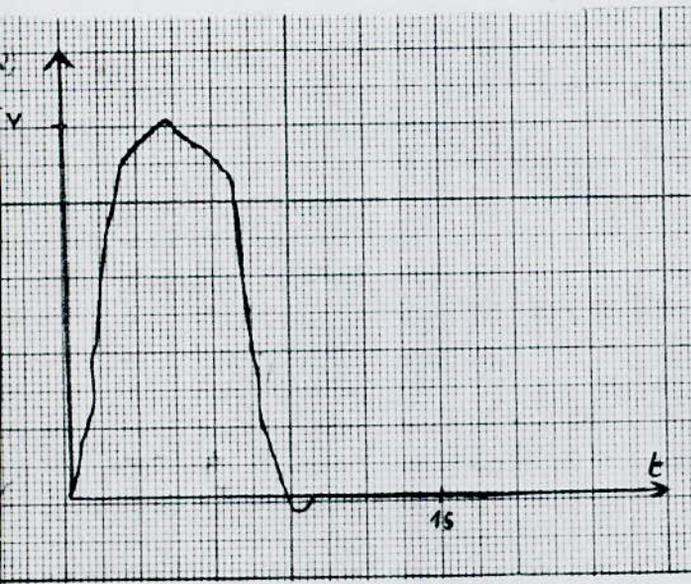


Fig IV.8-REPOSE DE VITESSE POUR UN ECHELON DE CONSIGNE

Fig.IV.10-REPOSE DE LA TENSION DE COMMANDE POUR UN ECHELON DE CONSIGNE

COMMANDE NUMERIQUE DE POSITION AVEC REACTION TACHYMETRIQUE

Une autre méthode de commande de position consiste en l'application de la réaction tachymétrique, souvent utilisée en pratique. (4).

V.1 - STRUCTURE DE LA COMMANDE :

V.1.1 - PRINCIPE :

L'information "position" (resp. l'information "vitesse") est prise au niveau du potentiomètre de sortie (resp. au niveau de la réaction tachymétrique). Après conversion en numérique par un convertisseur analogique-numérique, le microprocesseur procède à une correction et envoie sur le port de sortie le signal de commande.

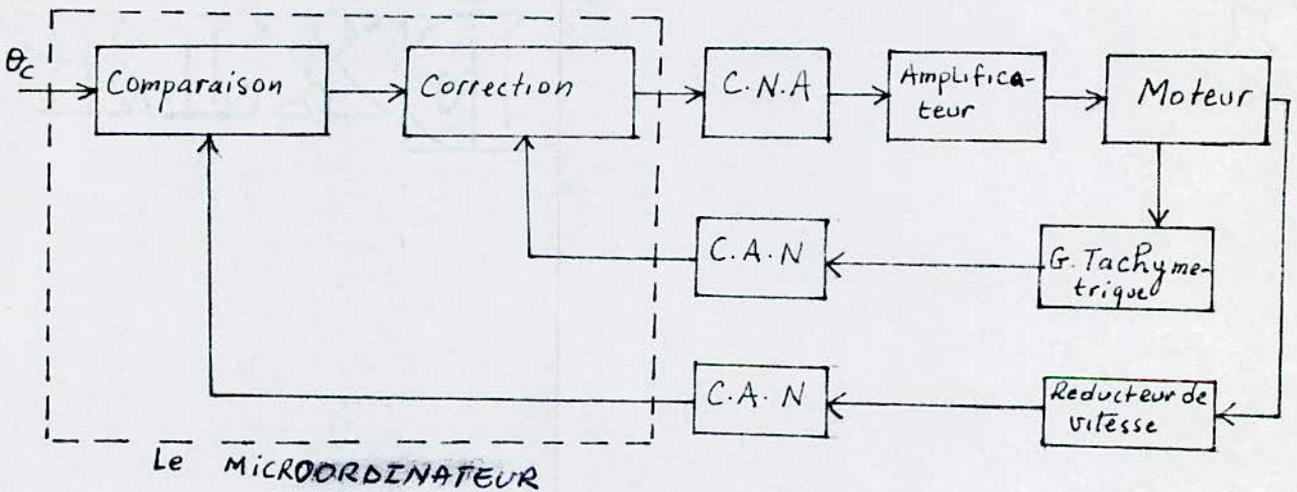


Fig. V.1 Schéma de principe.

.../...

Les équations (37) et (38) déterminées précédemment, nous permettent de donner la structure de réglage échantillonné en cascade. (fig. V. 2).

Cette structure permet le réglage de position avec une contre réaction de la génératrice tachymétrique en boucle interne.

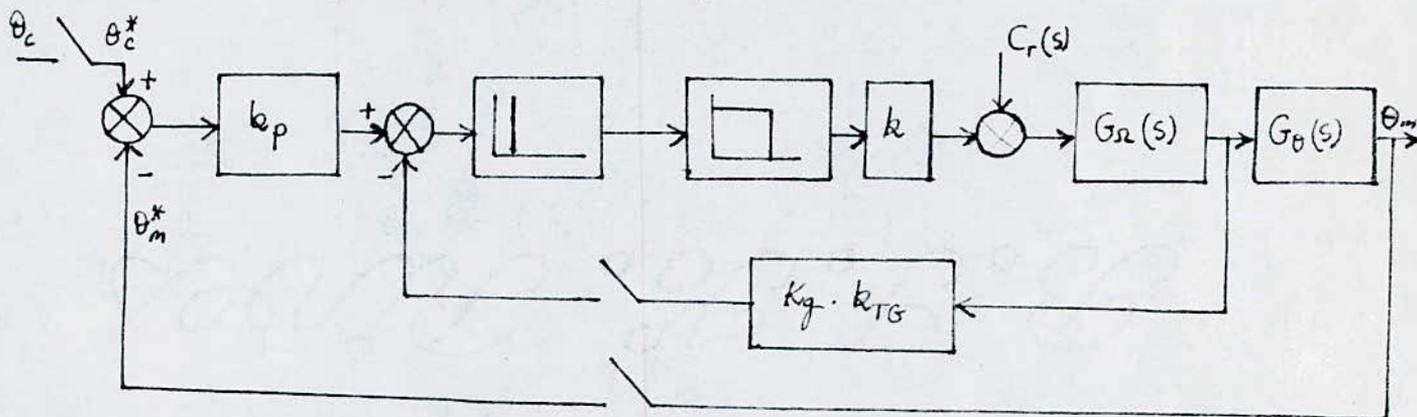


fig. V. 2. Structure de réglage échantillonné.

avec :

$$G_{\Omega}(s) = \frac{K_s}{1 + \tau_m \cdot s} \quad (175)$$

$$G_{\theta}(s) = \frac{K_e}{N \cdot s} \quad (176)$$

k_{TG} : est le gain de l'action tachymétrique.

V. 2. Analyse du système :

Dans notre étude, nous avons jugé utile de faire l'étude analogique du système, afin de déterminer l'influence de la contre réaction tachymétrique sur le comportement du système.

Après substitution des équations (39) et (40) nous aboutissons au schéma fonctionnel suivant :

.../...

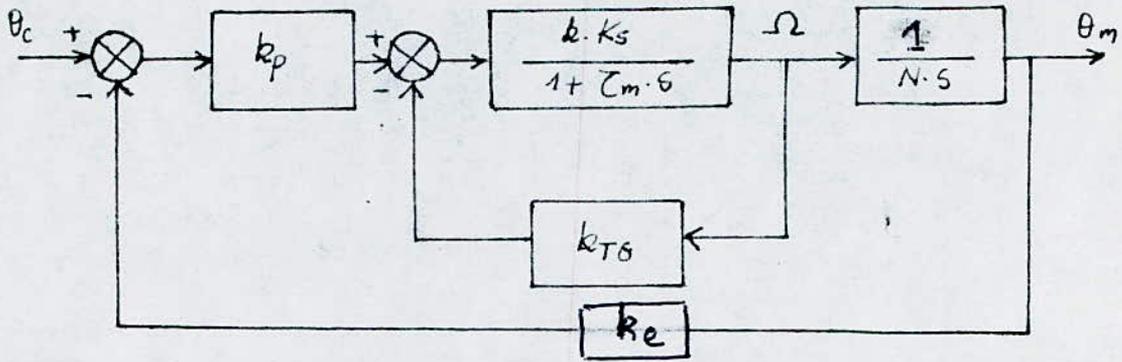


Fig V-3 - Schéma fonctionnel du système

La fonction de transfert de la boucle interne est :

$$G_1(s) = \frac{\Omega(s)}{\varepsilon_2(s)} \quad (177)$$

$$= \frac{K_s \cdot k}{1 + \tau_m \cdot s + k_{TG} \cdot K_s \cdot k} \quad (178)$$

$$= \frac{A}{1 + \tau_r \cdot s}$$

avec :

$$A = \frac{K_s \cdot k}{1 + K_s \cdot k \cdot k_{TG}} \quad (179)$$

$$\tau_r = \frac{\tau_m \cdot A}{K_s \cdot k} \quad (180)$$

d'où :

$$\tau_r = 7 \text{ ms}$$

On constate que la constante de temps du système " τ_r " est très faible devant la constante de temps mécanique " τ_m ", on peut conclure alors que la réaction tachymétrique a pour effet de diminuer la constante de temps du système. Cependant une étude analogique équivalente est suffisante.

.../...

V. 3 - Etude expérimentale :

Profitant du résultat trouvé précédemment, il suffit de réaliser la commande en analogique, déterminant ainsi les coefficients k_p et k_{TG} assurant la stabilité et le bon amortissement du système, puis on détermine pour la commande numérique les nouveaux coefficients ajustés autour des valeurs trouvées par la commande analogique.

Les coefficients trouvés par la réalisation de la commande analogique sont les suivants :

$$k_p = 1,2$$

$$k_{TG} = 0,9$$

Le schéma de la commande numérique de position avec contre réaction tachymétrique est le suivant :

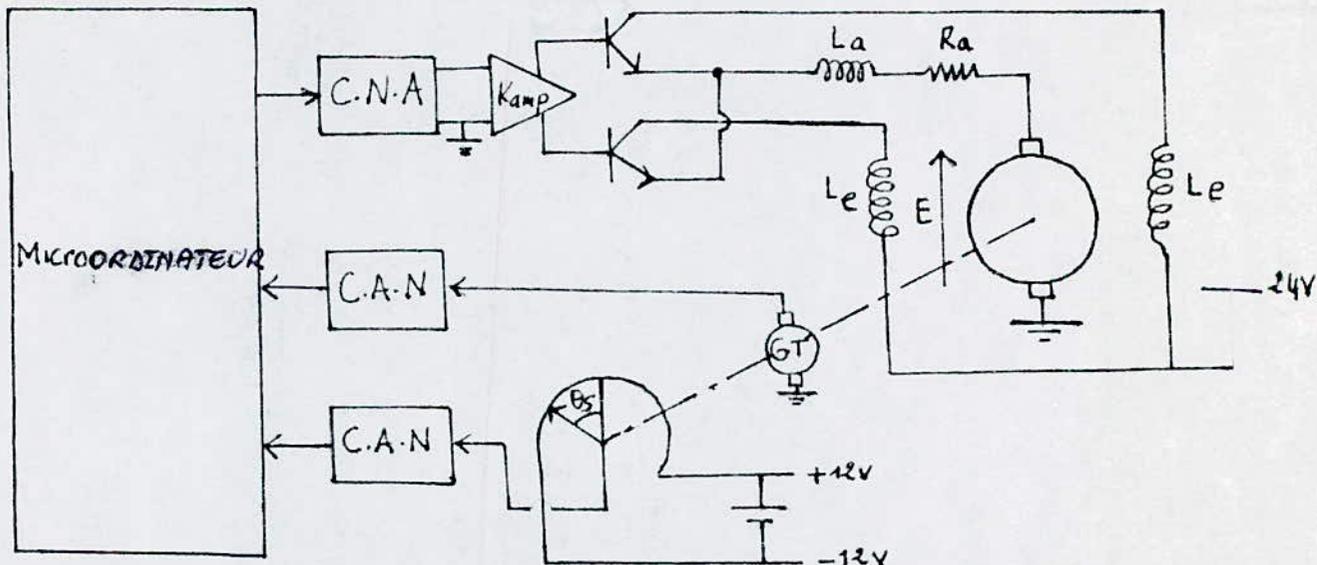


Fig. V. 4 Schéma de la commande numérique.

.../...

V. 3. 1- Algorithme de réglage :

L'Algorithme de réglage de la commande de position avec contre réaction tachymétrique est le suivant :

$$\Delta U = k_p \cdot e - k_{TG} \cdot V_{GT}$$

Sortir ΔU

V_{GT} : est la tension délivrée par la génératrice tachymétrique.

A partir de cet algorithme, nous avons élaboré l'organigramme de la commande, donné ci-dessous.

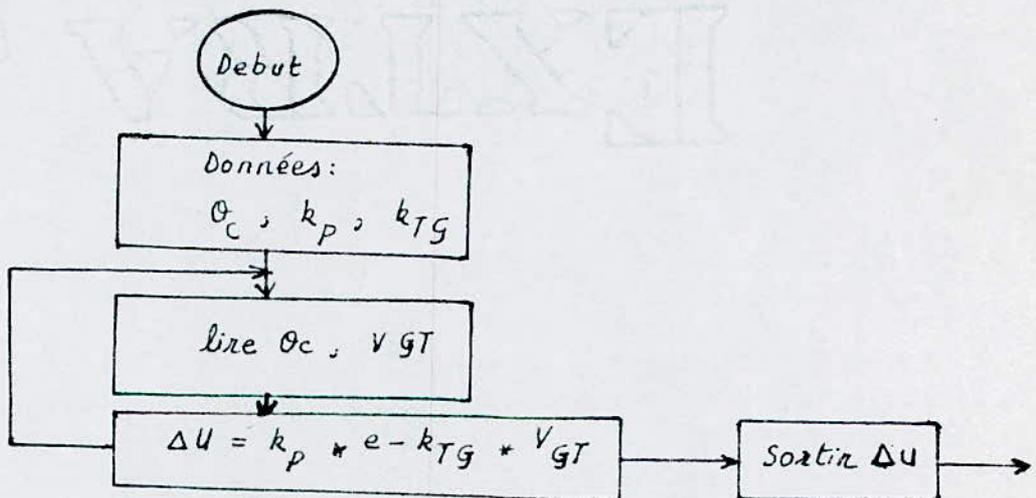


fig. V. 5. Organigramme de la Commande de position avec contre réaction tachymétrique.

(*) Le programme correspondant est donné en annexe.

V. 3.2- Essais :

Les valeurs expérimentales des coefficients k_p et k_{TG} sont les suivantes :

$$k_p = 1,5$$

$$k_{TG} = 0,7$$

.../...

On constate que ces valeurs sont proches de celles obtenues lors de la commande analogique. Ainsi notre approximation est valable.

Dans cette commande, on a relevé les réponses du système à un échelon de position, les essais ont donnés les résultats suivants :

- la réponse de la position à un échelon de consigne. (fig. V.6) ;
- la réponse de la vitesse à un échelon de consigne. (fig. V.7) ;
- la réponse du courant à un échelon de consigne (fig. V.8) ;
- la réponse de tension de commande à un échelon de consigne (fig. V. 9).

D'où les performances du système :

- le dépassement est de 4 %
- le temps de montée est de 0,2s
- le temps de réponse est de 0,6s

Il apparait de ces résultats que la commande numérique avec contre réaction tachymétrique donne des résultats meilleurs que ceux déterminés lors de la commande numérique avec un régulateur P D. Ce qui justifie, son application dans la pratique.

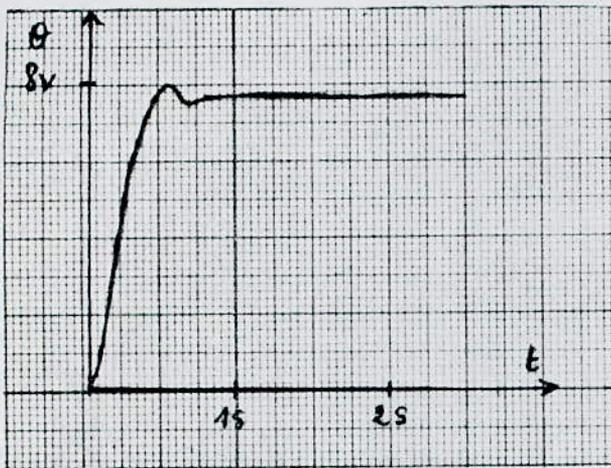


Fig V.6 - REPONSE DE POSITION
POUR UN ECHELON DE CONSIGNE

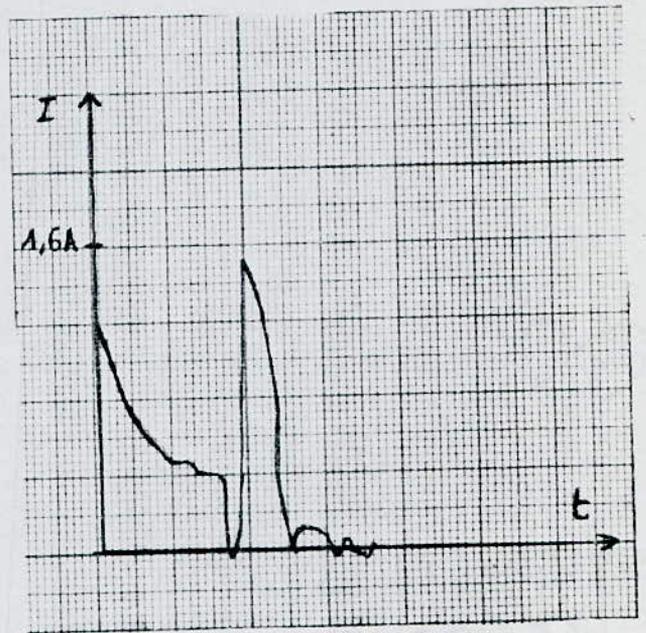


Fig V.8 - REPONSE DE COURANT
POUR UN ECHELON DE CONSIGNE

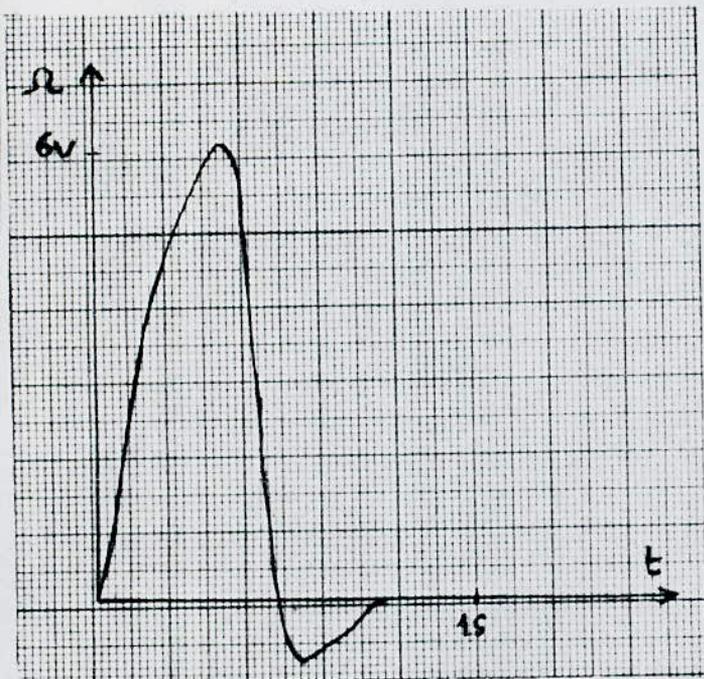


Fig V. 7 - REPONSE DE VITESSE POUR
UN ECHELON DE CONSIGNE

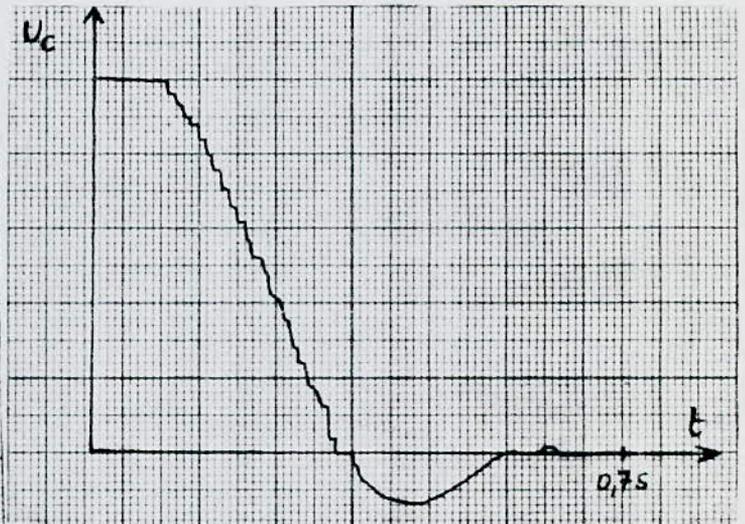


Fig V. 9 - REPONSE DE LA TENSION DE
COMMANDE POUR UN ECHELON
DE CONSIGNE

CONCLUSION :

Par ces travaux, nous avons étudié et réalisé la commande numérique d'un moteur à courant continu de faible puissance.

Nous avons commencé par l'analyse et la synthèse de la commande numérique de vitesse, puis la commande de position traitée par deux méthodes différentes à savoir :

- commande de position sans contre réaction tachymétrique;
- commande de position avec contre réaction tachymétrique.

Des résultats pratiques, il apparait que la commande numérique de vitesse a donné des résultats acceptables du point de vue stabilité et amortissement des phénomènes transitoires.

Les performances données par la commande numérique de position avec un régulateur proportionnel-derivateur sont acceptables. L'introduction de la contre réaction tachymétrique dans la commande de position a apporté des améliorations appréciables à la qualité de réglage. Cette commande a donné des réponses plus rapides ($t_r=0.6s$) avec un dépassement plus faible ($D=4\%$).

Il serait intéressant de continuer ce travail et d'appliquer ces méthodes à des machines de plus grande puissance. Cependant il faudrait prendre en considération le courant d'induit qui pourrait atteindre des valeurs excessives, d'où la nécessité d'introduction d'une boucle supplémentaire pour le courant.

ANNEXE

PROGRAMME N°1

COMMANDE DE VITESSE PAR RETOUR TACHYMETRIQUE

```

CREG      EQU      28 H
PORTA     EQU      29 H
PORTB     EQU      2A H
PORTC     EQU      2B H
ORG       1800 H ; ADDRESSES DES DONNEES
KPI :     DS 3     ; KP + KI
KI :      DS 3     ; COEFFICIENT INTEGRAL
CONS :    DS 1     ; CONSIGNE DE VITESSE
ERR :     DS 3     ; ERREUR
LOX :     DS 3     ; X INITIALISER A ZERO
OBYTE:    DS 1     ; OCTET DE COMMANDE
FADD      EQU      13 B3 ; LES SUBROUTINES DU MAT 385
FDIV      EQU      14 9F
FIXX      EQU      14 51
FLOT      EQU      14 7D
FMPY      EQU      15 17
FNEQ      EQU      14 95
FSUB      EQU      13 B0
UPDAD     EQU      03 63 ; SUBROUTINES EN MONITEUR
DELAY     EQU      05 F1
UPDDT     EQU      03 6E
GTHX      EQU      02 2B
IBUFF     EQU      20 FE
ORG       B200    ; DEBUT DU PROGRAMME

```

```

; -----
LXI      SP, 20 C2H ; INITIALISER LE POINTEUR DE PILE
MVI      A, 0FH    ; INITIALISER PORT 29, 2A, 2B POUR
OUT      CREG      ; TRANSFERT
SUB      A         ; STOCKER ZERO DANS L'ACCUMULATEUR
STA      IBUFF     ; ZERO DANS LE BUFFER
X2:      CALL     GSET ; SUBROUTINE D'INTRODUCTION DE KPI ET KI
MVI      B, 0      ; CANAL ZERO POUR LECTURE
CALL     INCHN    ; SUBROUTINE DE LECTURE
MOV      D, C      ; VALEUR MESUREE DANS (D)
LDA      CONS     ; CONSIGNE
SUB      D         ; ERREUR DANS A
CALL     FLS7     ; ERREUR EN VIRGULE FLUTTANTE
LXI      H, ERR    ; ADRESSE DE STOCKAGE
CALL     STCD     ; TRANSFERT
LXI      H, KPI    ; COEFFICIENT KPI
CALL     FLBHL    ; DANS B, H, L
CALL     FMPY     ; KPI * ERR
LXI      H, LOX   ; X
CALL     FBRH    ; DANS B, H, L

```

```

CALL      FADD      ; X + KPI * ERR
MVI      A, 80H    ; CORRECTION DU RESULTAT POUR
ANA      C         ; ECRITURE EN VIRGULE FIXE
PUSH     PSW       ;
CNE      FNEG
CALL     FIXX
CALL     SAT
POP      PSW
MOV     A, E
JZ      X1
CMA
INR     A
X1:     ADI      80H
LXI     H, 0BYTE ; ADRESSE DE L'OCTET DE COMMANDE
MOV     M, A
MOV     H, A
PUSH    H
CALL    UPDDT
MVI     B, 2      ; SORTIE ANALOGIQUE SUR CANAL
CALL    OUTCHN   ; ZERO
LXI     H, ERR
MOV     C, M
INX     H
MOV     D, M
INX     H
MOV     E, M
LXI     H, KI
CALL    FLBHL
CALL    FMPY     ; KI * ERR
LXI     H, LDX
CALL    FLBHL
CALL    FADD     ; X + KI * ERR
LXI     H, LDX   ; ADRESSE DE STOCKAGE
CALL    STCDE   ; SUBROUTINE DE TRANSFERT
LXI     H, 282B ; RETARD D'UNE PERIODE D'ECHANTILL
CALL    DELAY   ; ONNAGE
JMP     XO      ; RETOUR POUR LECTURE NOUVELLE
                     ; VALEUR MESUREE

```

PROGRAMME N°2

COMMANDE DE POSITION SANS C.R.T

```

ORG      2800H      ; ADDRESSES DES DONNÉES
KPD :    DS 3      ; KP + KD
KD :     DS 3      ; COEFFICIENT DERIVATEUR
CONS :   DS 1      ; CONSIGNÉ POSITION
ERR :    DS 3      ; ECART ENTRE CONSIGNÉ ET VALEUR MESURÉE
LDX :    DS 3      ; INITIALISER X ZERO
KPDE :   DS 3      ; (KP + KD) * ERR
KDE :    DS 3      ; KD * ERR
OBYTE:   DS 1      ; OCTET DE COMMANDE
          8500      ; DEBUT DU PROGRAMME

```

```

; -----
LXI      SP, 20CH   ; INITIALISER LE POINTEUR DE PILE
MVI      A, 0FH    ; MOT DE COMMANDE DES PORTS
OUT      28H       ; 29, 2A, 2B
SUB      A         ; ZERO DANS A
STA      Ibuff     ; ZERO DANS LE BUFFER
X2 :     CALL      GSET      ; SUBROUTINE POUR INTRODUIRE KPD, KD
MVI      B, 10H    ; CANAL 1 POUR LECTURE
CALL     INCHN     ; SUBROUTINE DE LECTURE
MOV      D, C      ; TRANSFERT DANS D
LDA      CONS      ; CONSIGNÉ
SUB      D         ; ECART DANS A
CALL     FLS7      ; ECRITURE EN VIRGULE FLOTTANTE
LXI      H, ERR    ; ADRESSE DE L'ERREUR
CALL     STCDE     ; TRANSFERT
LXI      H, KPD    ; COEFFICIENT KPD
CALL     FLBHL     ; DANS B, H, L
CALL     FMPY      ; KPD * ERR
LXI      H, KPDE   ; ADRESSE DE STOCKAGE
CALL     STCDE     ; TRANSFERT
LXI      H, LDX    ; X
CALL     FLBHL     ; DANS B, H, L
LXI      H, KD     ; COEFFICIENT KD
MOV      C, M      ; DANS C, D, E
INX     H
MOV      D, M
INX     H
MOV      E, M
CALL     FMPY      ; X * KD
LXI      H, KDE    ; ADRESSE DE STOCKAGE
CALL     STCDE     ; TRANSFERT

```

LXI	H, KPDE	; RAPPEL KPD * ERR
CALL	FLBHL	;
CALL	FSUB	; KPD * ERR - KD * X
MVI	A, 80	; CORRECTIONS
ANA	C	
PUSH	PSW	
CNE	FNEG	
CALL	FIXX	
CALL	SAT	
POP	PSW	
MOV	A, E	
JZ	X 1	
CMA		
INR	A	
X1: ADI	80H	
LXI	H, OBYTE	; ADRESSE DE L'OCTET DE COMMANDE
MOV	M, A	
MOV	H, A	
PUSH	H	
CALL	UPDOT	
POP	H	
MVI	B, 2	; CANAL ZERO POUR SORTIE
CALL	OUTCHN	; ANALOGIQUE
LXI	H, ERR	; ADRESSE DE L'ECART
CALL	FLBHL	;
MOV	C, H	; SUBSTITUTION DU NOUVEAU
MOV	D, L	; ECART DANS L'ADRESSE LDX
LXI	H, LDX	
MOV	M, B	
INX	H	
MOV	M, C	
INX	H	
MOV	M, D	
LXI	H, 2828	; RETARD D'UNE PERIODE
CALL	DELAY	; D'ECHANTILLONNAGE
JMP	X 2	; RETOUR POUR LECTURE NOUVELLE VALEUR

PROGRAMME N°3

COMMANDE DE POSITION AVEC C.R.T

```

ORG      28 00 H ; ADDRESSES DES DONNEES
KTG :    DS3      ; COEFFICIENT DE LA CONTRE REACTION
KP  :    DS3      ; COEFFICIENT PROPORTIONNEL
GXE :    DS3      ; KP * ERREUR
ERR :    DS1      ; ERREUR
ORG      8000     ; DEBUT DU PROGRAMME

```

```

; -----
LXI      SP, 20C2H ; INITIALISER LE POINTEUR DE PILE
MVI      A, 10FH   ; MOT DE COMMANDE DES PORTS
OUT      CREG
SUB      A          ; ZERO DANS A
STA      Ibuff     ; DANS LE BUFFR
CALL     GSET      ; SUBROUTINE D'INTRODUCTION DE KP, KTG
MVI      B, 10H    ; CANAL 1 POUR LECTURE
CALL     INCHN     ; SUBROUTINE DE LECTURE
MOV      D, C      ; VALEUR MESUREE DANS D
LXI      H, CONS   ; CONSIGNE
MOV      A, M      ; DANS L'ACCUMULATEUR
SUB      D          ; ECART
CALL     FLS7      ; ECART EN VIRGULE FLOTTANTE
LXI      H, KP     ; ADRESSE DU COEFFICIENT KP
CALL     FLBHL     ; DANS B, H, L
CALL     FMPY      ; KP * ERR
LXI      H, GXE    ; ADRESSE DE STOCKAGE
CALL     STCDE     ; TRANSFERT
MVI      B, 20H    ; CANAL DEUX POUR LECTURE LA
CALL     INCHN     ; CONTRE REACTION TACHYMETRIQUE
MOV      A, C      ; RESULTAT DANS A
SBI      7FH      ; CORRECTION DE LA CRT
CALL     FLS7      ; ECRITURE EN VF
LXI      H, KTG    ; COEFFICIENT KTG
CALL     FLBHL     ; DANS B, H, L
CALL     FMPY      ; KTG * VALEUR DE LA CRT
LXI      H, GXE    ; ADRESSE DE KP * ERR
CALL     FLBHL     ; DANS B, H, L
CALL     FADD      ; KP * ERR - KTG * CRT
MVI      A, 80H    ; CORRECTIONS
ANA      C
PUSH     PSW
CNE      FNEG
CALL     FIXX
CALL     SAT

```

	POP	PSW	
	MOV	A, E	
	JZ	X1	
	CMA		
	INR	A	
X1:	ADI	80H	
	LXI	H, 0BYTE	; ADRESSE DE L'OCTET DE COMMANDE
	MOV	M, A	
	MOV	H, A	
	PUSH	H	
	CALL	UPDDT	
	POP	H	
	MVI	B, 2	; CANAL ZERO POUR SORTIE
	CALL	OUTCHN	; ANALOGIQUE
	JMP	X2	; RETOUR POUR LECTURE.

SUBROUTINES UTILISEES

1) SUBROUTINES DE COMMANDE DU CONVERTISSEUR (N/A et A/N) .

```
);-----  
STCMD : MOV      A , B  
        OUT      PORT B  
        MVI      A, 12H  
        OUT      PORT C  
        MVI      A, 2  
        OUT      PORT C  
        MVI      A, 12H  
        OUT      PORT C  
        RET
```

```
);-----  
TRIG 1 : MVI     A, 2  
        OUT     PORT C  
        MVI     A, 0  
        OUT     PORT C  
        MVI     A, 2  
        OUT     PORT C  
        RET
```

```
);-----  
ENTREES ANALOGIQUES  
INCHN : CALL    STCMD  
        CALL    TRIG 1  
        MVI     A, 2  
        OUT     CREG  
        IN      PORT C  
        ANI     4  
        JZ     IN1  
        IN      PORT A  
        MOV     C, A  
        MVI     A, 0FH  
        OUT     CREG  
        RET
```

```
);-----  
SORTIES ANALOGIQUES  
OUTCHN : CALL    STCMD  
        MOV     A, H  
        OUT     PORT A  
        CALL    TRIG 1  
        RET
```

2) SUBROUTINES D'ECRITURE EN VIRGOULE FLOTTANTE

```
;-----  
FLSF : PUSH      PSW  
      JNC        FLPOS  
      CMA  
      INR        A  
FLPOS : MVI      D,0  
      MOV      E,A  
      CALL     FLOT  
      POP      PSW  
      CC       FNEG  
      RET
```

```
;-----  
STCDE : MOV      M,C  
      INX      H  
      MOV      M,D  
      INX      H  
      MOV      M,E  
      INX      H  
      RET
```

```
;-----  
FLBHL : MOV      B,M  
      INX      H  
      PUSH     D  
      MOV      D,M  
      INX      H  
      MOV      E,M  
      PSH     D  
      POP      H  
      POP      D  
      RET
```

```
;-----  
SATURATION A 7FH DU CONTENU DE (DE)  
SAT : MOV      A,D  
      ORA      A  
      JNZ     RSAT  
      MOV      A,E  
      CPI     80H  
      RC  
RSAT : LXI     D,07FH  
      RET
```

```
;-----  
INTRODUCTION DES COEFFICIENTS A PARTIR DU CLAVIER  
GSET : EI  
      MVI     A,E  
      SIM
```

```
LDA      Ibuff
ORA      A
RM
LXI      H, COEF1
CALL     KEYIN
LXI      H, COEF2
CALL     KEYIN
RET
```

j-----

```
KEYIN :  PUSH      H
        MVI      B, 1
        CALL     GTHEX
        MVI      D, 0
        CALL     FLOT
        MOV      B, C
        MOV      H, D
        MOV      L, E
        MVI      C, 45H
        LXI      D, 8000 H
        CALL     FDIV
        POP      H
        CALL     STCDE
        RET
        END
```

BIBLIOGRAPHIE:

- 1)- R. FEUILLET: commande de vitesse et optimisation energetique par microprocesseur. These de docteur ingenieur -INPG -1979
- 2)- M. AUMIAUX: L'emploi des microprocesseurs 4^eed- Paris: Masson, 1982.
- 3)- H. BUHLER: Reglage echantillonné Vol. 1: Traitement par la T.Z presses polytechniques romandes , 1982.
- 4)- CATALOGUE FEEDBACK: Technical information vol 2. servomecanisme Ms 150.
- 5)- R. AROUETTE: Theorie et pratique de microprocesseurs Paris: ed radio ,
H. LILEN 1977
- 6)- CATALOGUE Mcs- 80/85: USER'S manual , intel corporation Janvier , 1983
- 7)- Y. SEVELY: Systemes et asservissements Lineaires echantillonnés ed.
Dunod , Paris 1973
- 8)- F. MILSANT: Asservissements lineaires , eyrolles , 1980
- 9)- J. PRUVOST: Point en automatique Technique et documentation 1981.
- 10)- R. CHAUPRADE: electronique de puissance:commande des moteurs à courant continu eyrolles , 1981
- 11)- L. CLEMENT: Systemes à microprocesseurs tome 3: Les microprocesseurs cabay , 1983
- 12)- R.DUBOIS: Les microprocesseurs 16 bits à la loupe Paris , eyrolles ,
D.GIROD 1982
- 13)- G. NOLLET: Langage machine , trucs et astuces sur ~~7x~~ 81 ed Eyrolles,
1983.

- 14)- V.C. HAMACHER: Structure des ordinateurs Mc Graw-Hill , 1985
Z.G. VRANESIC
S.G. ZAKY
- 16)- M.S BOUCHERIT: Simulation des commandes numeriques optimales d'une
association hacheur - moteur à courant - continu
these de magister - ENP - 1988
- 16)- N. CHAKER: Analyse de la qualité de réglage numerique (P.F.E) -
ENP - 1986.
- 17)- F. TETTOUS: Simulation de la commande numerique et analogique d'un
H. HOURIA moteur à courant continu (P.F.E). ENP - 1987
- 18)- Med. R. ABDESSEMED: Etude par simulation numerique de la commande
S.GROUNI d'un moteur à courant - continu alimenté par un
hacheur. (P.F.E). Janvier 1988
- 19)- Catalogues feedback instruments LTD. 1983 Microprocessor applications
trainer.
- 20)- S.N. SINGH: " Performances determination of chopper controlled separa-
D.R. KOHLI tely excited D.C. motor. " IEEE trans. on IE vol. 3
N° 1 FEB . 1984
- 21)- R. le DOEUFF: " Problemes de simulation numerique d'ensembles conver-
C. IUNG tisseur - machine - commande " R.G.E octobre. 1983.

ULTRA STYRONIC

Woolley & Sons