

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

1ea

SUJET

MISE AU POINT DE TRAVAUX PRATIQUES
DE REGULATION INDUSTRIELLE AVEC
LE SERVOSYSTEME MODULAIRE MS 150 DE FEEDBACK

Proposé par :

M. AHMED ZEGERRAS

Etudié par :

DJELLOUL MD CHEMS-EDDINE M. AHMED ZEGERRAS

Dirigé par :

PROMOTION

JUIN 1987

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement et de la Recherche Scientifique

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

MISE AU POINT DE TRAVAUX PRATIQUES
DE REGULATION INDUSTRIELLE AVEC
LE SERVOSYSTEME MODULAIRE MS 150 DE FEEDBACK

Proposé par :

M. AHMED ZEGERRAS

Etudié par :

DJELLOUL MD CHEMS-EDDINE M. AHMED ZEGERRAS

Dirigé par :

PROMOTION

JUIN 1987

S O M M A I R E

	PAGE
INTRODUCTION	
CHAPITRE I : OBJECTIF DE CES TRAVAUX PRATIQUES DE REGULATION INDUSTRIELLE	
- I.1 Illustration des manipulations	5
- I.2. Régulation entre les travaux pratiques précédents et la régulation (PID)	10
CHAPITRE II : ANALYSE, COMPENSATION ET SYNTHESE	
- II.1. Méthode d'analyse par le lieu des racines dit "lieu d'Evans"	13
- II.2. Méthode d'analyse de Nyquist	15
- II.3. Analyse et conception de Brode	15
- II.4. Etude analytique d'un asservissement simple de position	16
- II.5. Système de compensation	21
- II.6. Autres systèmes de correction	23
CHAPITRE III : MANIPULATIONS	
- III.1. Réglage d'induit	28
- III.2. Système simple de commande en boucle fermée	38
- III.3. Etude de l'effet de variation de gain sur la zone morte	40
- III.4. Effet de la réaction tachymétrique sur un système de commande de position	47
- III.5. Etude des caractéristiques de relais	53

CHAPITRE IV-A : TRAVAUX PRATIQUES POSSIBLES A METTRE ENCORE
 EN OEUVRE AVEC LE MATERIEL DISPONIBLE

- IV. A.1. Propriétés de l'amplificateur opérationnel 60
- IV. A.2. Caractéristiques du moteur 60
- IV. A.3. Système simple de commande de position 61
- IV. A.4. Système simple de commande en boucle fermée 61
- IV. A.5. Système simple de commande de vitesse 62
- IV. A.6. Effet de l'inertie sur le temps de réponse 62
- IV. A.7. Effet de frein magnétique sur le dépassement 62

CHAPITRE IV-B : TRAVAUX PRATIQUES POSSIBLES A METTRE ENCORE
 EN OEUVRE AVEC LE MATERIEL COMPLEMENTAIRE

- IV. B.1. Présentation du matériel complémentaire 64
- IV. B.2. Description sommaire des éléments cités ci-dessous. Manipulation à courant alternatif 64
- IV. B.3. Manipulation à courant alternatif 67
- IV. B.4. Régulation proportionnelle, intégrale et dérivée (Régulation PID) 70
- IV. B.5. Manipulation, PID (150 Y) 77
- IV. B.6. Manipulation de systèmes échantillonnés (150 M) 80

CONCLUSION

DEDICACE

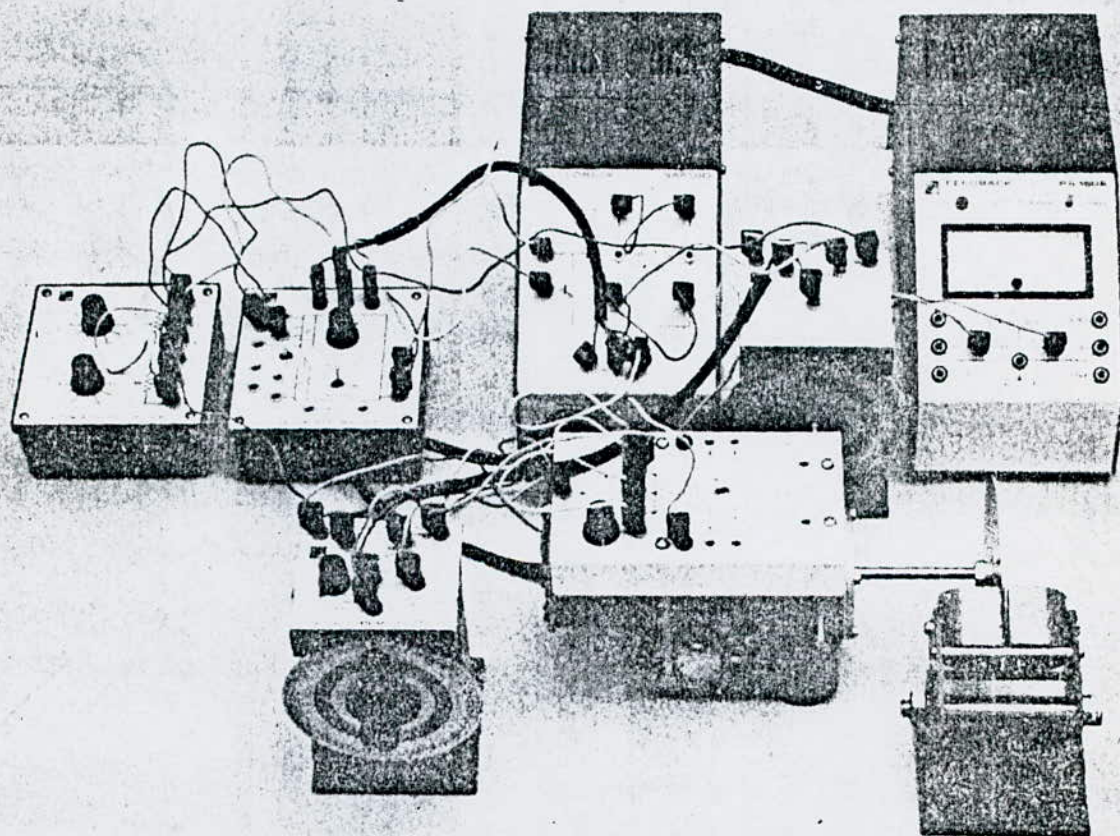
Je dédie ce modeste travail à :

- mes parents
- mes frères et soeurs
- à toute ma famille sans oublier mes neveux et nièces

Modular Servo System MS150 MkII

DC, Synchro, & AC

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique



FEEDBACK

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique



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

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

D E F I N I T I O N D U S U J E T

Dans les chapitres qui suivent, nous aurons à effectuer des travaux pratiques qui illustrent la commande de vitesse et de position à l'aide d'éléments bien déterminés.

Ce système réduit nous a été fourni, ce système sera décrit d'une manière plus détaillée dans ce qui suit.

On peut dire que ces travaux pratiques ne sont autre qu'une application directe des notions théoriques des systèmes asservis enseignés au module FEN 153 au Département du Génie-Mécanique de l'Ecole Nationale Polytechnique d'El-Harrach.

CHAPITRE I

OBJECTIF DE CES TRAVAUX PRATIQUES DE REGULATION INDUSTRIELLE

C H A P I T R E I

OBJECTIF DE CES TRAVAUX PRATIQUES DE REGULATION INDUSTRIELLE

Le but de notre mémoire est de mettre au point des travaux pratiques de régulation industrielle avec le servosystème modulaire MS 150. Ce système a été conçu par la Firme Feedback Instruments Limited et est destiné à un usage expérimental pour les étudiants qui commencent à étudier les systèmes asservis.

* Qu'est ce qu'un système asservis ?

On dira que c'est un système grâce auquel nous contrôlons l'état d'un processus, par exemple la température ou le degré hygrométrique d'une salle de spectacle.

Parce que ce système est capable de réintroduire une information sur un état réel afin de la comparer avec l'état désiré, on l'appelle système en boucle fermée.

Dans de tels systèmes on appelle l'état désiré "Entrée" ou valeur de référence et l'état réel "Sortie".

On appelle "Signal d'erreur" la différence de comparaison et "Chaîne d'erreurs" la partie du système qui effectue la comparaison.

En automatique, on décrit le fonctionnement d'un système à l'aide d'une représentation graphique et abrégée en vue de caractériser les relations existantes entre les différents organes d'un système de commande, c'est "Le schéma fonctionnel".

Le schéma fonctionnel de la Fig. 1, décrit le type de systèmes que nous utiliserons dans nos travaux pratiques.

I.1 - ILLUSTRATION DES MANIPULATIONS

I.1.1. - EFFET DE LA REACTION TACHYMETRIQUE SUR UN SYSTEME DE COMMANDE DE POSITION :

On sait que dans un système quelconque de commande de position, l'augmentation du gain accentue le problème du dépassement. Le système pouvait même devenir instable.

Le problème de dépassement apparaît à cause de la vitesse du moteur qui le porte au-delà du point d'alignement ; plus élevé est le gain, plus grande sera la vitesse de réponse du moteur de sorte qu'au delà d'un certain gain, le système ne pourra jamais s'aligner.

La méthode que l'on peut utiliser est la "réaction de la génératrice tachymétrique". Sa sortie étant proportionnelle

à sa vitesse de rotation. Ce système demande deux boucles de réaction. L'une pour produire le signal d'erreur et la seconde pour additionner les signaux d'erreur et de réaction tachymétrique, afin de produire le signal de commande comme sur la Fig.2.

* Domaines d'application :

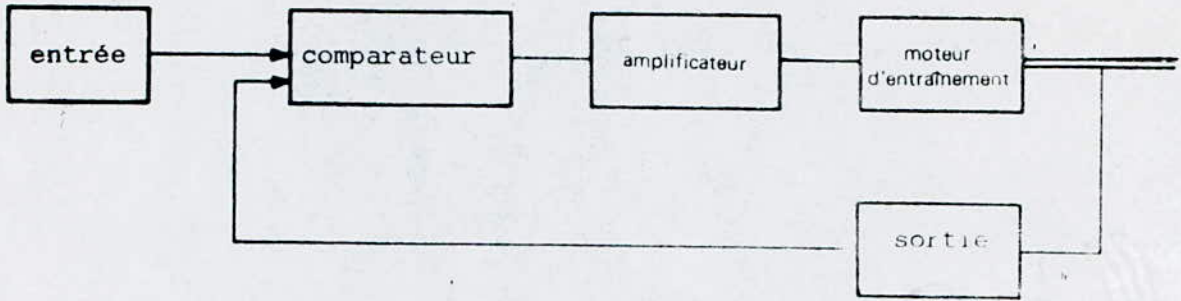
Dans une situation concrète, comme dans un "ascenseur" où les utilisateurs veulent aller d'un étage à un autre, il faut que cela se fasse rapidement, en douceur et avec précision. Ils ne veulent pas un arrêt violent, ni avoir à sauter en marche, parce que l'ascenseur ne s'arrête jamais au point fixe.

Dans l'industrie, le commerce et le transport dont l'utilisation des électromécanismes exige une commande rapide et précise, on fait appel à la réaction tachymétrique.

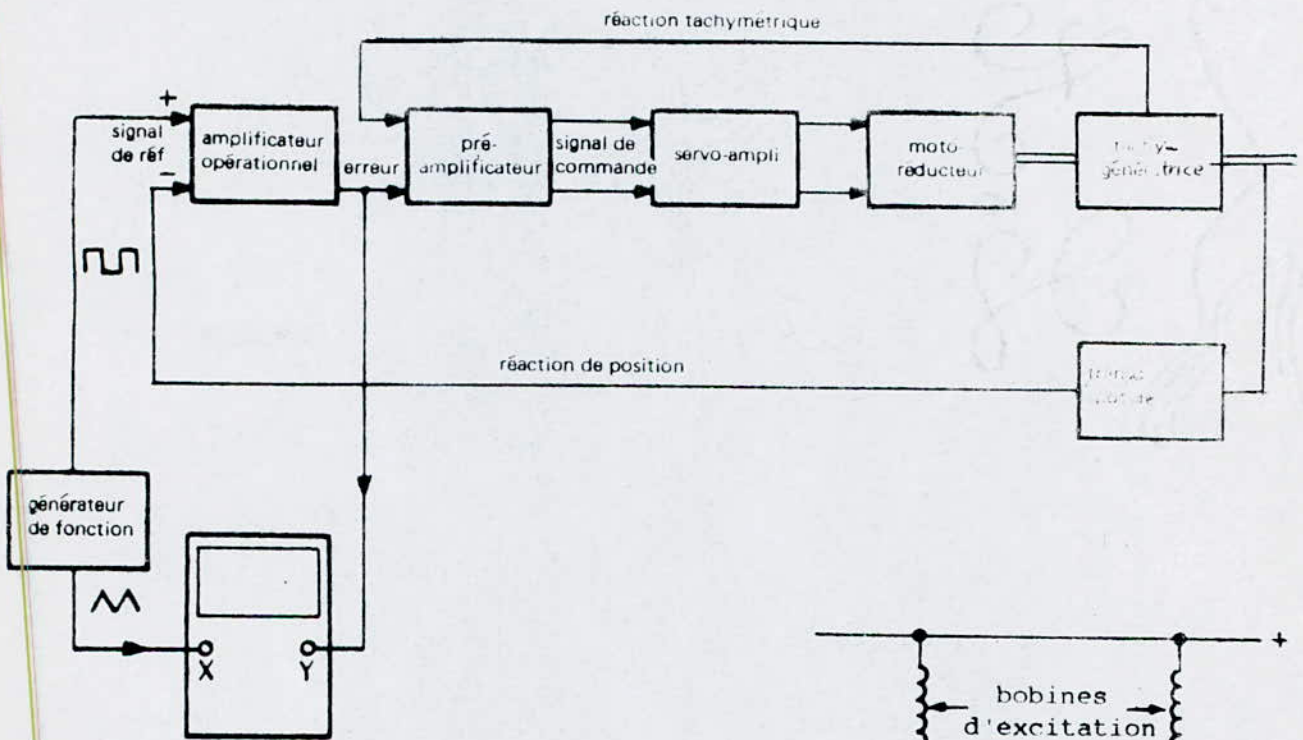
I.1.2. - LE REGLAGE D'INDUIT :

Le réglage d'induit illustre les caractéristiques du moteur utilisé dans ce kit et montre comment il peut être commandé par le servo-amplificateur.

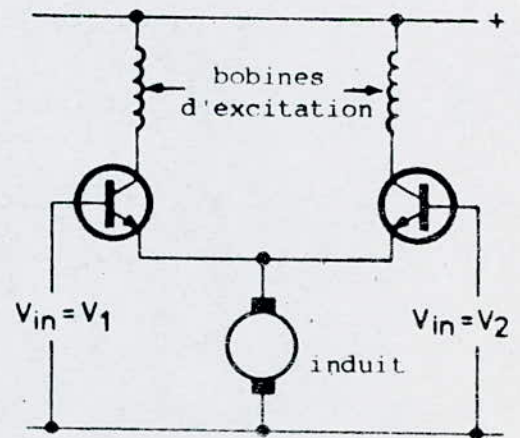
Le moteur a un enroulement à excitation inverse, avec circulation du courant dans chaque partie de la bobine réglée par un transistor. Cela signifie que le sens de rotation peut-être inversé, l'entrée 1 du servoamplificateur faisant tourner le moteur dans un sens et l'entrée 2 dans l'autre sens Fig.3.



— Fig. 1 —



— Fig. 2 —



— Fig. 3 —

A mesure que le moteur accélère, l'induit engendre une force contre-motrice (V_a) croissante qui tend à s'opposer à la tension appliquée (V_{in}). Le courant d'induit est donc proportionnel à ($V_{in} - V_a$). Si la vitesse rechute et cela à cause de la charge, (V_a) diminue, le courant augmente et le couple du moteur également. Celui-ci tend à s'opposer à la perte de vitesse. Ce mode de commande s'appelle "Réglage d'induit" et donne une vitesse proportionnelle à (V_{in}). A cause du frottement au collecteur, le moteur a besoin d'un certain signal d'entrée minimum pour démarrer.

I.1.3. - SYSTEME SIMPLE DE COMMANDE EN BOUCLE FERMEE :

Dans cette manipulation, on utilise la boucle de réaction pour comparer la vitesse réelle à la vitesse désirée. Un signal d'erreur est alors produit pour agir sur la sortie du servoamplificateur. Ce mode de commande est représenté par le schéma fonctionnel de la Fig.4.

* Domaines d'application :

On trouve des exemples de commande de vitesse dans toutes les branches de l'industrie et du transport. Ils sont devenus particulièrement importants dans les processus continus, comme le réglage de l'épaisseur des tôles laminées à chaud. On rencontre aussi la commande de vitesse, dans les systèmes de guidage, de pilotage automatique, dans les ascenseurs et les appareils de levage.

I.1.4. - ETUDE DE L'EFFET DES VARIATIONS DE GAIN SUR LA ZONE MORTE DANS UN SYSTEME DE COMMANDE DE POSITION :

Dans cette manipulation, on traitera le problème de la zone morte dans un système de commande de position. Cette expérience se compose de deux parties principales. La première, nous permet de calculer ou du moins estimer le facteur d'erreur donnant l'écart angulaire par le rapport $\left[\frac{\text{Volt}}{\text{degré}} \right]$

Dans la deuxième partie, on utilisera ce facteur en vue de mettre en relation le signal d'entrée avec la mesure de l'écart qui apparaît pour ordonner une réponse corrective au système.

I.1.5. - ETUDE DES CARACTERISTIQUES D'UN ELEMENT NON-LINEAIRE ; RELAIS SR 150 G :

Dans cette manipulation, nous étudierons les caractéristiques - type d'un élément non-linéaire qui est l'unité de relais (SR 150 G). On opérera comme suit : un signal triangulaire d'amplitude variable est appliqué à l'entrée de l'unité et au circuit de déviation X d'un oscilloscope, et le signal de sortie de l'unité est appliqué au circuit de déviation Y.

Dans les expériences, l'unité SR 150 G est utilisée pour exciter le préamplificateur et l'étage de puissance commandant le moteur. Pourquoi ? parce que cet élément ne peut pas fournir l'alimentation en courant suffisante pour faire fonctionner directement le moteur.

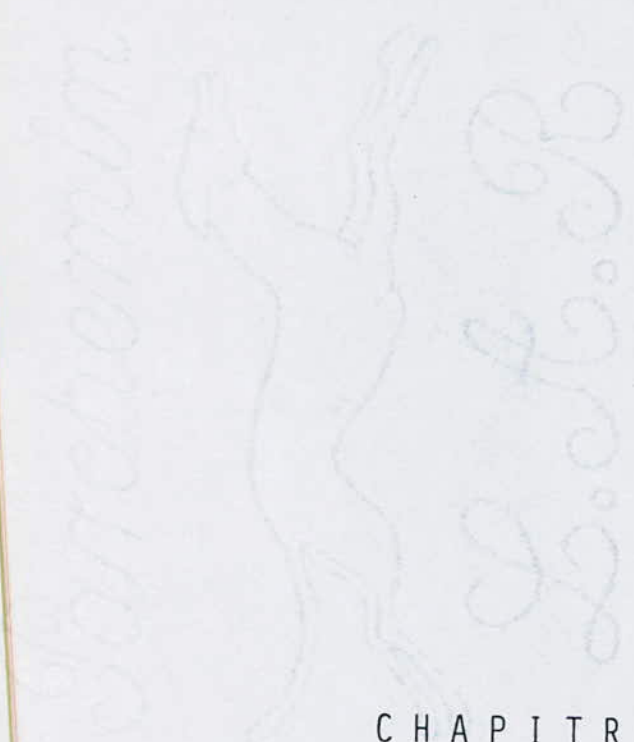
Enfin, les systèmes à relais, décrits précédemment, sont des systèmes de régulation de position, mais, en principe, un système commandé par relais peut-être utilisé pour assurer la régulation de vitesse.

I.2 - RELATION ENTRE LES TRAVAUX PRATIQUES PRECEDENTS ET LA REGULATION (P.I.D)

Le module (PID 150 Y) est un élément de régulation proportionnelle, intégrale et dérivée, conçu pour être utilisé avec le module d'asservissement de Feedback MS 150, ou avec d'autres systèmes de régulation utilisant des signaux électriques en courant continu.

La régulation PID est caractérisée par l'utilisation d'un signal d'erreur pour assurer la régulation. Ces contrôleurs à trois composantes sont largement utilisés dans la correction et l'asservissement d'un système de régulation.

Dans le Chapitre V, on montrera, comment un régulateur (PID) peut être utilisé pour régler et influencer un module d'asservissement de régulation de vitesse.



CHAPITRE II

ANALYSE - COMPENSATION ET SYNTHÈSE

C H A P I T R E I I

ANALYSE, COMPENSATION ET SYNTHÈSE D'UN SYSTÈME ASSERVI

L'analyse des systèmes asservis a pour objectifs principaux, la détermination des caractéristiques suivantes du système :

- a) Le degré ou l'étendue de la stabilité du système.
- b) Le comportement de celui-ci en régime permanent.
- c) La réponse transitoire.

Il existe une procédure générale à suivre en vue d'analyser un système de commande, comme suit :

- On doit déterminer les fonctions de transfert de chacun des constituants du système.
- Choisir un module pour représenter le système (c'est-à-dire : le schéma fonctionnel, graphe de fluence des signaux ...).
- On déterminera, alors les caractéristiques du système.

En analyse des systèmes de commande, on dispose de quatre méthodes graphiques :

1. La méthode du lieu géométrique des racines,
2. La représentation par les courbes de Bode.
3. Les diagrammes de Nyquist.
4. Les abaques de Nicols.

II.1 - METHODE D'ANALYSE PAR LE LIEU DES RACINES DIT : "LIEU D'EVANS" :

Cette méthode consiste à mettre en évidence la position des pôles et les zéros de la fonction de transfert en boucle fermée en fonction du facteur de gain K , de la fonction de transfert en boucle ouverte GH . Cette méthode demande que soit connue la position des pôles et des zéros de GH . Elle permet de calculer avec précision la réponse temporelle tout en donnant les renseignements utilisables pour la réponse fréquentielle.

On peut tracer le graphe du lieu des racines facilement et avec précision en utilisant les règles de construction suivantes :

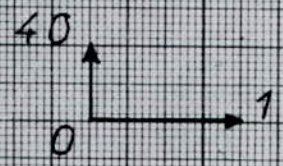
- a) Nombre de branches du lieu (nombre d'arcs). Celui-ci étant égal au nombre de pôles de G .
- b) Lieux situés sur l'axe réel. Ils sont obtenus en comptant le nombre total des pôles et des zéros finis de GH qui sont situés à droite des points en question.

1000

Vitesse de rotation N (tr/min)

800

— Graphe 4 —



600

400

200

Position du frein

1

2

3

4

5

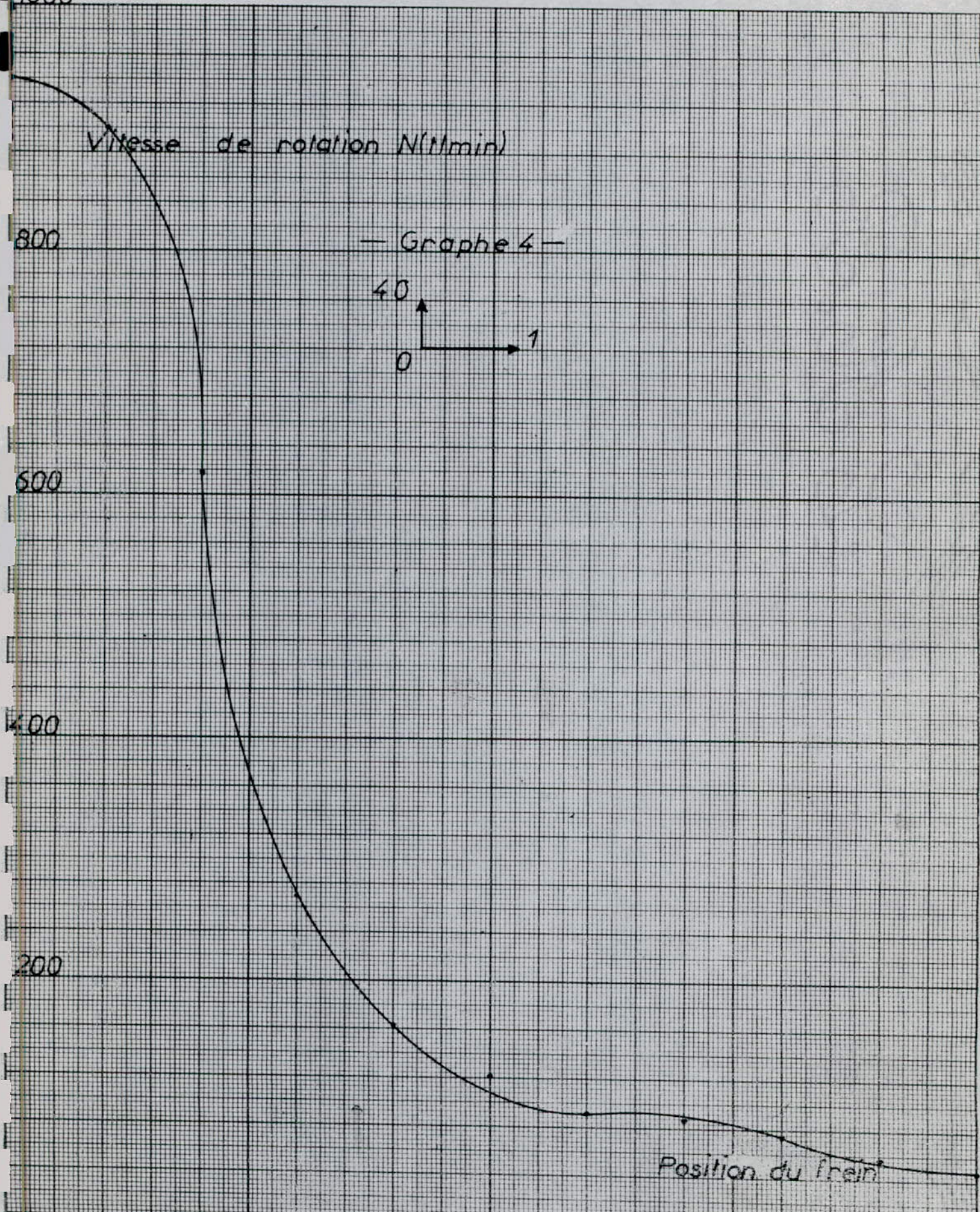
6

7

8

9

10



c) Le centre des asymptotes ($\bar{\sigma}$) est donné par :

$$\bar{\sigma} = \frac{\sum_{i=1}^n p_i - \sum_{i=1}^m z_i}{n - m} ; \quad \begin{array}{l} n : \text{nombre de pôles} \\ m : \text{nombre des zéros de GH.} \end{array}$$

d) Angles entre asymptote et axe réel. On peut les calculer à partir de la formule :

$$\beta = \begin{cases} \frac{(2l + 1) 180}{n - m} \text{ (}^\circ\text{)} ; & K > 0 \\ \frac{(2l) 180}{n - m} \text{ (}^\circ\text{)} ; & K < 0 \end{cases} \quad l = 0, 1, 2, \dots$$

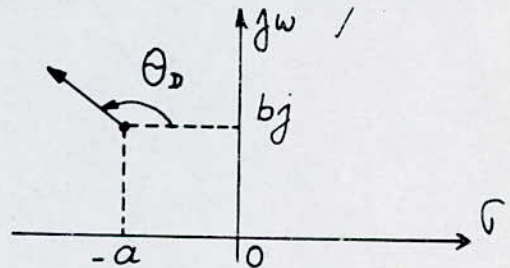
et $n - m$! est le nombre des asymptotes

e) Points de branchements (\sqrt{b}). On peut trouver la situation du point de branchement en résolvant l'équation suivante en \sqrt{b} :

$$\sum_{i=1}^n \frac{1}{(\sqrt{b} + p_i)} = \sum_{i=1}^m \frac{1}{(\sqrt{b} + z_i)}$$

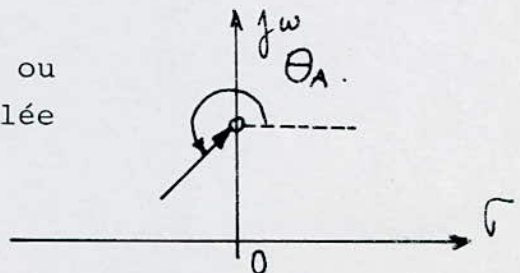
f) Angle de départ. L'angle de départ du lieu des racines d'un pôle complexe est donné par :

$\theta_D = 180^\circ + \arg GH'$ où $\arg GH'$ est la phase de GH au pôle complexe.



g) Angle d'arrivée.

L'angle de départ au lieu des racines en un zéro complexe est donné par : $\theta_A = 180^\circ - \arg GH''$, où $\arg GH''$ est la phase de GH calculée au zéro complexe.



II.2 - METHODE D'ANALYSE DE NYQUIST :

Cette méthode consiste essentiellement en un procédé graphique de détermination de la stabilité absolue et relative des systèmes de commande en boucle fermée.

La méthode de Nyquist s'applique à des systèmes à retards de parcours, elle a également son utilité pour obtenir des renseignements sur les fonctions de transfert des constituants ou des systèmes à partir des données expérimentales concernant la réponse fréquentielle.

On peut directement tracer la courbe en polaire à partir des mesures faites en régime permanent sinusoïdal sur les constituants réalisant la fonction de transfert en boucle ouverte.

Cette possibilité est très utile dans la détermination des caractéristiques de la stabilité du système quand on ne dispose pas de fonctions de transfert des constituants de boucle sous forme analytique, ou quand les systèmes physiques ont à être essayés et mesurés expérimentalement.

II.3 - ANALYSE ET CONCEPTION DE BODE :

a) L'analyse de Bode :

L'analyse d'un système asservi à l'aide de la méthode de Bode est équivalente à l'analyse de Nyquist en ce sens que les deux méthodes utilisent des représentations graphiques de $GH(j\omega)$. Les courbes de Bode comprennent deux

tracés : l'amplitude ou gain de GH (jw), et la phase de GH (jw), tous deux en fonction de la fréquence w.

b) La conception de Bode :

La conception d'un système asservi par les méthodes de Bode consiste à modeler et à remodeler les courbes de Bode de gain et de phase jusqu'à ce qu'on vérifie les conditions imposées au système.

Modeler les courbes de Bode consiste à ajouter des correcteurs en cascade ou dans la chaîne de retour. (Voir Chapitre II.6.5.).

II.4 - ETUDE ANALYTIQUE D'UN ASSERVISSEMENT SIMPLE DE POSITION

II.4.1. - ANALYSE DU MOTEUR A COMMANDE D'INDUIT (FIG. 6) :

Ici, le couple moteur (T) est proportionnel au courant de l'induit (Ia) d'où :

$$T = K_t \cdot I_a ; K_t : \text{constante de flux. } [K_t] = \frac{\text{N. m}}{\text{A}}$$

La Fig. 6a, donne : $I_a \cdot R_a - V_s + K_b \cdot S = 0$;

avec K_b : constante de l'électromotrice engendrée et

$$S : \text{vitesse angulaire } [K_b] = \frac{\text{Volt}}{\text{rad/s}}$$

Le moteur doit surmonter le frottement et l'inertie totale caractérisée par les grandeurs :

$$[f] = \text{constante de frottement visqueux } \frac{(\text{N. m})}{(\text{rad/s})}$$

ainsi que : $[j]$ = inertie totale (kg. m²).

$$\text{d'où : } T = j \cdot \frac{ds}{dt} + f \cdot S.$$

$$\text{Des équations : } \left\{ \begin{array}{l} T = K_t \cdot I_a \dots\dots\dots (1) \\ I_a = \frac{V_s - K_b \cdot S}{R_a} \dots\dots\dots (2) \\ T = j \cdot \frac{ds}{dt} + f \cdot S \dots\dots (3) \end{array} \right.$$

$$\text{On obtient : } \frac{K_t \cdot V_s}{K_t K_b + f \cdot R_a} = S + \frac{ds}{dt} \frac{j \cdot R_a}{f \cdot R_a + K_b K_t} \dots (4)$$

Or, on a vu au Chapitre III.1.5. que la courbe de réponse du moteur est la même que celle d'un circuit R - C (Fig. 6b). Ce qui nous permet d'écrire :

$$\tau \cdot \frac{dV_{\text{sortie}}}{dt} + V_{\text{sortie}} = A \cdot V_{\text{entrée}} \dots\dots\dots (5)$$

Comparons, maintenant (4) et (5) on obtient par analogie :

$$\tau_m = \frac{j \cdot R_a}{f \cdot R_a + K_b \cdot K_t} \dots (6) \text{ et } K_s = \frac{K_t}{K_t K_b + f \cdot R_a} \dots (7)$$

où : τ_m : est la constante de temps du moteur et K_s : constante de vitesse. Le système de la (Fig. 6b) a pour fonction de transfert :

$$\frac{V_{\text{sortie}}}{V_{\text{entrée}}} (j\omega) = \frac{A}{(1 + j\omega \tau)} \dots (8), \text{ par analogie on obtient :}$$

$$\frac{S}{V_s} (j\omega) = \frac{K_s}{(1 + j\omega \cdot \tau_m)} \dots\dots\dots (9), \text{ courbe de réponse de vitesse du moteur}$$

Ceci donne le lieu géométrique de la réponse fréquentielle de la (Fig. 6c) : un retard de phase de 45° se produit pour $\omega = \frac{1}{\tau}$. Donc, on peut dire que la relation entre la tension appliquée au moteur et sa vitesse angulaire est donnée par la formule (9).

Cherchons, maintenant la relation liant la position angulaire (θ_m) à la tension de sortie (V_s).

$\theta_m = \int S dt \dots (10)$ puisque : $\frac{d\theta_m}{dt} = S$; $S = e^{jwt}$ (signaux exponentiels)

$\theta_m = \int e^{jwt} dt = \frac{1}{jw} e^{jwt}$. Donc, en intégrant l'expression (9) par rapport au temps, on obtient :

$$\frac{\theta_m}{V_s} (jw) = \frac{K_s}{jw (1+jw \tau_m)} \dots (11).$$

Le lieu géométrique de la réponse fréquentielle pour l'équation (11) est représenté à la Fig. 7.

Finalement, la variation angulaire de l'arbre qui est indiquée sera toujours déphasée de 90° sur la vitesse.

II.4.2. - FONCTION DE TRANSFERT DU SYSTEME DE LA FIG. 5

Du montage de la Fig. 5, on peut déduire que :

$$E = \theta_i - \theta_o \dots (12)$$

l'erreur E est amplifiée suivant : $V_s = K_g \cdot E \dots (13)$.

où : $[E] = \text{rad}$; $[K_g] = \frac{\text{Volt}}{\text{rad}}$; K_g est le gain de l'amplificateur

remplaçons l'équation (13) dans (11), ce qui donne :

$$\theta_m = \frac{K_g \cdot K_s}{jw(1+jw \tau_m)} E \dots (14)$$

Au niveau de réducteur, on a un rapport de réduction de 1 : 30, ce qui permet d'écrire que : $\theta_o = \frac{\theta_m}{30} \dots (15)$.

ce qui donne : $\theta_o = \frac{K_g \cdot K_s / 30}{jw (1+jw \tau_m)} \cdot E \dots (16)$

avec : $K_v = \frac{K_g \cdot K_s}{30} \dots (17)$; le facteur "Kv" détermine à quelle vitesse tourne l'arbre de sortie pour une erreur constante ; il est appelé "constante d'erreur de vitesse" c'est un paramètre important dans le contrôle de stabilité.

Remplaçons, maintenant (17) dans (16) on obtient :

$$\theta_o = \frac{K_v}{j\omega (1+j\omega \tau_m)} \cdot E \dots (18)$$

Puisqu'on a à faire à une boucle fermée à retour unitaire et que le transfert de la chaîne d'action. On peut alors déterminer la fonction de transfert du système bouclé, en appliquant :

$$T(P) = T(j\omega) = \frac{G}{1+G} \quad (H = 1)$$

$$\text{Donc : } \frac{\theta_o}{\theta_i}(j\omega) = \frac{\frac{K_v}{j\omega (1+j\omega \tau_m)}}{1 + \frac{K_v}{j\omega (1+j\omega \tau_m)}} \text{ ce qui implique que :}$$

$$\frac{\theta_o}{\theta_i}(j\omega) = \frac{K_v}{j\omega (1+j\omega \tau_m) + K_v} \dots (19)$$

L'équation (19) est donc la transmittance du système bouclé de la Fig. 5.

II.4.3. - EQUATION DIFFERENTIELLE :

Maintenant, qu'on ait déterminé la transmittance du système il est également possible d'établir l'équation différentielle qui régit la vitesse du moteur du même système.

Pour cela reprenons l'équation (4). Après avoir remplacé (6) et (7) dans (4), on obtient l'équation (20) :

$$\tau_m \cdot \frac{ds}{dt} + s = K_s \cdot V_s \dots (20)$$

puisque : $s = 30 \cdot \frac{d\theta_0}{dt} \dots (21)$ et $\frac{ds}{dt} = 30 \cdot \frac{d^2\theta_0}{dt^2} \dots (22)$.

Remplaçons (21) et (22) dans (20), on obtiendra :

$$\tau_m \cdot 30 \cdot \frac{d^2\theta_0}{dt^2} + 30 \cdot \frac{d\theta_0}{dt} = K_s \cdot V_s \text{ ce qui implique que :}$$

$$\tau_m \cdot \frac{d^2\theta_0}{dt^2} + \frac{d\theta_0}{dt} = \frac{K_s \cdot V_s}{30} \dots (23)$$

Remplaçons les équations : (13) ; (17) et (12) dans (23), on obtiendra :

$$\tau_m \cdot \frac{d^2\theta_0}{dt^2} + \frac{d\theta_0}{dt} + K_v \cdot \theta_0 = K_v \cdot \theta_i ; \text{ divisons par } \tau_m :$$

$$\frac{d^2\theta_0}{dt^2} + \frac{1}{\tau_m} \cdot \frac{d\theta_0}{dt} + \frac{K_v}{\tau_m} \cdot \theta_0 = \frac{K_v}{\tau_m} \cdot \theta_i \dots (24)$$

l'équation différentielle obtenue (EDL.24) est du second ordre de la forme : $\frac{d^2y}{dt^2} + 2 \cdot \xi \cdot W_n \cdot \frac{dy}{dt} + W_n^2 \cdot y = W_n^2 \cdot x$.

Comparons les deux EDL membre à membre ; on obtient :

$$W_n^2 = \frac{K_v}{\tau_m} \longrightarrow W_n = \frac{(K_v)^{\frac{1}{2}}}{\tau_m} ; \xi = \frac{1}{2} \frac{1}{(K_v \cdot \tau_m)^{\frac{1}{2}}}$$

W_n : fréquence naturelle non-amortie

ξ : facteur d'amortissement.

II.5 - SYSTEMES DE COMPENSATION

Compensation par réseaux passifs.

La compensation modifie la forme du lieu géométrique de la réponse fréquentielle en améliorant les performances du système de régulation. Ce sont des réseaux de correction. On peut les introduire dans la chaîne d'action (correction en cascade) ou dans la chaîne de retour (correction de retour) Fig.8.

La correction, dans un système asservis, vise principalement l'amélioration de la vitesse de réponse, soit au moyen de l'accroissement de la bande passante du système, soit de l'accroissement de K_v : constante d'erreur de vitesse en augmentant le gain.

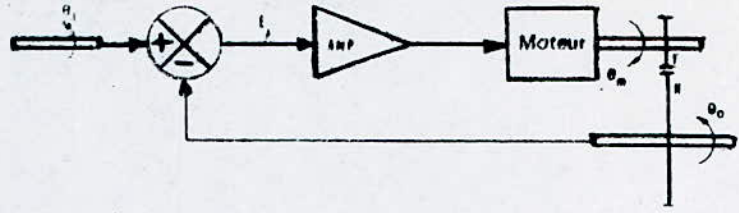
II.5.1. - RESEAUX "AVANCE" FIG. 7 :

$$\frac{V_{\text{sortie}}}{V_{\text{entrée}}}(j\omega) = T(j\omega) = G_0 \frac{(1+j\omega \tau_c)}{(1+j\omega G_0 \tau_c)} \dots (25) ; \tau_c = R_1.C_1 \text{ et}$$

$G_0 = \frac{R_2}{R_1+R_2}$, le lieu géométrique de ce réseau est donné à la Fig.7b.

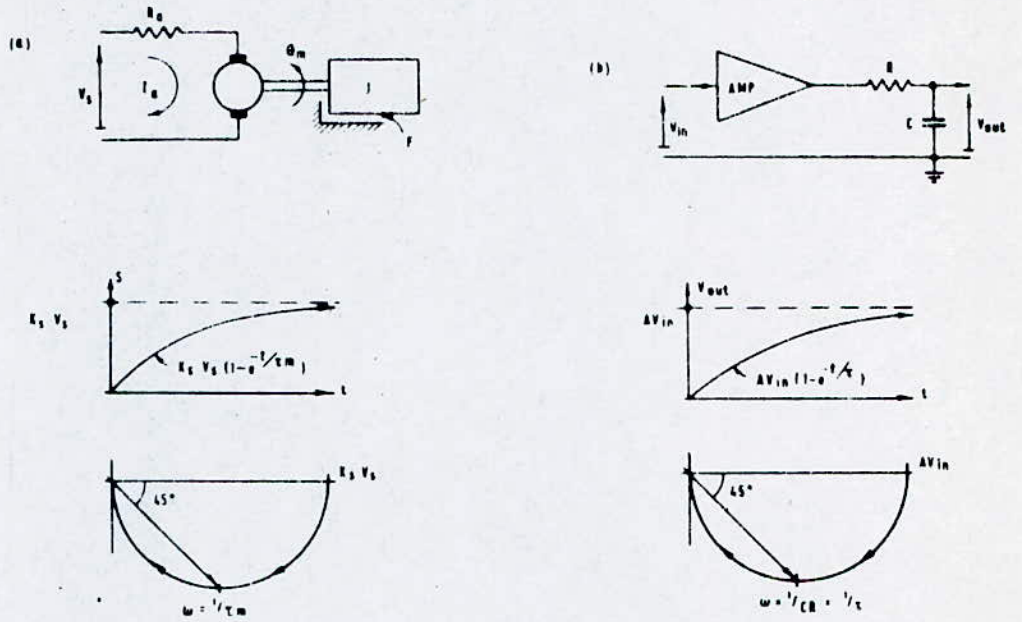
Le réseau "avance" réalise la correction au moyen de la propriété d'avance de phase qu'il possède dans le domaine de basses et moyennes fréquences.

La correction par l'avance de phase augmente en général la bande passante du système. (Voir exemple de correction Fig.7c) .

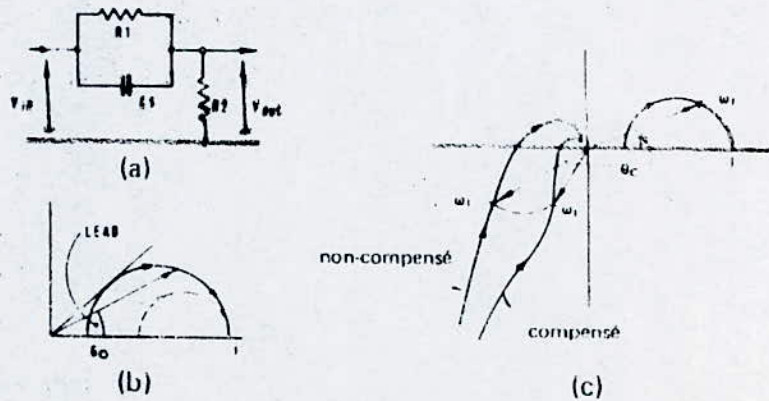


Asservissement de position simple

— Fig. 5 —



— Fig. 6 —



— Fig. 7 —

II.5.2. - RESEAUX "RETARD" FIG.9 :

Le réseau de retard produit généralement la correction par suite de sa propriété d'atténuation dans la partie de hautes fréquences de la courbe en polaire. La fonction de transfert est :

$$\frac{V_{\text{sortie}}}{V_{\text{entrée}}} = T(j\omega) = \frac{1 + j\omega \tau_4}{1 + j\omega \frac{\tau_4}{G_\infty}} \dots (26) \text{ où : } \tau_4 = C_4 \cdot R_4 ;$$

$$G_\infty = \frac{R_4}{R_3 + R_4} \text{ le lieu géométrique est à nouveau un demi-cercle (Fig.9b.)}$$

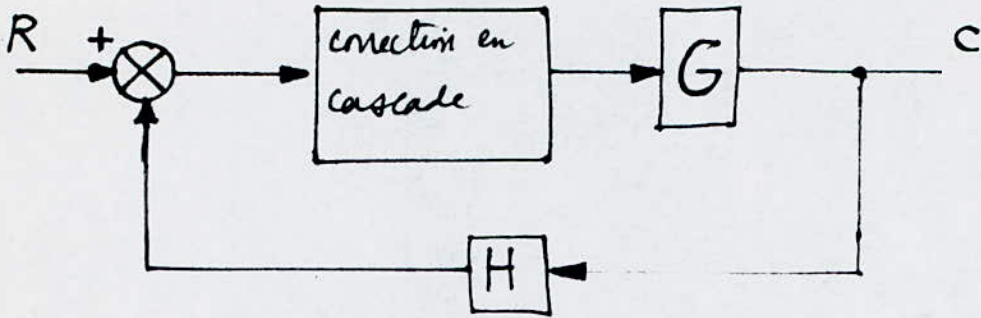
II.5.3. - RESEAUX "RETARD" ET "AVANCE" FIG.10 :

Quadripôle passif à avance et à retard de phase, cet élément produit un retard de phase aux fréquences basses et une avance aux fréquences élevées. Ces deux actions sont complémentaires. De la Fig.10, on déduit la fonction de transfert :

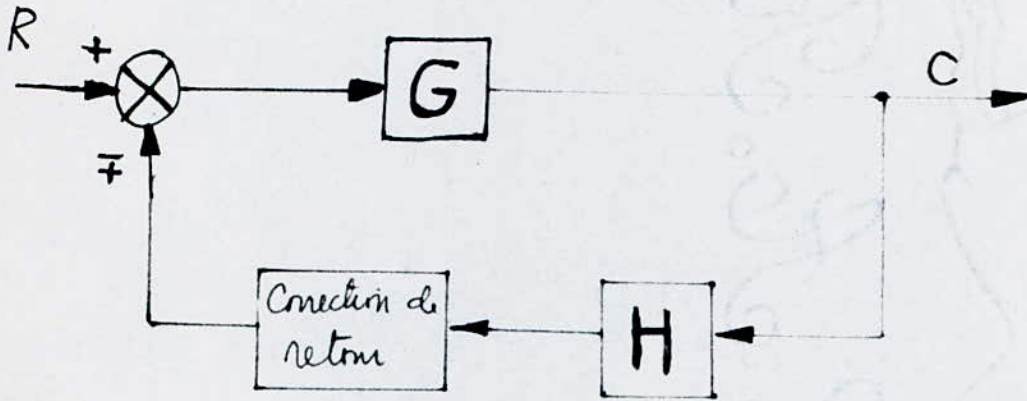
$$\frac{V_s(P)}{V_e(P)} = \frac{V_s(j\omega)}{V_e(j\omega)} = T(j\omega) = \frac{R_2 + \frac{1}{C_2} j\omega}{\frac{1}{1 + R_1 C_1 j\omega} + \frac{1}{C_2 j\omega} + R_2} \dots (27)$$

II.6 - AUTRES SYSTEMES DE CORRECTION :

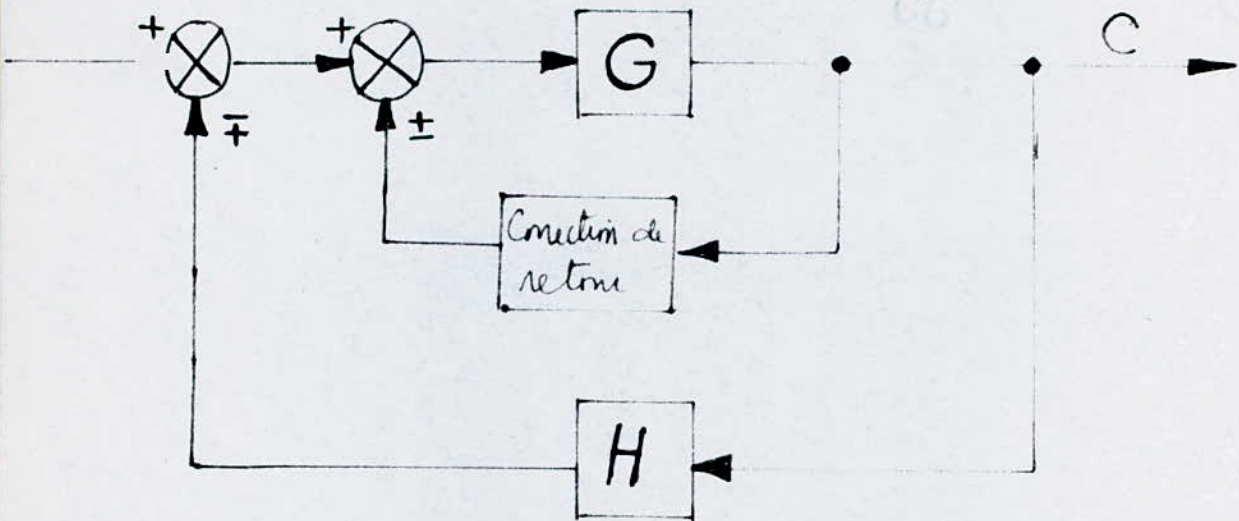
La réaction de la tachygénératrice est une autre méthode de compensation, elle consiste à ajouter un signal à partir d'une génératrice tachymétrique dans le système de régulation. Cette méthode fournit un moyen très efficace de stabilisation du système et améliore la réponse aux transitoires,



- Correction en cascade -



- Correction de retour -



- Correction de retour dans les boucles de retour auxiliaires -

- Fig. 8 -

comme je l'ai déjà expliqué au Chapitre I.1.1. et que nous le verrons expérimentalement au Chapitre III.4. Considérons maintenant le schéma fonctionnel de la Fig. 11. Le module composé de l'élément $\frac{K_1}{j\omega (1+j\omega\tau_m)}$ et le comparateur de la boucle interne qui le précède, (ici, le comparateur utilisé est un préamplificateur) constitue le transfert complet du système moteur.

(E3) : est le signal d'erreur fournit par le préamplificateur. La génératrice tachymétrique agit comme différentiateur puisqu'on a considéré que les signaux de la réponse fréquentielle du moteur sont exponentiels de la forme $e^{j\omega t}$, d'où le transfert de la génératrice tachymétrique est "jw", car $\frac{d[e^{j\omega t}]}{dt} = j\omega \cdot e^{j\omega t}$.

Le facteur variable (K_2) est le gain du potentiomètre de sortie. Le facteur variable (K_3) est le gain de l'élément atténuateur ce dernier fait varier la réaction tachymétrique et fournit au préamplificateur (comparateur de la boucle interne) l'erreur (E2). L'amplificateur opérationnel (comparateur de la boucle extérieure) compare entrée et sortie pour donner naissance à l'erreur (E1) qui traversant (K_3) pour fournir l'erreur réelle (E2). Evaluons maintenant, le transfert de la boucle interne :

$$\frac{\theta_o}{E_2} (j\omega) = \frac{K_1}{1 + \frac{K_1 K_2 j\omega}{j\omega (1+j\omega\tau_m)}} = \frac{K_1}{1 + K_1 K_2} \cdot \frac{1}{j\omega (1 + j\omega\tau_m/1 + K_1 K_2)}$$

$$\text{d'où : } \frac{\theta_o}{E_2} (j\omega) = \frac{K_1}{1 + K_1 K_2} \cdot \frac{1}{j\omega (1 + j\omega\tau_t)} \dots (28)$$

$\tau t = \frac{\tau_m}{1 + K_1 K_2} \dots$ (29) d'où la transmittance totale du système de la Fig. 11b.

$$\frac{\theta_o}{\theta_i}(j\omega) = \frac{\frac{K_1 K_3 / (1 + K_1 K_2)}{j\omega (1 + j\omega \tau t)}}{1 + \frac{K_1 K_3 / (1 + K_1 K_2)}{j\omega (1 + j\omega \tau t)}} = \frac{K_1 K_3 / (1 + K_1 K_2)}{j\omega (1 + j\omega \tau t) + K_1 K_3 / (1 + K_1 K_2)} \dots (30)$$

Ce système possède l'équation différentielle suivante :

$$\frac{d^2 \theta_o}{dt^2} + \frac{(1 + K_1 K_2)}{\tau_m} \cdot \frac{d\theta_o}{dt} + \frac{K_1 K_3}{\tau_m} \cdot \theta_o = K_1 K_3 \cdot \theta_i \dots (31)$$

comparée à l'équation différentielle normalisée d'ordre 2 tel que :

$$\frac{d^2 y}{dt^2} + 2 \xi \cdot \omega_n \cdot \frac{dy}{dt} + \omega_n^2 \cdot y = \omega_n^2 \cdot x, \text{ on obtient :}$$

$$\omega_n = \frac{(K_1 K_3)}{\tau_m} \dots (31 \text{ a}) ; \xi = \frac{1}{2} \frac{(1 + K_1 K_2)}{\sqrt{K_1 K_3} \tau_m} \dots (31 \text{ b})$$

MANIPULATIONS

CHAPTER III

MANIPULATIONS

CHAPITRE III

III.1 - REGLAGE D'INDUIT :

III.1.1. - OBJECTIF :

Le but de cette manipulation est d'étudier les caractéristiques d'un moteur commandé par un servoamplificateur. Ce moteur fonctionne au mode de commande d'induit, c'est le point A du servoamplificateur. Le schéma électrique de cette disposition est donné à la Fig. 3.1. du manuel I.

III.1.2. - ÉVALUATION DE LA GÉNÉRATRICE TACHYMÉTRIQUE :

Faites le montage de la Fig. 3.5. m.I. à l'aide de ce montage, on peut mesurer la vitesse du moteur à partir de la génératrice tachymétrique une fois établi le facteur (Kg) met en relation la vitesse et la tension produite (en volts/1000 r.p.m.). Exemple : supposons, que l'arbre du moteur tourne à $50 \frac{\text{tours}}{\text{min}}$ et puisque le rapport d'engrenage du réducteur est de 30:1, la vitesse du moteur est alors de $1500 \frac{\text{tours}}{\text{min}}$.

En augmentant, continuellement le voltage de la génératrice tachymétrique, on verra que pour 1 000 r.p.m. le facteur d'étalement sera situé aux environs de 2.5 - 3.0 volts.

J'ai effectué la manipulation et ai obtenu les valeurs dressées au tableau 1.

Le graphique 1, donne un $K_g = 2,6$ Volts pour 1000 r.p.m. ce qui est très convenable. Du même graphique, on déduit la pente

$$te = \frac{1000 \text{ tours/min} \times 2,6 \text{ Volts}}{385 \text{ tours}} \approx 6,76 \text{ Volts/min}$$

(pente sans charge)

III.1.3. - RELATION TENSION D'ENTREE (Vin) - VITESSE (t/min) ? SANS CHARGE :

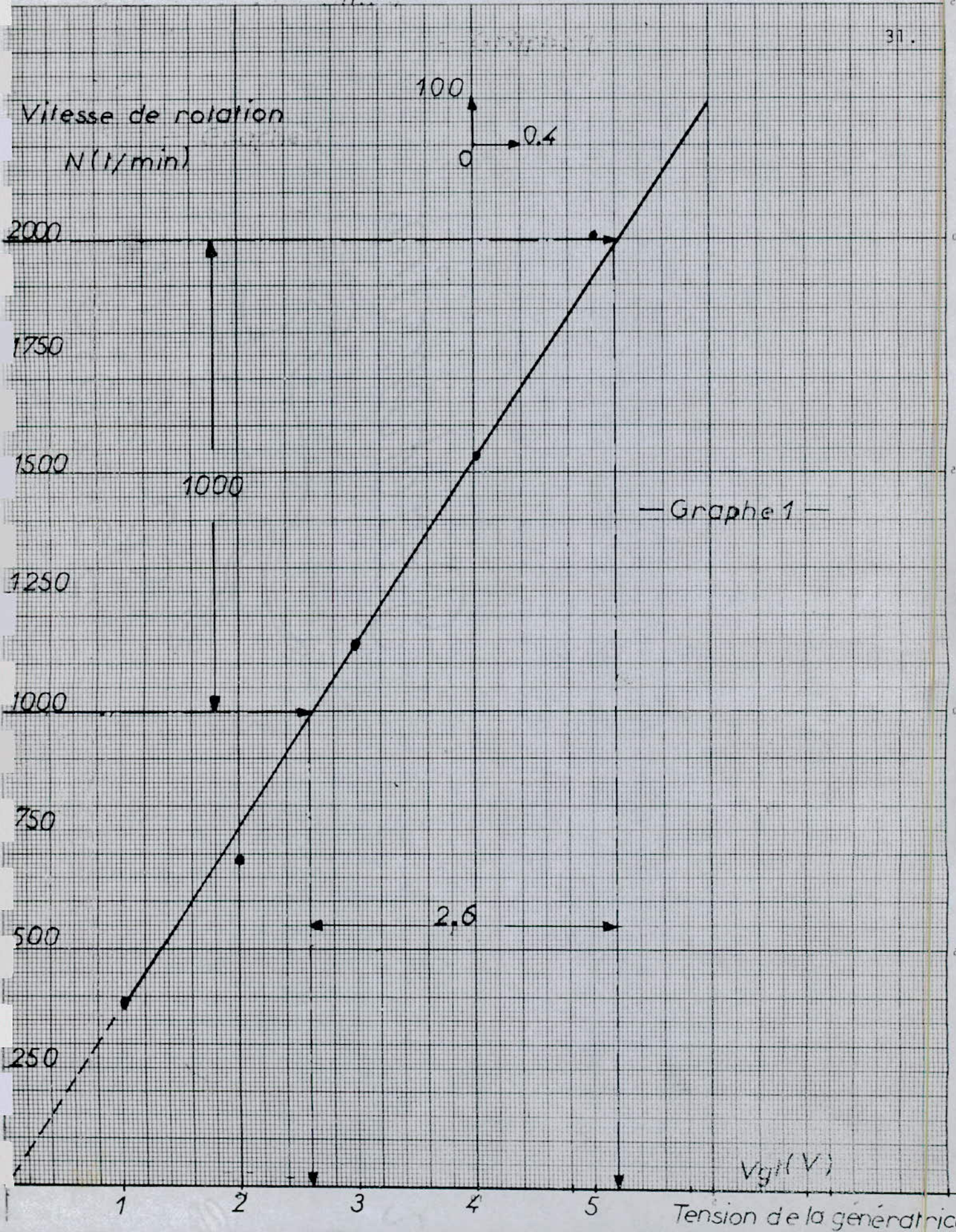
Après avoir réduit la tension d'entrée jusqu'à ce que le moteur soit sur le point de s'arrêter et mesuré les tensions (Vin) et (Vg). J'ai obtenu les valeurs représentées au tableau (tab. N° 2) et ai tracé la courbe donnant la tension d'entrée - Vitesse de rotation (Graphique N° 2). De la même courbe on peut déduire la pente $P_2 = \frac{1,5}{1000}$ ce qui donne un $P_2 = 667 \frac{\text{V}}{\text{t/min}}$.

La relation qui lie ces deux grandeurs physiques est d'ordre un (linéaire) de la forme : $P = g \cdot x + c$.

Cette droite ne passant pas par l'origine cela est dû essentiellement au frottement, que la forme électromotrice doit vaincre pour faire démarrer le moteur, celui-ci a besoin donc d'un certain signal minimum d'entrée pour pouvoir se

T A B L E A U N° 1

TENSION DE LA GENERA- TRICE TACHY. V _g (Volts)	NBRE DE ROTATIONS	TEMPS MESURE	TEMPS CONVER- TIS (MIN)	VITESSE REDUITE (t/min)	VITESSE (t/min)
1	20	1'35"	1.58	12.66	380 = 12.66x30
2	20	0'53"	0.88	22.73	682 = 22.73x30
3	40	1'03"	1.05	38.1	1 143 = 38.1x30
4	40	0'47"	0.78	51.3	1 540 = 51.3x30
5	40	0'36"	0.60	67	2 010 = 67 x 30



— Graphe 1 —

V_g (V)

Tension de la génératrice

mettre en marche. Ici : $g = 667 \cdot \frac{t/\text{min}}{\text{volt}} \cdot X + C,$

X : grandeur électrique ; g : grandeur mécanique.

III.1.4. - CARACTERISTIQUES (COUPLE DE CHARGE - VITESSE DE ROTATION) :

Après avoir placé le frein en position 10 et vérifié que l'ampèremètre du 150 D ne dépasse pas les 2 Ampères. J'ai mesuré la tension d'entrée (Vin) qui était égale à 9,7 volts, l'ampèremètre affichait $I^{\text{max}} = 1,9$ Ampères.

En passant par toutes les positions du frein magnétique, j'ai mesuré la tension de la génératrice tachymétrique (Tab. 3) et tracé la courbe du Graphe 3.

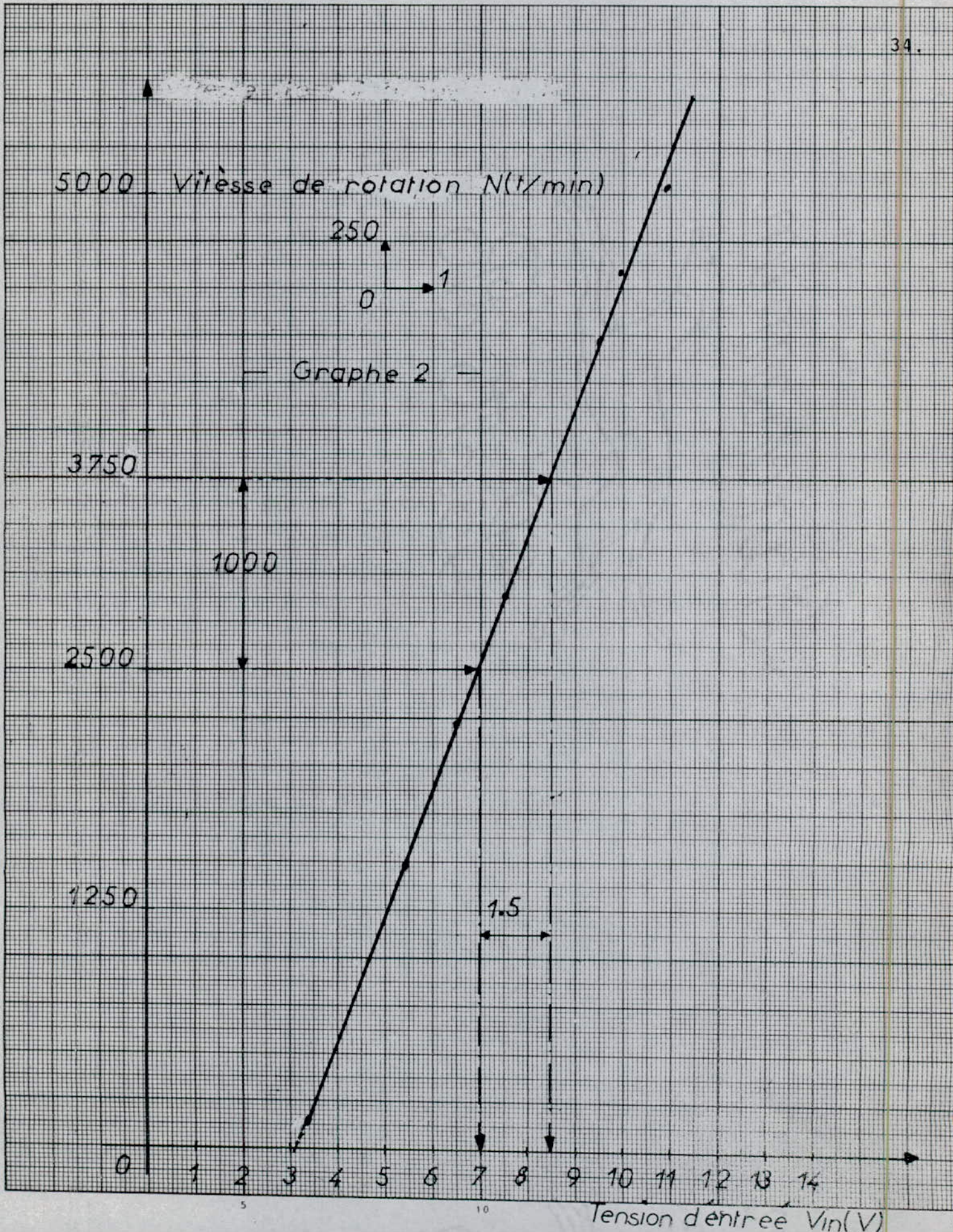
Ensuite, on a replacé le frein sur 10 et réduit la tension d'entrée pour toutes les positions du frein, celle-ci restait constante et égale à 4,8 Volts, alors que l'ampèremètre affichait presque 2 Ampères ($I^{\text{max}} = 0.9$ Am-pères). Voir Tab. 4 et Courbe 4 .

En conclusion, on peut dire que les deux courbes ont la même allure (courbe en S) décroissante.

T A B L E A U N° 2

Vind [V]	VgT [V]	N [tr/min]
3.35	0.34	131
4.3	2.38	916
4.5	2.4	924
5.5	3.8	1463
6.5	5.7	2194.5
7.5	7.5	2887.5
8.5	9.1	3503.5
9.5	11	4235
10	12.5	4812.5
11	13	5005

$$\frac{N}{[\text{tr/min}]} = \frac{VgT}{[V]} \times \frac{385}{\frac{[\text{tr/min}]}{V}}$$



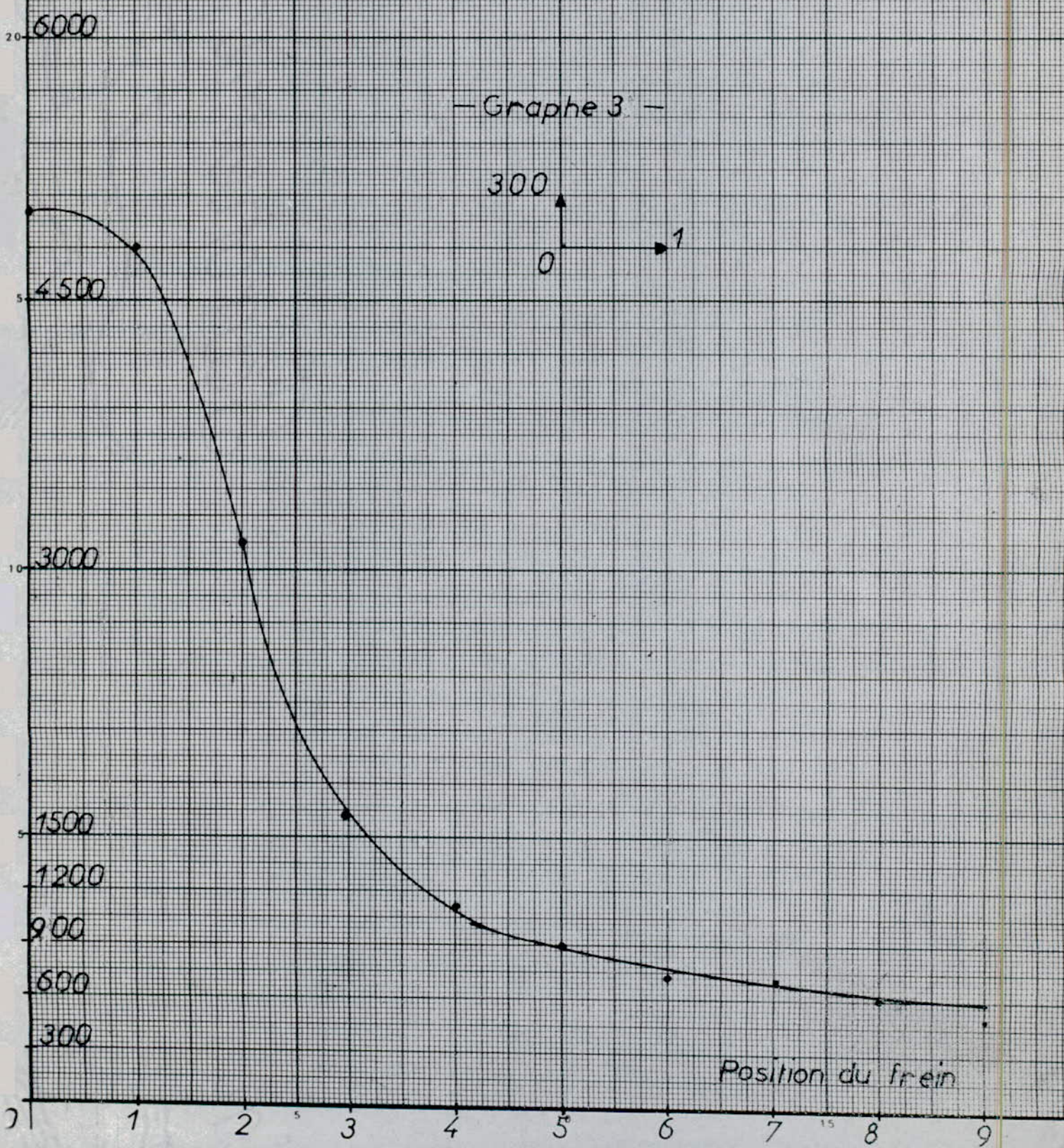
T A B L E A U N° 3

POSITION DU FREIN	VGT (V)	VITESSE DE ROTATION N (t/min)
10	1.21	$1.21 \times 385 = 465.85$
9	1.31	$1.31 \times 385 = 504.35$
8	1.6	$1.6 \times 385 = 616$
7	1.82	$1.82 \times 385 = 699$
6	2.05	$2.05 \times 385 = 789$
5	2.35	$2.35 \times 385 = 905$
4	2.82	$2.82 \times 385 = 1086$
3	4.2	$4.2 \times 385 = 1617$
2	8.2	$8.2 \times 385 = 3157$
1	12.5	$12.5 \times 385 = 4812.5$
0	13	$13 \times 385 = 5005$

$I_{max} = 1.9 \text{ A}$ d'une tension d'entrée = 9.7 Volts.

Vitesse de rotation N (tr/min)

- Graphe 3 -



Position du frein

T A B L E A U N° 4

POSITION DU FREIN	VGT (V)	VITESSE DE ROTATION N (t/min)
10	0.12	$0.12 \times 385 = 46.2$
9	0.15	$0.15 \times 385 = 57.75$
8	0.2	$0.2 \times 385 = 77$
7	0.23	$0.23 \times 385 = 88.55$
6	0.24	$0.24 \times 385 = 92.4$
5	0.32	$0.32 \times 385 = 123.2$
4	0.42	$0.42 \times 385 = 161.7$
3	0.7	$0.7 \times 385 = 269.5$
2	1.6	$1.6 \times 385 = 616$
1	2.35	$2.35 \times 385 = 904.75$
0	2.45	$2.45 \times 385 = 943.25$

$I_{max} = 0.9 \text{ A}$ à une tension d'entrée = 4.8 Volts.

III.1.5. - ETUDE DE LA REPONSE TRANSITOIRE DU MOTEUR :

Dans le cas d'un moteur à "commande d'induit" idéal (c'est à dire dans lequel les frottements constants seraient négligeables en comparaison du couple provoqué par le moteur), la vitesse de ce moteur répond de façon exponentielle à une brusque variation de la valeur d'entrée. La relation ainsi que la courbe de réponse sont de la forme que celle d'un circuit (R-C) quand celui-ci répond à une brusque variation de tension.

La forme générale de ces courbes de réponse est illustrée à la Fig.6, ayant comme équation :

* Variation indicielle d'un circuit R-C :
$$V_2 = V_1 (1 - e^{-t/\tau}) ; \tau = C. R \text{ alors : } V_2 = V_1 (1 - e^{-t/\tau})$$

* Un moteur à commande d'induit :

$$\theta_0 = K_s . V_s (1 - e^{-t/\tau_m}) ; \theta_0 : \text{vitesse de rotation.}$$

K_s : vitesse/tension appliquée.

τ_m : le temps de réponse du moteur (V. équation - 6 -).

III.2 - SYSTEME SIMPLE DE COMMANDE EN BOUCLE FERMEE

III.2.1. - OBJECTIF :

Dans cette manipulation, il sera question de la commande de vitesse en boucle fermée. Ici, la vitesse réelle sera comparée à la vitesse désirée. L'amplificateur opérationnel aura pour fonction de comparer ces grandeurs (un comparateur).

Le schéma électrique de cette disposition est donnée à la Fig.7.1. (manuel I).

Dans ce système de contrôle de vitesse, la tension de la génératrice tachymétrique est effectivement comparée à une tension de référence pour annuler un signal d'erreur qui finalement entraîne le moteur. Ici, la vitesse dépend essentiellement de la tension de référence appliquée.

Dans le schéma fonctionnel de la Fig.12.

La boucle d'action fournit : $\theta_0 = K.E \dots (32)$.

K : étant le gain du système.

La boucle de retour fournit : $E' = K_g \cdot \theta_0 \dots (33)$

K_g : étalonnage de la génératrice tachymétrique.

L'erreur : $E = V_{ref} - E' = V_{ref} - K_g \cdot \theta_0 \dots (34)$

éliminant l'erreur E , tel que : $\theta_0 = K (V_{ref} - K_g \cdot \theta_0)$

$$\theta_0 = K.V_{ref} - K.K_g.\theta_0 \longrightarrow 1 = \frac{K.V_{ref}}{\theta_0} - K.K_g \longrightarrow 1 + K.K_g = \frac{K.V_{ref}}{\theta_0}$$

$$\longrightarrow \theta_0 = \frac{K}{1 + K.K_g} \cdot V_{ref} \dots (35).$$

Si K augmente (quand le gain du système tend vers l'infini).

$$\theta_0 = \frac{V_{ref}}{K_g} \dots (36) \text{ pour } K_g \text{ constant}$$

$$\theta_0 \approx V_{ref} ;$$

Etudions maintenant, l'effet du gain sur l'erreur du système. Remplaçons l'équation (33) dans (34), on obtiendra :

$$E = V_{ref} - K_g.K.E \longrightarrow 1 = \frac{V_{ref}}{E} - K_g.k$$

d'où : $E = \frac{V_{ref}}{1 + K_g.K}$; ce qui montre aussi que l'erreur diminue à mesure que s'accroît le gain du système de régulation.

* Processus expérimental.

Après avoir suivi le processus de réglage décrit dans la page 60, manuel I. J'ai relevé, la tension d'erreur, de référence et de la génératrice tachymétrique. Ensuite, en utilisant le facteur d'étalonnage de la manipulation III.1. J'ai calculé la vitesse. Toutes ces valeurs ont été représentées au Tableau 5, ce qui m'a permis de tracer la courbe N° 5 [Vitesse - tension d'entrée], celle-ci possède, une allure tout à fait linéaire et ne passant pas par l'origine, il a fallu une tension supérieure à 3,4 Volts pour faire démarrer le moteur.

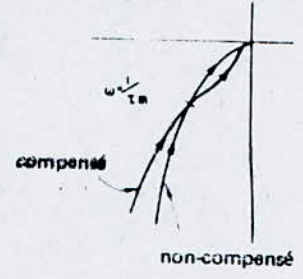
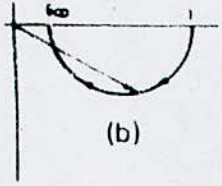
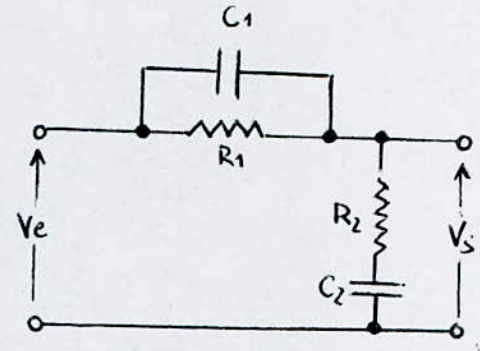
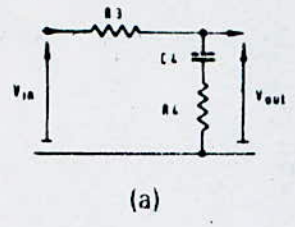
Remarque :

- a) En comparant la courbe N° 5 à celle de la courbe N° 2, on peut conclure qu'elles sont identiques du point de vue allure.
- b) La tension de référence doit être supérieure à la tension tachymétrique, car dans le cas continu on ne peut actionner le moteur.

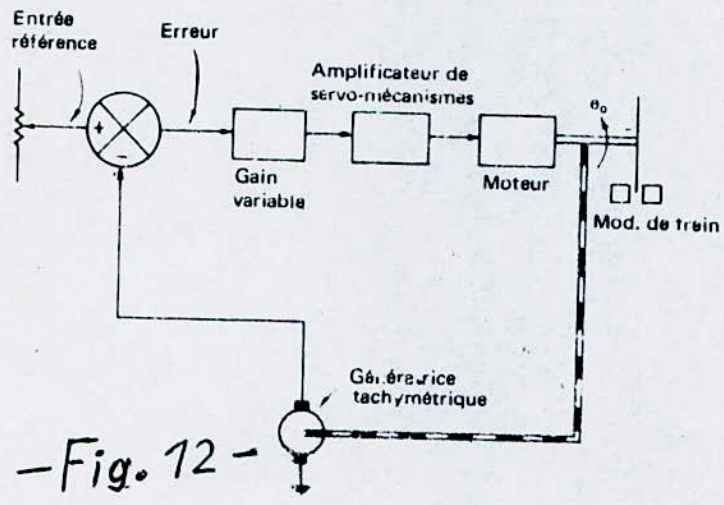
III.3 - ETUDE DE L'EFFET DE VARIATION DE GAIN SUR LA ZONE MORTE

III.3.1. - MANIPULATION 1 : REALISATION D'UNE CHAINE D'ERREUR

Dans cette manipulation, on va réaliser une "chaîne d'erreur". C'est à dire qu'on utilise les tensions des deux potentiomètres V1 et V2 pour faire varier la tension d'erreur

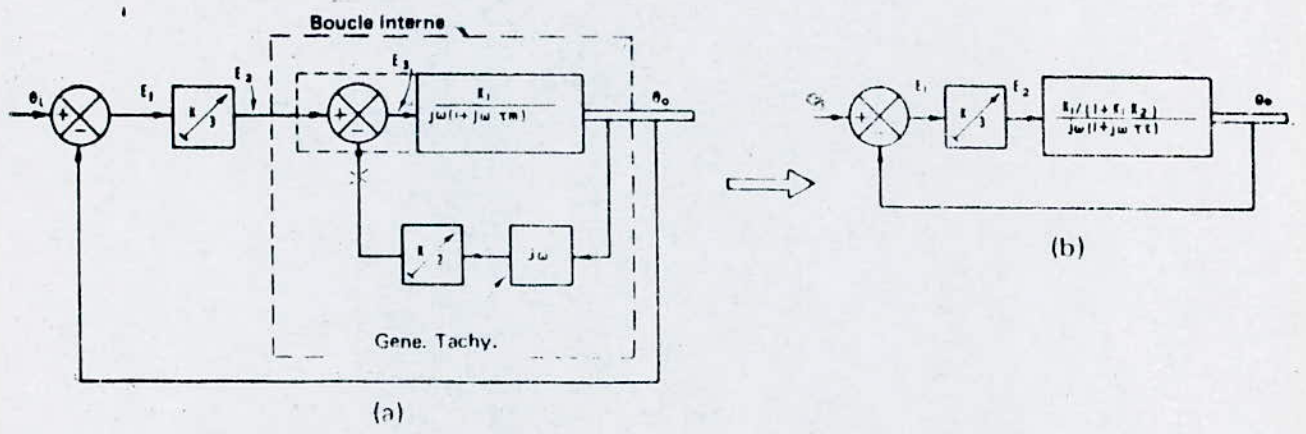


—Fig. 9—



—Fig. 10—

—Fig. 12—



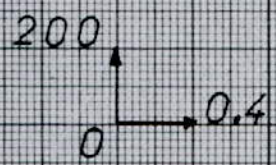
—Fig. 11—

T A B L E A U N° 5

POSITION	TENSION DE REFERENCE	TENSION DE LA GENERATRICE TACHYMETRIQUE	TENSION D'ERREUR	VITESSE : N / $\frac{\text{tours}}{\text{min.}}$
3.5	4.42	0.3	3.5	200.1
4	5.4	0.92	3.85	614
5	7.1	2.1	4.4	1400.7
6	8.6	3.1	4.9	2070
7	10	4.1	5.4	2735
8	11.4	5.1	5.9	3402
9	12.8	6.1	6.4	4070
10	14	6.92	6.7	4616

Vitesse de rotation $N(t/min)$

— Graphe 5 —



4000

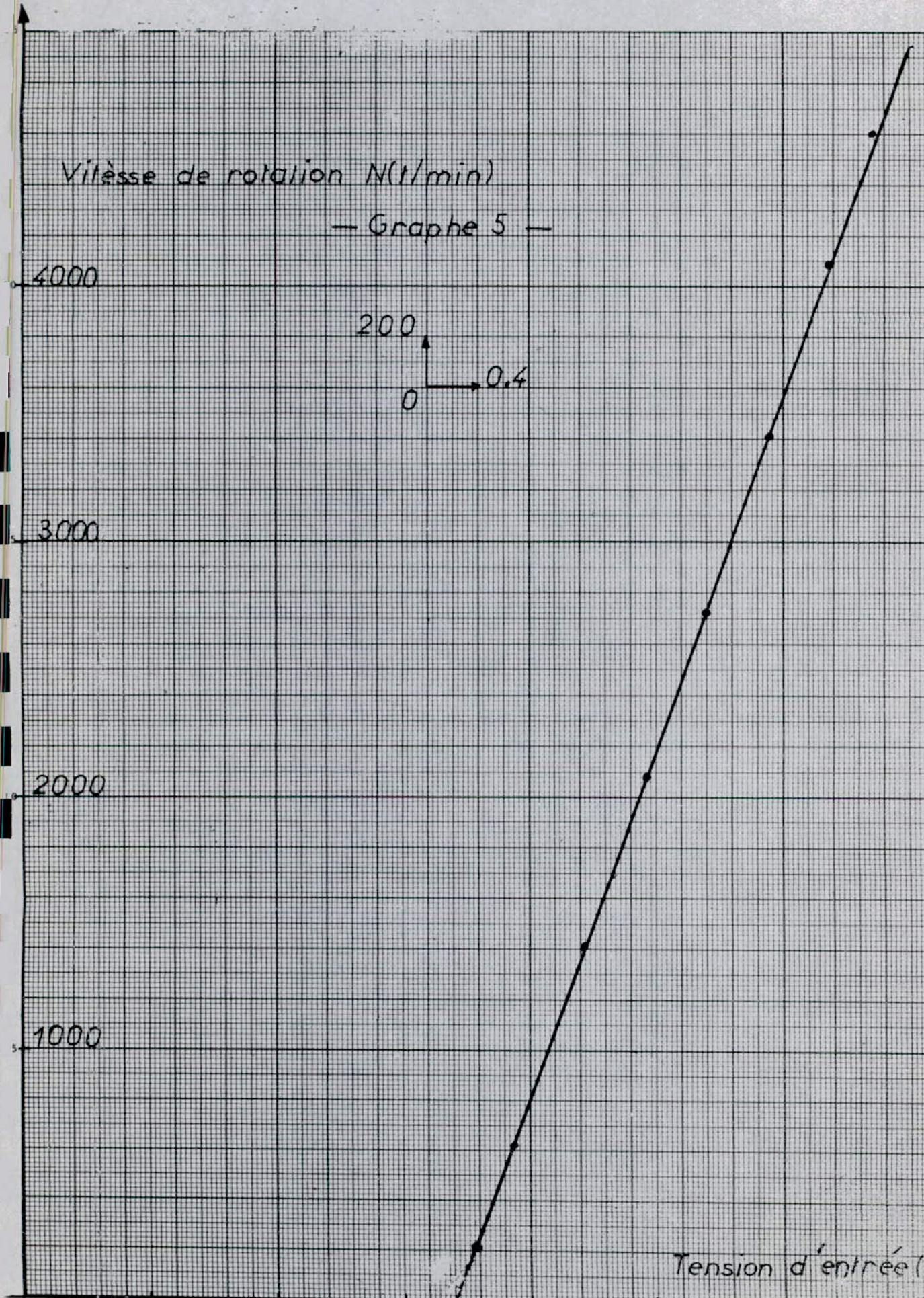
3000

2000

1000

Tension d'entrée (V)

1 2 3 4 5 6 7



V_o : à la sortie de l'amplificateur. Avec cette expérience, je voudrais déterminer "le facteur d'erreur" K_e celui-ci donne le rapport Volts/degré d'écart angulaire.

Faites le montage de la Fig.4.2. et suivre le processus de réglage décrit dans le manuel I.

Les valeurs mesurées, je les ai représenté au Tableau 6 et tracé la courbe (la droite) donnant la tension d'erreur (V_o) en fonction de la position angulaire du potentiomètre d'entrée en degrés. Courbe 6.

A partir de cette courbe, j'ai déterminé le facteur d'erreur (K_e) en calculant la pente de la droite

$$p_3 = \frac{2 \text{ Volts}}{20 \text{ degrés}} = 0,1 \frac{\text{Volt}}{\text{degré}}$$

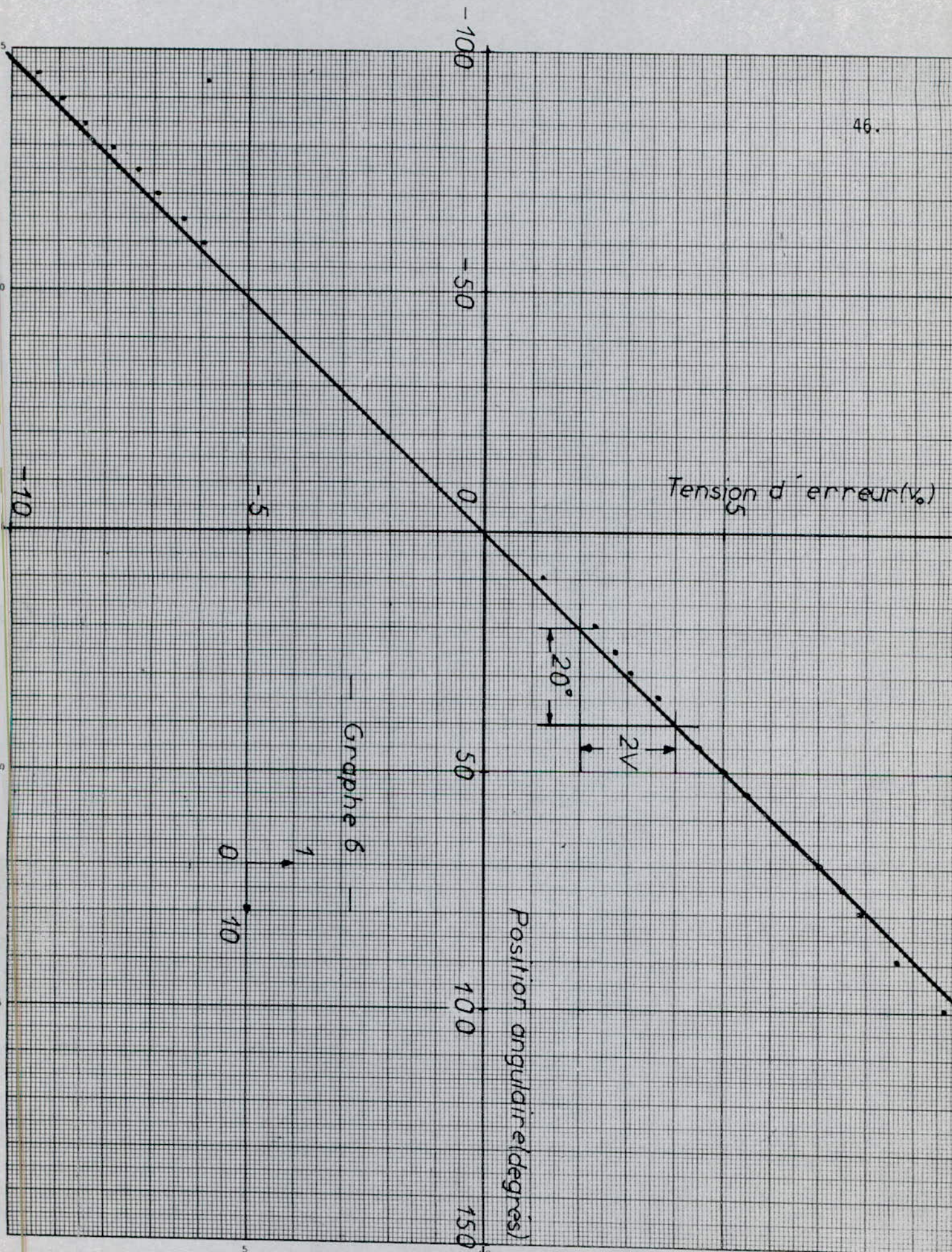
$$\text{d'où : } K_e = 0,1 \frac{\text{Volt}}{\text{degré}}$$

Le constructeur de ces potentiomètres (la Firme Feedback) avait estimé que la piste de ces appareils est de 300° degrés pour une tension de 30 Volts, d'où on peut déduire $K_e = \frac{30 \text{ Volts}}{300 \text{ degrés}} = 0,1 \frac{\text{Volt}}{\text{degré}}$.

III.3.2. - MANIPULATION 2 : ETUDE DE L'EFFET DE VARIATION DE GAIN SUR LA ZONE MORTE :

Dans cette manipulation, on fera varier le gain pour mesurer la zone morte. Celle-ci est définie comme étant le signal d'entrée minimum exigé pour obtenir une réponse du système.

Pol.d'entrée (degrés)	Amplificateur sortie Vo (Volts)	Pol.d'entrée (degrés)	Amplificateur sortie Vo (Volts)
10	1.3	100	11.2
20	2.32	140	11.2
25	2.6	150	11.2
30	3.1	-60	5.8
35	3.55	-65	6.2
40	4	-70	6.7
45	4.5	-75	7.1
50	5	-80	7.7
55	5.5	-85	8.15
60	6	-90	8.6
65	6.4	-95	9.1
70	7.0	-100	9.8
75	7.3	-105	10.1
80	7.8	-110	10.7
90	8.65	-115	
100	9.6	-120	11.1
110	10.3		
120	11.1		



Graph 5

1
0
10

Position angulaire (degrees)

Tension d'erreur (%)

20°

2V

Exemple : dans la manipulation 1, on avait déterminé un facteur d'erreur : $K_e = 0,1 \frac{V}{\text{degré}}$. Donc, si, par exemple un écart de ± 20 degrés (correspondant à une erreur de ± 20 degrés $\times 0,1 \frac{\text{Volt}}{\text{degré}} = \pm 2$ V) est nécessaire avant que le moteur réponde, on dira qu'il existe une zone morte totale de 40 degrés.

Faites le montage de la Fig.8.1. et suivre le procédé de réglage de la page : 70 du manuel I.

Le tableau de mesure, comporte les gains de 0 à 5 et les valeurs correspondantes de la zone morte (Tableau 7).

Comme il a été demandé, j'ai tracé le graphe donnant le gain en fonction de la zone morte totale. (Grappe 7a) et (Grappe 7b) donnant l'intervalle de la zone morte en fonction du gain.

III.4 - EFFET DE LA REACTION TACHYMETRIQUE SUR UN SYSTEME DE COMMANDE DE POSITION :

Vous devez maintenant connecter les appareils comme sur la Fig.9.7. du manuel I.

Suivre le processus de réglage de la page 81.

Pour des différents gains 1, 2, 5 et 10, faire varier l'intensité de réaction tachymétrique en 2, 5 et 10. L'oscilloscope fournit ces valeurs de tension, que vous mesuriez et dressez comme au tableau de la Fig.9.8. page 81 du manuel I.

La Fig.13 montre les différentes réponses que l'on peut obtenir pour des réactions tachymétriques d'intensités différentes.

Remarque : Avec l'intensité correcte de réaction tachymétrique, on obtient la réponse la plus rapide et sans dépassement. Alors on parle "d'un amortissement critique".

- Cas d'une contre-réaction excessive de la génératrice tachymétrique.

Une contre-réaction excessive de la génératrice tachymétrique accroît l'amortissement et ralentit la réponse.

L'amortissement critique ($\xi = 1$), ou : $\xi = \frac{1}{2} \frac{(1+K_1K_2)}{\sqrt{K_1K_3\tau_m}}$... (31b)

$$1 + K_1 K_2 = 2 \sqrt{K_1 K_3 \tau_m} \quad \text{ou } K_2 = \frac{2 \cdot \sqrt{K_1 K_3 \tau_m} - 1}{K_1}$$

$$K_2 = \frac{2 \cdot \sqrt{K_1 K_3 \tau_m} - 1}{K_1} . \text{ Pour notre montage, } K_1 = 40 \text{ pour}$$

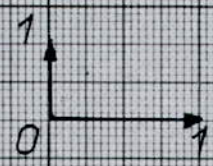
$\tau_m = 0,25$ s et si K_3 (le contrôle de gain) = 50 % on obtient un amortissement critique pour $K_2 = 0,088$ et puisque $K_2(\max) = 0,14$ donc la valeur de $K_2 = 0,088$ correspond à environ 62,8 % de la contre-réaction de la génératrice tachymétrique.

T A B L E A U N° 7

G	Rotation en degrés		La Zone morte ou seuil/ degrés	En Volts
	Sens de l'aiguille d'une montre	Sens contraire		
1	+ 9	- 9	18	1,8
2	+ 5,5	- 3,5	9	0,9
3	+ 4	- 2	6	0,6
4	3	- 1,5	4,5	0,45
5	3	- 1	4	0,4

20. Zone morte en degrés

— Graphe 7a —



15

10

5

4

3

2

1

0

1

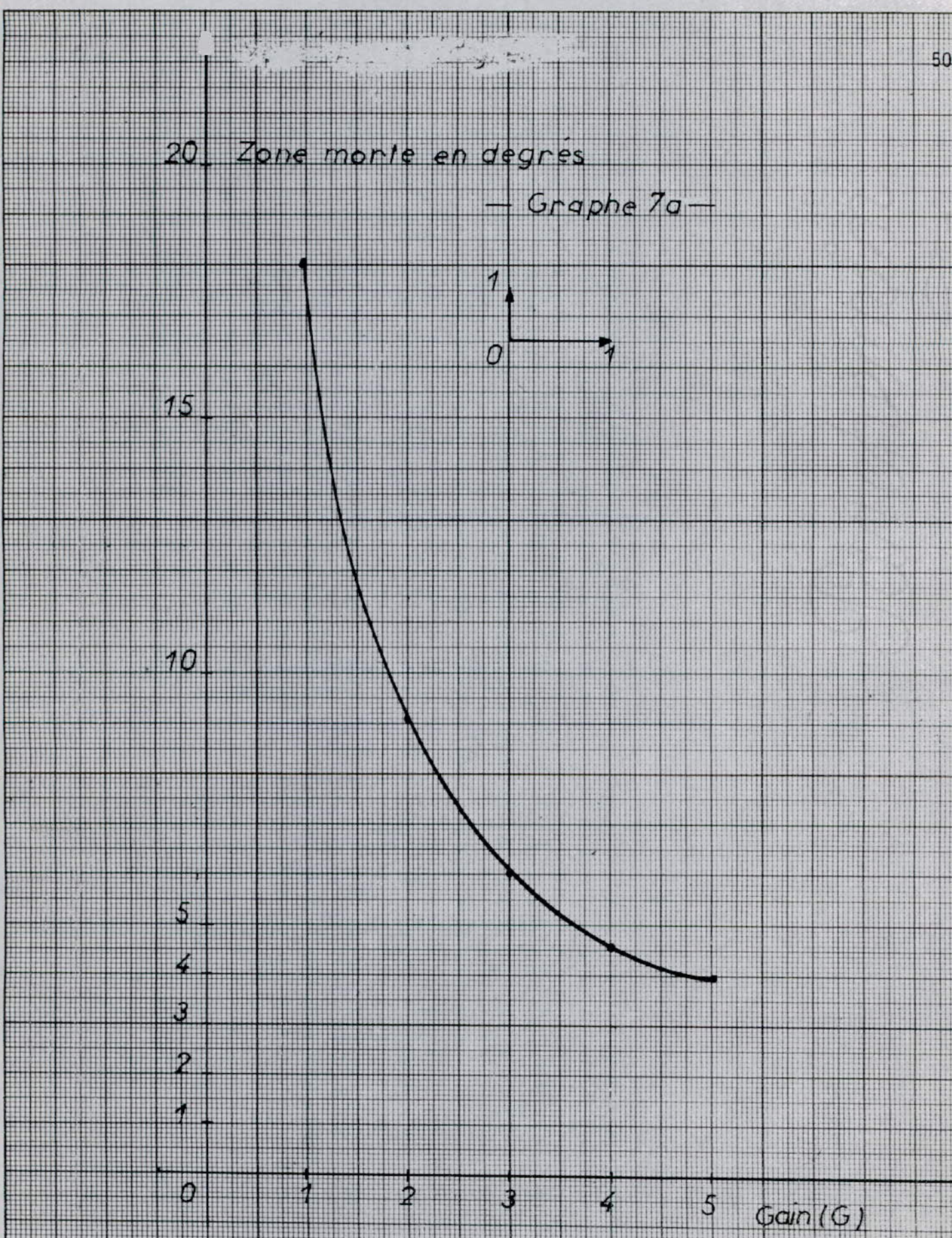
2

3

4

5

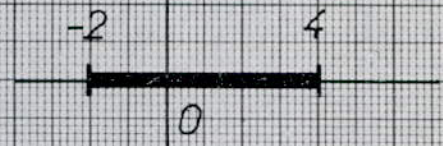
Gain (G)



$G=1$

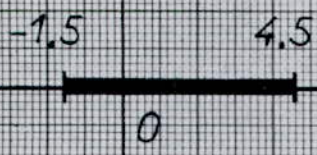


$G=3$

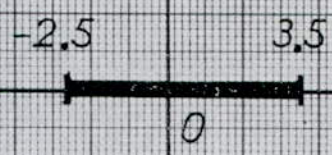


51.

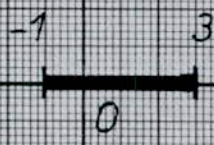
$G=4$



$G=2$



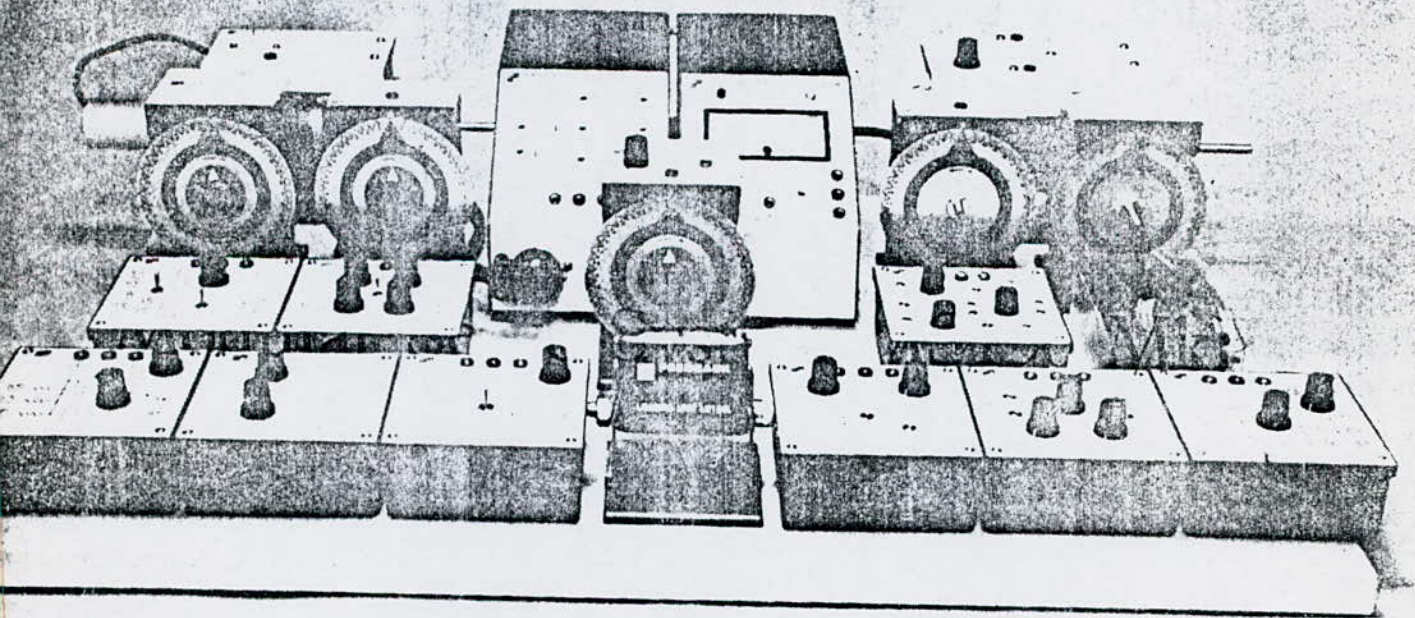
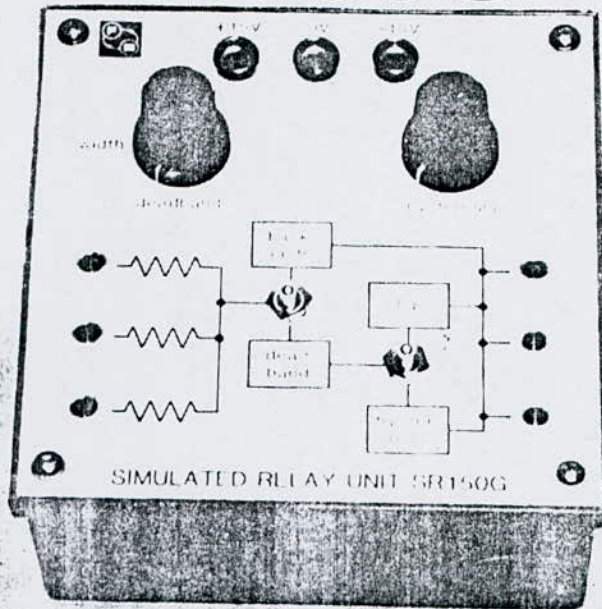
$G=5$



Variation de la zone morte en fonction du gain

— Graphe 7b —

Simulated Relay System SR150G



FEEDBACK

III.5 - ETUDE DES CARACTERISTIQUES DU RELAIS

III.5.1. - PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT (FIG.14) :

La tension (V) appliquée aux bornes de la bobine fournit le courant (i). Un aimant, se déplaçant de bas en haut ferme le circuit et permet la création d'un courant (I) beaucoup plus grand que (i).

Le mouvement contraire élimine ce courant.

III.5.2. - FONCTIONNEMENT :

Un moteur peut-être commandé non seulement par un amplificateur, mais aussi par un relais.

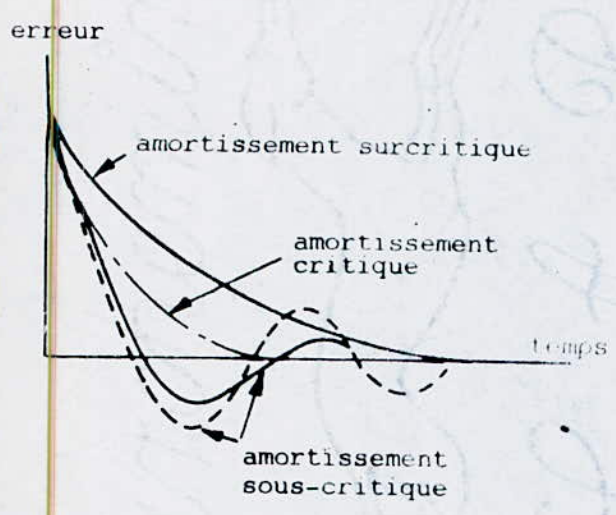
Ceci s'effectue comme suit : le signal d'erreur déclenche la bobine du relais qui elle commute le courant destiné à l'alimentation du moteur.

Ce relais possède trois positions :

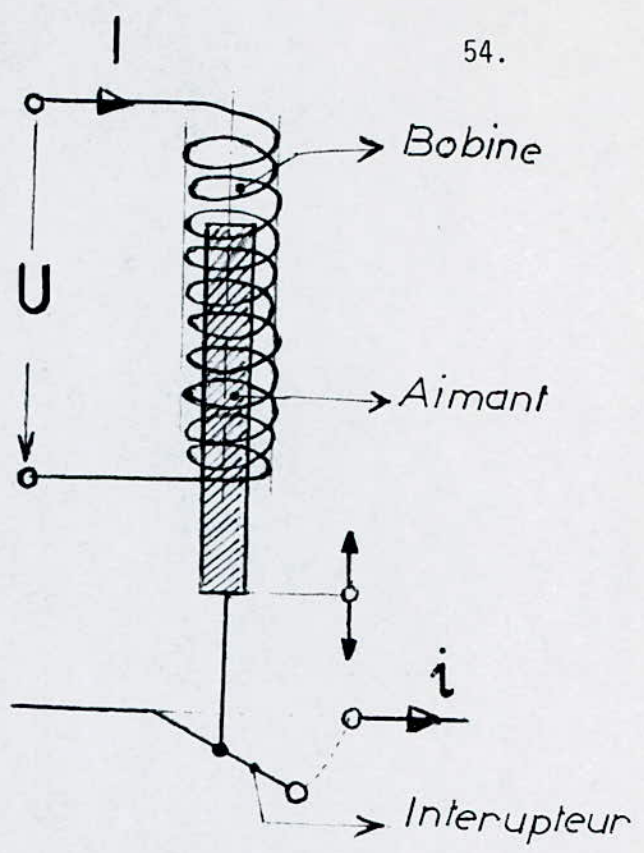
- . La position d'arrêt (la position de "0").
- . La position (+).
- . La position (-).

III.5.3. - AVANTAGE ET INCONVENIENT DE L'UTILISATION D'UN RELAIS :

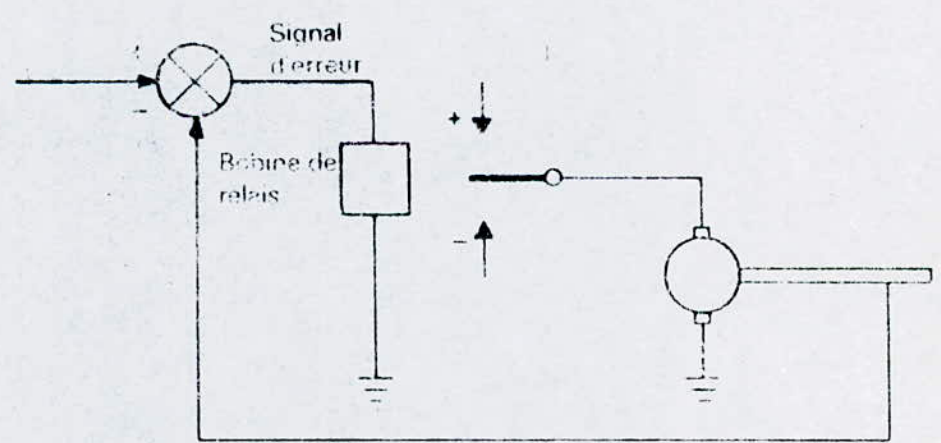
Le principal avantage de l'utilisation d'un relais est qu'un faible courant appliqué à la bobine peut commander



—Fig. 13—



—Fig. 14—



—Système de régulation commandé par relais

— Fig. 15 —

un courant beaucoup plus important, alimentant le moteur.

Ces systèmes présentent par contre un inconvénient : le relais fonctionne par "tout ou rien".

De ce fait, ce système ne peut en aucun cas atteindre la précision de performance d'un système à amplificateur de puissance.

III.5.4. - PROCESSUS EXPERIMENTAL :

Pour obtenir et visualiser les caractéristiques de non linéarité du Relais SR 150 G. Faire le montage de la Fig. Fig.16 et suivre le processus de réglage décrit dans la page 4 du manuel III.

Les courbes types que vous allez obtenir sont représentées dans les Fig.17 et 18. Toutes ces courbes illustrent la forme de non-linéarité de ce module.

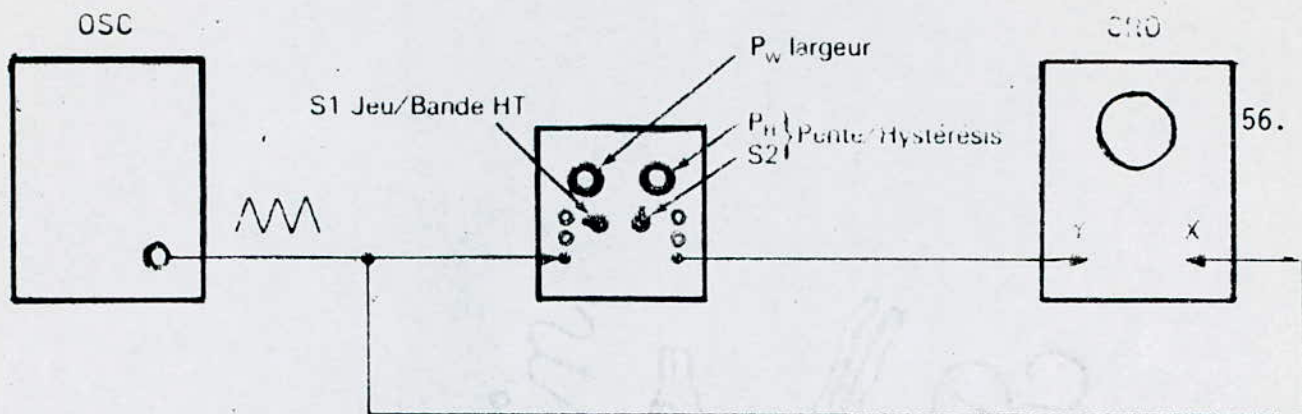
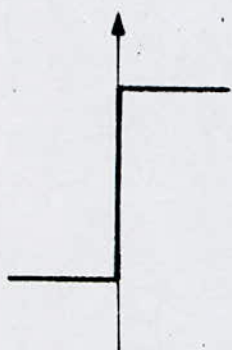
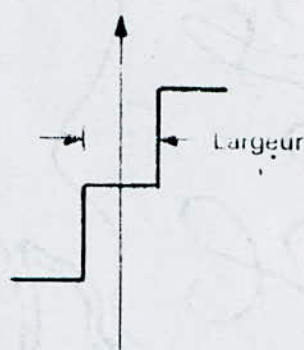


Fig.16 Disposition expérimentale

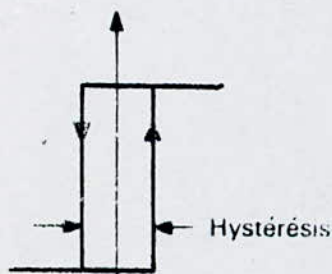
Fig.17 Caractéristiques de relais



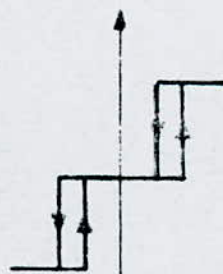
a) Tout ou rien



b) Tout ou rien et seuil

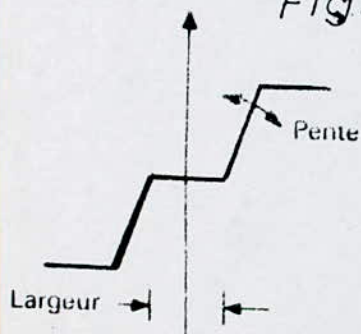


c) Hysteresis

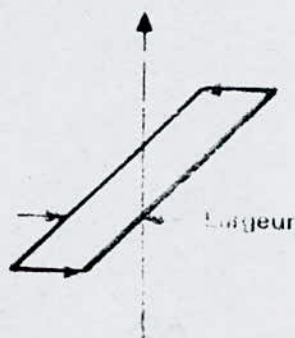


d) Tout ou rien, seuil et Hysteresis

Fig.18 Autres caractéristiques



Seuil et Hysteresis



Hysteresis

C H A P I T R E I V - A

TRAVAUX P R A T I Q U E S P O S S I B L E S

A M E T T R E E N C O R E E N O E U V R E A V E C L E M A T E R I E L D I S P O N I B L E

CHAPITRE IV - A

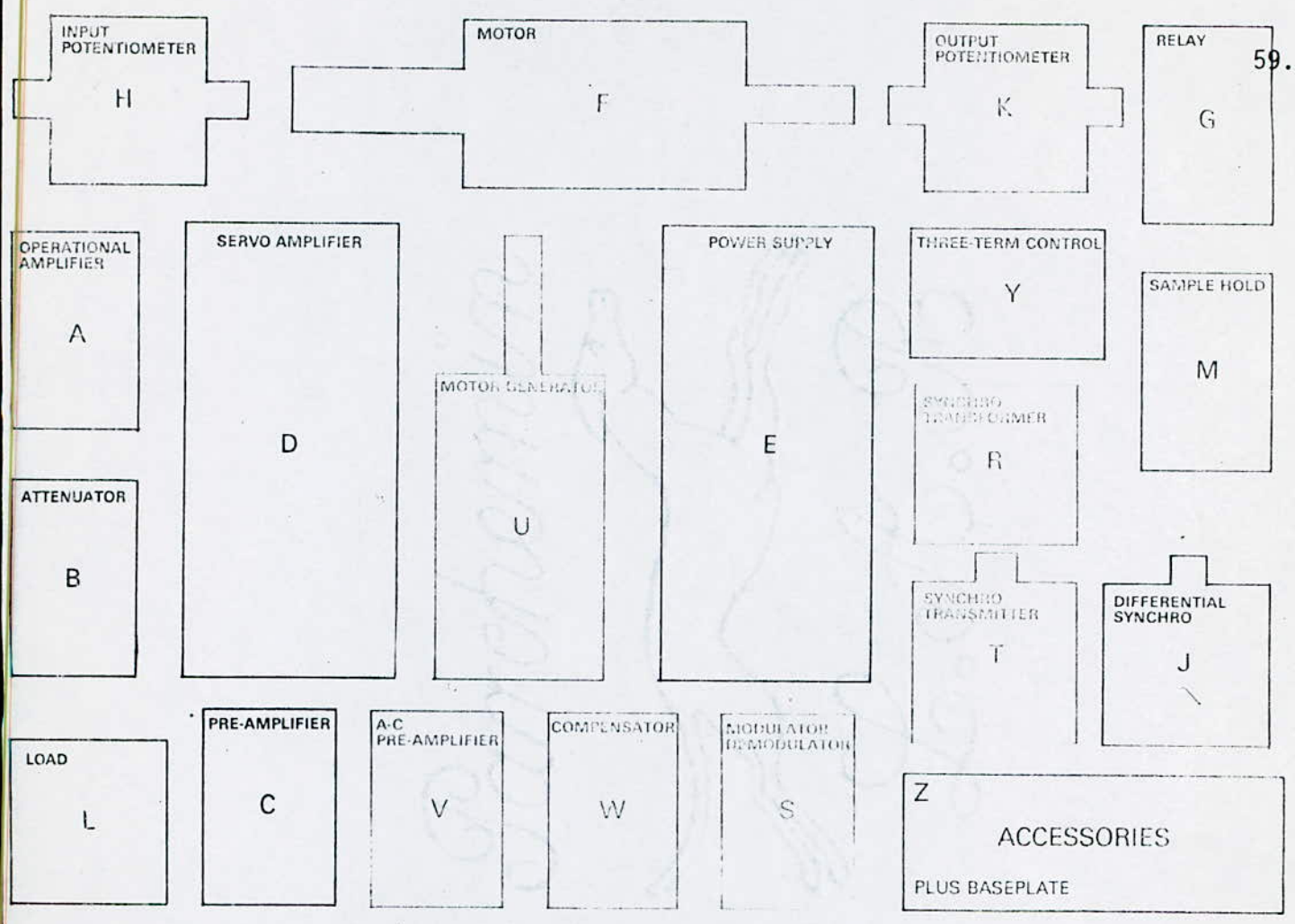
TRAVAUX PRATIQUES POSSIBLES A METTRE ENCORE EN OEUVRE AVEC MATERIEL DISPONIBLE

Le matériel disponible se compose d'éléments du système "Servo courant continu MS 150", plus "le relais simulateur, SR 150 G". (Voir le tableau de la Fig.19).

Malheureusement, nous n'avons pas pu acquérir le reste du matériel pour pouvoir effectuer les autres manipulations.

Je cite l'unité 150 Y : c'est le module de commande PID ainsi que l'unité 150 M : module d'échantillonnage et de maintien. C'est pour cela, qu'au chapitre V, je me contenterai de faire l'étude théorique des systèmes de régulation comportant ces deux derniers éléments.

Le Kit disponible fournit une gamme très variée de travaux pratiques, que je décrirai en bref dans ce chapitre. Par manque de temps, nous n'avons pas pu réaliser toutes ces expériences.



COMPOSITION DU KIT

Type de système Eléments fournis avec chaque équipement

Type de système	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	R	S	T	U	V	W	Y	Z
Servo complet MS150-1																				
Système modulaire continu/alternatif MS150-2								H		K	L		R	S	T	U	V	W		
Servo courant continu MS150								H		K	L									Z
Servo courant alternatif MS150A				D	E					K	L		R	S	T	U	V	W		Z
Conversion de continu à hybride alternatif/ continu 150RST.													R	S	T					
Conversion de hybride à alternatif complet 150UVW																U	V	W		
Conversion de continu à alternatif complet 150RST/UVW													R	S	T	U	V	W		
Conversion de alternatif à alternatif/ continu complet			C			F	G	H												
Relais simulateur 150G							G													
Théorie échantillonnage et maintien 150M													M							
Synchro-différentiel 150J									J											
Module de commande PID 150Y														Y						

Z = élément de base, câbles et manuels

Fig.19 MS150 MkII SERVO SYSTEMS

IV.A.1. - PROPRIETES DE L'AMPLIFICATEUR OPERATIONNEL :

Si on se demande ce que c'est qu'un amplificateur opérationnel, on dira que c'est un amplificateur à gain très élevé (jusqu'à 10^6), son avantage, c'est qu'il peut être utilisé dans un circuit simple et qu'il peut accomplir des opérations mathématiques avec un très haut niveau d'exactitude. Je me contente de dire que l'amplificateur opérationnel peut aussi être utilisé comme comparateur, comme nous l'avons déjà vu dans nos manipulations précédentes.

Dans le but de vérifier l'effet de sommation de l'amplificateur opérationnel, utiliser le montage de la Fig.2.5. (page 22) du manuel I.

IV.A.2. - CARACTERISTIQUES DU MOTEUR - REGLAGE DE CHAMPS :

Cette manipulation, permet de connaître le comportement du moteur avec un montage autre que celui du "réglage d'induit" (pont F : commande d'inducteur) du servoamplificateur.

En ce mode de commande, la force contre-motrice à beaucoup moins d'effet sur le courant du moteur, ce qui veut dire que le courant du transistor circule entièrement dans le moteur. C'est à dire, que le moteur est connecté de façon à laisser passer le même courant à la fois, à travers l'excitation et l'induit.

Remarque : Quand la machine est connectée en réglage de champs, celle-ci possède un couple de démarrage élevé

et une mauvaise régulation de vitesse. (Voir, courbe Fig.3.4. et circuit électrique).

Connecter comme dans le montage de la Fig.3.10. du manuel I.

IV.A.3. - SYSTEME SIMPLE DE COMMANDE DE POSITION :

La manipulation 5.1. du manuel I : Exemple d'un système manuel de commande de position. Cette manipulation établit un système de commande produisant une erreur qui est corrigée manuellement à la sortie.

La manipulation 5.2. du même manuel : Démonstration d'un système simple de commande de position en boucle ouverte entraîné par un moteur. Rend le système automatique en connectant un motoréducteur. La rotation du moteur ne s'effectue que dans un sens.

IV.A.4. - SYSTEMES SIMPLES DE COMMANDE EN BOUCLE FERMEE :

Travaux pratiques 6.1. : Caractéristiques du pré-amplificateur. Câbler comme dans la Fig.6.1., page 5.1.

Travaux pratiques 6.2. : Démonstration du système simple de commande de position en boucle fermée actionné par un moteur.

Ici, un signal d'erreur provenant de l'amplificateur opérationnel est utilisé pour actionner un potentiomètre de sortie. Câbler comme dans la Fig.6.5., page 54.

IV.A.5. - SYSTEME SIMPLE DE COMMANDE DE VITESSE :

La deuxième partie de la manipulation 7.1. montre les effets de la charge sur la vitesse pour un gain constant (10 et 100)%, puis l'effet de la charge sur la correction V_0 . (Courbe de la Fig.7.3.). Câbler comme dans la Fig.7.5.

Manipulation 7.3. : Système simple réversible de commande de position. Pour réaliser cette expérience, faites le montage de la Fig.7.8. et suivre le processus de réglage de la page 64 à 65.

IV.A.6. - EFFET DE L'INERTIE SUR LE TEMPS DE REPONSE (T.P.8.3) :

Cette manipulation, montre comment, l'augmentation de l'inertie du moteur provoquera une réponse transitoire plus lente.

Faites le même montage de la Fig.8.3. et placer le disque d'inertie sur l'arbre à haute vitesse du moteur.

IV.A.7. - EFFET DU FREIN MAGNETIQUE SUR LE DEPASSEMENT (T.P.9.1) :

Celle-ci a un rapport avec les problèmes posés par le dépassement et le moyen utilisé pour empêcher cela est l'utilisation d'un frein magnétique (à courant de Foucault). Faites le montage de la Fig.9.1.

CHAPITRE IV-B

TRAVAUX PRATIQUES POSSIBLES A METTRE ENCORE EN OEUVRE AVEC LE MATERIEL COMPLEMENTAIRE

IV.B.1. - PRESENTATION DU MATERIEL COMPLEMENTAIRE

Le matériel complémentaire ne nous a pas encore été fourni, par la firme Feedback Ltd se compose des éléments composant le système continu à l'ensemble complet 150 RST/UVW".

A METTRE ENCORE EN OEUVRE AVEC LE MATERIEL COMPLEMENTAIRE

En plus des éléments suivants :

- l'élément 150 M : élément d'échantillonnage et de maintien,
- l'élément 150 J : élément synchro-différentiel,
- l'élément 150 Y : élément de régulation PID.

IV.B.2. - DESCRIPTION SOMMAIRE DES ELEMENTS CITES CI-DESSUS

IV.B.2.1. - DESCRIPTION DES ELEMENTS : 150T, 150Y et 150J

Ces éléments sont des transducteurs de position

C H A P I T R E I V - B

TRAVAUX PRATIQUES POSSIBLES A METTRE ENCORE EN OEUVRE
AVEC LE MATERIEL COMPLEMENTAIREIV.B.1. - PRESENTATION DU MATERIEL COMPLEMENTAIRE :

Le matériel disponible qui ne nous a pas encore été fourni , par la Firme Feedback Ltd se compose des éléments composant le système de "Conversion du continu à l'alternatif complet 150 RST/UVW".

En plus des éléments suivants :

- l'élément 150 M : élément d'échantillonnage et de maintien,
- l'élément 150 J : élément synchro-différentiel,
- l'élément 150 Y : élément de régulation PID.

IV.B.2. - DESCRIPTION SOMMAIRE DES ELEMENTS CITES CI-DESSUS :IV.B.2.1. - DESCRIPTION DES ELEMENTS : 150T, 150R et 150J :

Ces éléments sont des transducteurs de position

ressemblant au moteur électrique et fonctionnant en tension alternative.

Ils permettent de transmettre l'indication de position angulaire à distance, avec une très grande précision et sans problèmes de contact. Ces trois éléments sont disponibles chez Feedback.

IV.B.2.2. - LE DEMODULATEUR 150.S (Fig.11.2a) du manuel I.

C'est un redresseur à double alternance commuté électriquement.

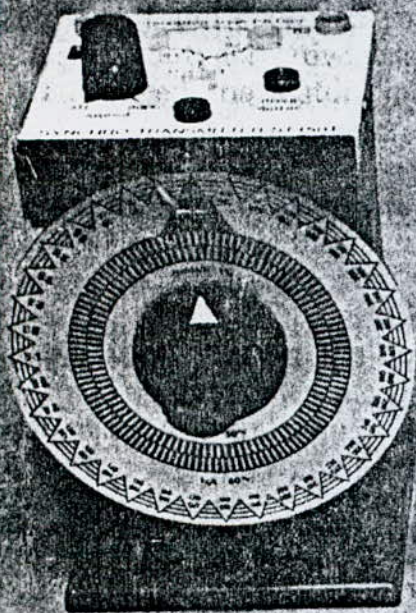
IV.B.2.3. - MODULE MOTEUR-GENERATRICE MT 150 u (Fig.13.3. du manuel I).

La Fig. 13.3.(a) montre la structure générale du module.

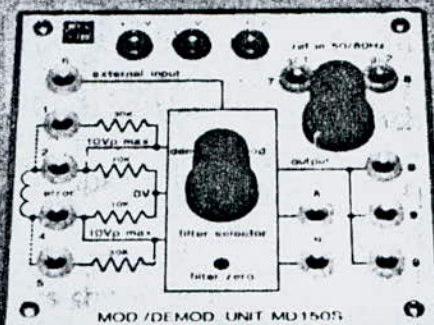
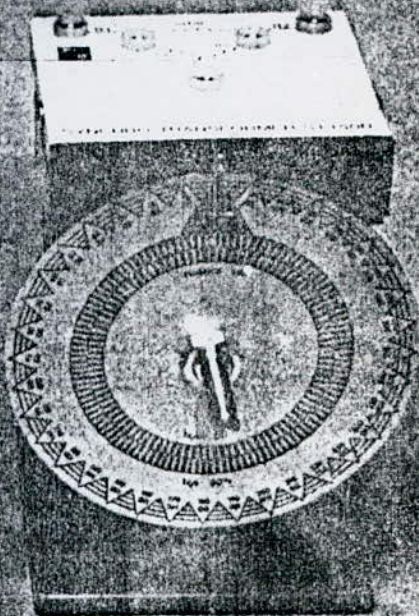
IV.B.2.4. LE PRE-AMPLIFICATEUR ALTERNATIF PA 150 V
(Fig.13.4.a du manuel I).

Le module pré-amplificateur alternatif est la combinaison d'un amplificateur opérationnel faisant la somme de plusieurs signaux d'erreur, et d'un déphaseur réglable.

Synchro Transmitter Unit 150T



Synchro Transformer Unit 150R



Modulator/Demodulator 150S



IV.B.3. - MANIPULATIONS A COURANT ALTERNATIF

IV.B.3.1. - COUPLAGE SYNCHRO D'ERREUR :

- a) Mesure de la sortie du transmetteur
- b) Détermination du zéro électrique du transmetteur,
- c) Mesure de la sortie du comparateur,
- d) Détermination du zéro électrique du comparateur,
- e) Commande directe de position à synchro.

IV.B.3.2. - LE DEMODULATEUR (Leçon 11) :

- a) Fonctionnement du démodulateur.

IV.B.3.3. - SYSTEME ASSERVI A COUPLAGE SYNCHRO (Leçon 12) :

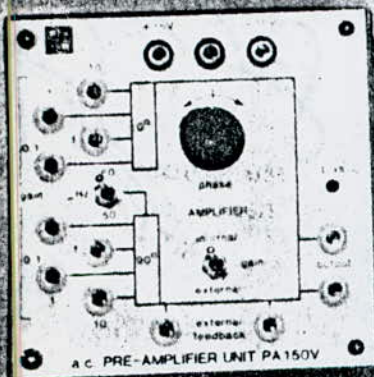
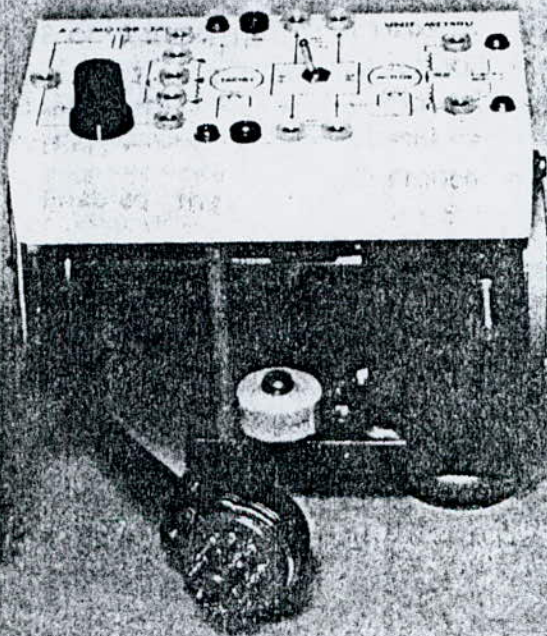
- a) Système de commande de position synchro,
- b) Réponse transitoire du système.

IV.B.3.4. - ELEMENTS ASSERVIS A COURANT ALTERNATIF (Leçon 13) :

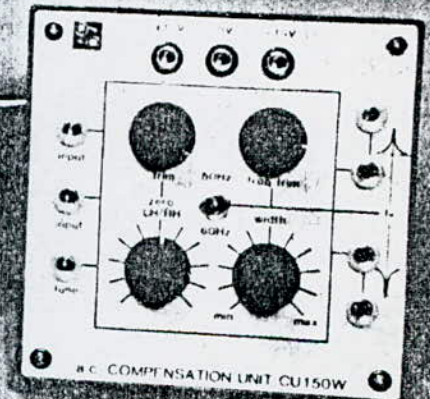
a) Là, il y a présentation des éléments fonctionnant au courant alternatif, ces éléments ont déjà été décrits précédemment (Chapitre V.2., 13.0).

- b) Manipulations de familiarisation.

Motor-Generator Unit 150U



AC Pre-Amplifier 150V



Compensator Unit 150W



- c) Etalonnage de la tachy-génératrice asynchrone.
- d) Commande de vitesse à courant alternatif.

V.B.3.5. - SYSTEME DE COMMANDE DE VITESSE EN ALTERNATIF :

- a) Là il y a une introduction, commentant la disposition générale d'une commande de vitesse à courant alternatif en boucle fermée.
- b) Mise au point de la commande de vitesse alternative.
- c) Détermination du domaine de commande effective.

V.B.3.6. - SYSTEME DE COMMANDE DE POSITION A COURANT ALTERNATIF (Leçon 15) :

- a) Là, il y a une introduction, pour réaliser une commande asservis de position à moteur asynchrone.
- b) Mise au point d'une commande de position.
- c) Réponses du système de commande.
- d) Etablissement d'une réaction tachymétrique.
- e) Observation de l'erreur permanente de poursuite.

IV.B.4. - REGULATION PROPORTIONNELLE, INTEGRALE ET DERIVEE (PID) :

IV.B.4.1. - INTRODUCTION :

Le module PID 150Y est un élément de régulation proportionnelle plus intégrale et dérivée (Fig 3 du manuel V). Cet élément sert principalement à stabiliser le système asservi de régulation en agissant sur les performances du système.

IV.B.4.2. - REGULATION PROPORTIONNELLE (P) :

Ici, l'écart est réduit en augmentant le gain du système, autrement dit on réduit la bande proportionnelle. On a constaté qu'en augmentant le gain, le système a tendance à osciller.

La Fig.1.a) et 1.b) montre les différentes réponses indicielles d'une régulation proportionnelle à un gain faible et élevé.

IV.B.4.3. - REGULATION PROPORTIONNELLE ET INTEGRALE (PI) :

La Fig. 1c et 1d représente l'effet d'une telle régulation proportionnelle. L'emploi d'une correction intégrale permet une annulation de l'écart mais au prix d'un accroissement de temps de réponse.

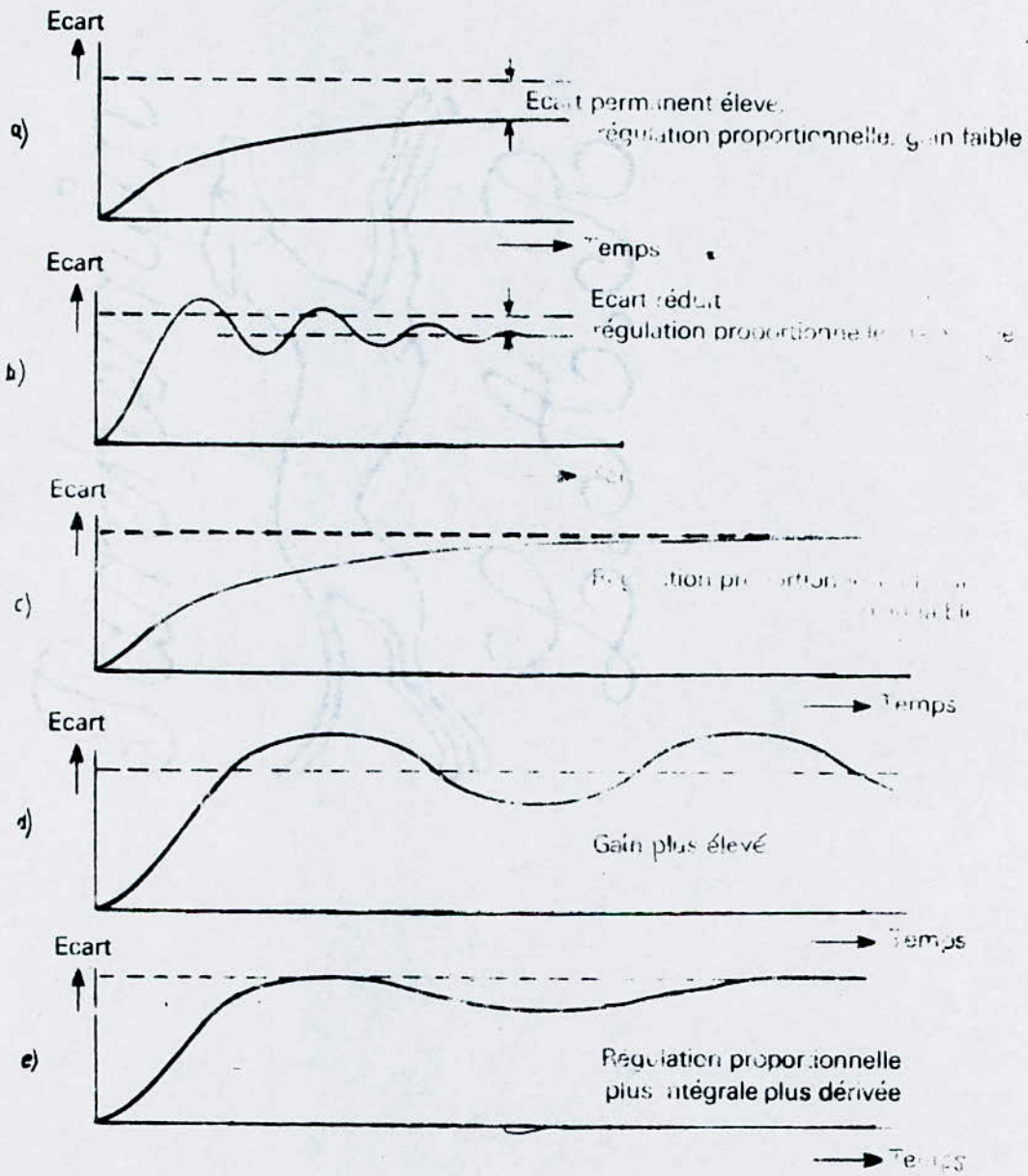


Fig 1

IV.B.4.4. - REGULATION PROPORTIONNELLE INTEGRALE ET DERIVEE (PID) :

On a vu que la régulation I augmentait le temps de réponse. L'adjonction d'une action dérivée, améliore la régulation en réduisant ce temps de réponse, Fig. 1e).

IV.B.5 - MANIPULATIONS (PID 150Y)

IV.B.5.1. - ETUDE DES CARACTERISTIQUES DU MODULE (PID) :

Cette expérience se compose de trois parties La première partie (expérience 1.1, page 11, m. V) ; circuit proportionnel on régulateur P. Ici, on peut constater qu'il existe diverses combinaisons de signaux d'entrée et cela en fonction de la position du commutateur de gain. Cette gamme de gain possible est comprise entre 0 et 10. Exemple : si l'on tente d'appliquer un tension d'environ 1,3 V, lorsque le gain est mis sur 10, on constatera que la sortie maximale du module est d'environ $\pm 13V$ c.c. Donc, ce module peut être utilisé pour exciter des systèmes de correction nécessitant un signal dans la gamme ± 10 Volts.

Définition de la bande proportionnelle :

Le gain de l'action proportionnelle est souvent exprimé en termes de "bandes proportionnelles". Un grande bande proportionnelle correspond à un faible gain.

Exemple : supposons que notre correcteur travaillait à une gamme de signaux d'entrée variant entre ± 10 Volts la bande proportionnelle (Bp) est alors $\frac{[+10 - (-10)]}{G} = \frac{20}{G}$ [Volts]

où G est le gain proportionnel. Dans le cas où l'on veuille exprimer la bande proportionnelle en(%). D'où

$$\text{Bande proportionnelle (\%)} = \frac{\text{Variation du signal d'entrée nécessaire pour produire une correction de 100 \%}}{\text{Intervalle de l'unité de mesure}} \cdot 100$$

Exemple numérique : fixons le gain du module à 5, il suffira d'une variation de la tension d'entrée de 2V pour générer une tension de sortie entre 0 et 10V d'où la bande proportionnelle en pourcentage :

$$B_p (\%) = \frac{2 \text{ Volts}}{10 \text{ Volts}} \times 100 \% = 20 \%$$

Questions 1.1. Pour G égal à : 0, 1, 2, 5 et 10 :

- déterminer la bande proportionnelle exprimée en Volts.
- Puis en pourcentage à un signal d'entrée de ± 10 Volts.

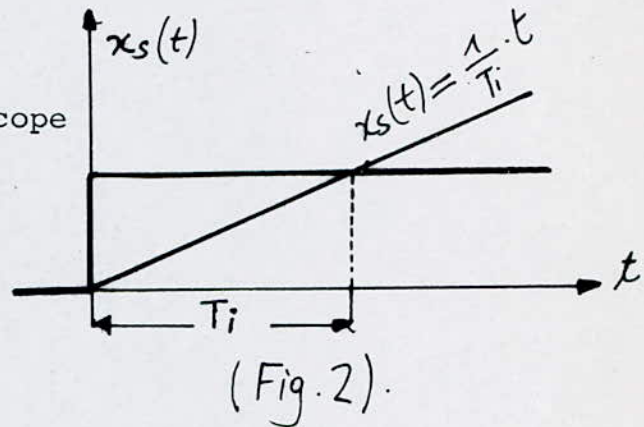
Expérience 1.2. Circuit intégral ou Régulateur PI.

Le régulateur I. a pour fonction de transfert :
 $Y_I (P) = \frac{1}{p \cdot T_I}$, pour pouvoir déterminer le temps d'action T_I de cet élément. On envoie un signal "échelon-unité" et on détermine la réponse indicielle de cet élément comme suit :

$$Y_I (P) = \frac{1}{p \cdot T_I} = \frac{X_s(P)}{X_e(P)} ; X_e(t) = 1(t) \rightarrow X_e(P) = \frac{1}{p}$$

$$X_s(P) = \frac{1}{p} \cdot \frac{1}{p \cdot T_I} = \frac{1}{p^2 \cdot T_I} \quad \text{d'où : } X_s(t) = \frac{t}{T_I}$$

d'où le graphique suivant :
pour pouvoir visualiser cette
courbe en utilisant l'oscilloscope
suivre le processus de réglage
de la page 12.

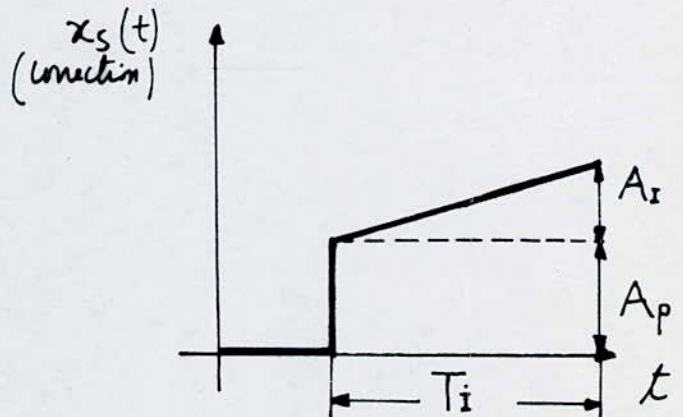
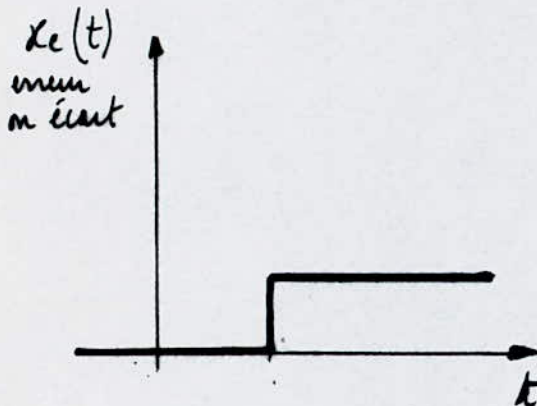


Le Régulateur PI. a pour fonction de transfert :

$$Y_{PI}(P) = \left(1 + \frac{1}{p \cdot T_I} \cdot A_p\right) = A_p + \frac{A_p}{p \cdot T_I} = A_p + \frac{1}{p} \cdot A_I$$

$$X_e(t) = 1(t) \quad \text{et} \quad X_e(p) = \frac{1}{p} \quad \rightarrow \quad X_s(t) = (A_p + A_I \cdot t).$$

d'où le graphique d'un régulateur PI.



Pour mesurer le temps d'action et déterminer les paramètres de sortie proportionnels et intégrals - raccorder l'appareil comme à la Fig.1.4. et suivre le mode de réglage de la page 13 et 14.

Questions 1.2. faites les mesures du tableau de la page 14.

Expérience 1.3. Circuit dérivé ou Régulateur PD.

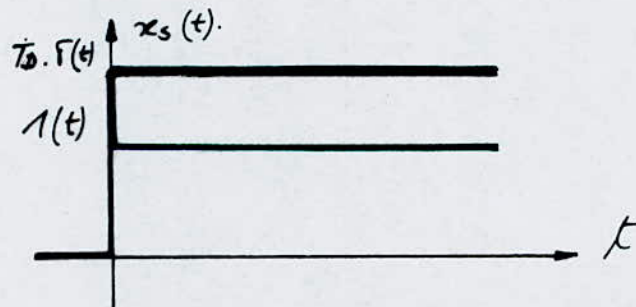
Le régulateur D. a pour fonction de transfert :

$$Y_D (P) = p \cdot T_D.$$

$$Y_D (P) = \frac{X_s (P)}{X_e (P)} = p \cdot T_D ; X_e (t) = 1 (t) \text{ d'où : } X_e (P) = \frac{1}{P}$$

$$X_s (P) = p \cdot T_D \cdot \frac{1}{P} = T_D \cdot 1 \rightarrow X_s (t) = T_D \cdot \delta (t).$$

d'où le graphique suivant :



Le régulateur PD a pour fonction de transfert :

$$Y_{PD} (P) = A_p + A_D \cdot p \cdot t ; Y_{PD} (P) = \frac{X_s (P)}{X (P)} ; \text{ d'où : } X_s (P) =$$

$$X_e (P) = Y_{PD} (P) \cdot X_e (P)$$

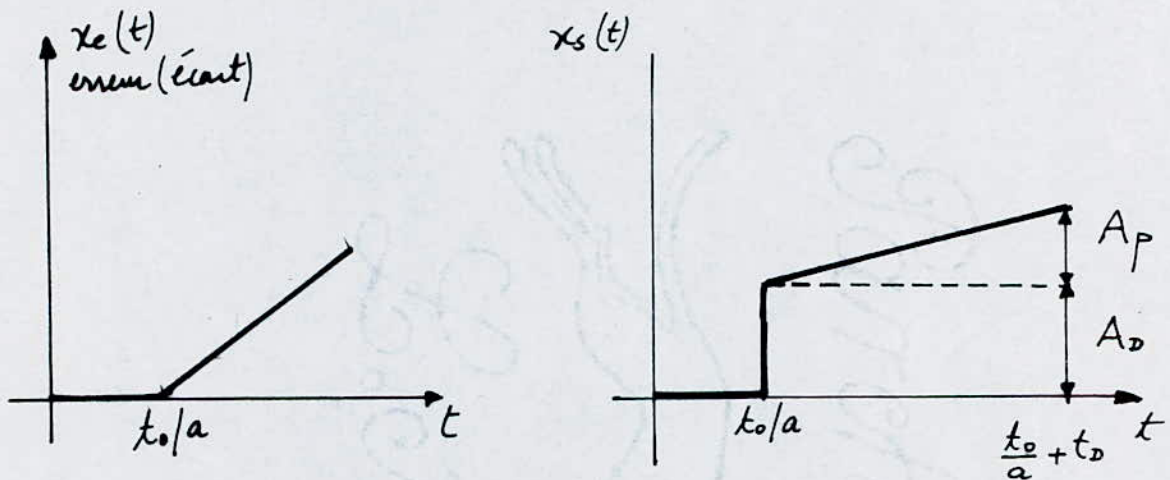
Envoyons un signal rampe de formule générale $X_e(t) = a \cdot t - t_0$ et déterminons la réponse de ce régulateur $X_s(t)$.

$$X_e(P) = \frac{a}{p^2} - \frac{t_0}{P} = \frac{1}{P} \left(\frac{a}{P} - t_0 \right)$$

$$X_s(P) = \frac{1}{P} \left(\frac{a}{P} - t_0 \right) \times (A_p + A_D \cdot p \cdot t) = a \cdot A_p \cdot t + a \cdot A_D \cdot t - t_0 \cdot A_p - t_0 \cdot A_D \cdot t$$

d'où : $X_s(t) = (A_p \cdot a + A_D \cdot a - t_0 \cdot A_D) \cdot t - t_0 \cdot A_p$.

On voit aisément que l'équation $X_s(t)$ est une droite, d'où le graphique suivant :



t_D : est le temps d'action dérivée.

En vue de mesurer les paramètres des différentes actions proportionnelles et dérivées, on utilise le signal triangulaire d'un générateur de fonctions.

IV.B.5.2. - EFFETS D'UN REGULATEUR PID SUR UN MODULE
D'ASSERVISSEMENT DE REGULATION DE VITESSE (FIG.21)

Cette manipulation se compose de deux expériences :

Expériences : 2.1. Régulation de vitesse à un retard unique :
Ici, on étudie les effets des différentes actions proportionnelles, intégrales et dérivées sur la régulation de vitesse comportant un moteur. Celui-ci est une source à retard unique ou retard mécanique.

Régulation P :

Là, le gain est varié tout en mesurant l'écart produit par l'amplificateur opérationnel. On a vu ultérieurement, qu'en augmentant le gain, on réduira l'écart. On constatera aussi que le bruit du générateur tachymétrique affecte l'amplificateur opérationnel asservi en produisant des écarts aléatoires assez importants (source de perturbations). Suivre le processus de réglage de la page 20.

Régulations PI :

On constatera, dans cette expérience que plus petit est l'écart, plus faible est la vitesse à laquelle la sortie de l'intégrateur varie. Si le gain de l'intégration est augmenté, il y a présence d'un dépassement d'où une réponse non satisfaisante.

Questions :

a) Trouver une valeur de T_i , donnant une réponse satisfaisante.

- b) Que devient cette valeur, si on retire le frein de charge.
- c) Conclusions.
- d) Tester l'effet de débranchement de la composante proportionnelle.
- e) Noter le comportement qui en résulte.
- f) Vérifier qu'en modifiant la constante de temps de l'intégration, on n'obtient pas beaucoup d'amélioration.

Regulation PID :

On constatera que le branchement de la composante dérivée n'apporte pas peu d'avantages, quels que soient les réglages de temps d'action D effectués. Ceci est dû en grande partie au fait que l'action D augmente le bruit du générateur tachymétrique.

Expérience 2.2. Régulation de vitesse à deux retards.

Cette expérience a principalement pour objet de montrer comment la régulation dérivée peut-être utile pour supprimer au moins certains effets secondaires dans un système comportant plusieurs retards. (Suivre le procédé de réglage de la page 23 et 24).

IV.B.5.3. - COMPARAISON ENTRE L'UTILISATION D'UNE GENERATRICE TACHYMETRIQUE ET UN REGULATEUR P.D POUR STABILISER UN SYSTEME ASSERVIS DE REGULATION DE POSITION.
(CABLER COMME DANS LA FIG. 3.2. DU MANUEL IV)

Ici, un signal de stabilisation est ajouté à l'écart. Un tel signal peut-être obtenu soit à partir d'un générateur tachymétrique ou par différenciation du signal d'asservissement de position. Dans cette expérience, les avantages et les inconvénients de l'utilisation des deux systèmes seront examinés.

Enfin, l'utilisation de l'intégration pour réduire les erreurs d'asservissement sera aussi étudié.

IV.B.5.4. - ERREUR D'ASSERVISSEMENT DANS UN SYSTEME DE REGULATION DE POSITION :

Celle-ci ressemble à la manipulation IV.B.5.3., sauf qu'ici on utilisera les éléments synchro pour déterminer l'écart au lieu d'utiliser les potentiomètres d'entrée et de sortie.

On verra qu'il y a une proportionnalité entre l'erreur et la vitesse à un gain fixe.

A un gain exagéré, le système devient instable. L'introduction d'une composante intégrale du module PID, l'erreur d'asservissement est détectée et réduite à zéro. (Suivre le processus de réglage de la page 32).

IV.B.6 - MANIPULATIONS DE SYSTEMES ECHANTILLONNES-ELEMENT
SH 150 M.

IV.B.6.1. - INTRODUCTION :

Le développement des systèmes de régulation et de la télé-communication a conduit à une nouvelle méthode de transmission de l'information. Cette méthode est connue sous le nom de système d'échantillonnage de données. Les informations sont transmises à des intervalles de temps discrets, tout en assurant un fonctionnement satisfaisant du système.

IV.B.6.2. - APPLICATIONS :

Les applications de l'échantillonnage de données sont nombreuses. Elles sont souvent utilisées dans les domaines techniques.

Exemple : La régulation automatique dans les usines chimiques et pétrolières a conduit à l'utilisation généralisée de l'échantillonnage de données. Grâce à cette technique, le réglage de soupape de régulation peut se faire à partir d'une position centrale surtout quand ces soupapes sont situées dans une zone dangereuse ou difficilement accessible. Les valeurs de réglage seront commandées, contrôlées et enregistrées, soit par des contrôleurs automatiques ou par des ordinateurs. Enfin, l'utilisation la plus répandue de l'échantillonnage de données concerne la régulation numérique des machines.

Par exemple : si on veut faire fonctionner et diriger plusieurs machines en un temps partagé ; dans ce cas, un ordinateur externe est nécessaire en vue d'analyser et classer les différentes informations concernant l'échantillonnage de données est alors la méthode normale pour transmettre ces données.

IV.B.6.3. - NOTIONS THEORIQUES SUR L'ECHANTILLONNAGE :

Les systèmes échantillonnés ou pulsés se distinguent des systèmes à action permanente ou continu par le contenu informationnel du signal d'entrée qui agit sur le système et modifie sa grandeur de sortie au rythme d'une fréquence constante $\frac{1}{T}$ appelée fréquence d'échantillonnage ou fréquence du train d'impulsions.

IV.B.6.3.1. - ECHANTILLONNAGE D'UN SIGNAL :

a) Définition : l'échantillonnage d'une fonction donnée du temps $f(t)$ consiste à remplacer cette fonction par la suite discontinue de ses valeurs $f(n.T)$ aux instants respectifs d'échantillonnage $t = n.T$ ($n = 0, 1, 2, 3, \dots$). L'information recueillie est donc constituée par la suite $f(0) ; f(T) ; f(2T), \dots, f(nT)$.

Mathématiquement, cela peut se traduire comme une modulation d'un train d'impulsion de DIRAC $\delta_T(t)$ par le signal $f(t)$ qu'on note : $f^*(t) = f(t) \cdot \delta_T(t)$ ou $f^*(t)$ est

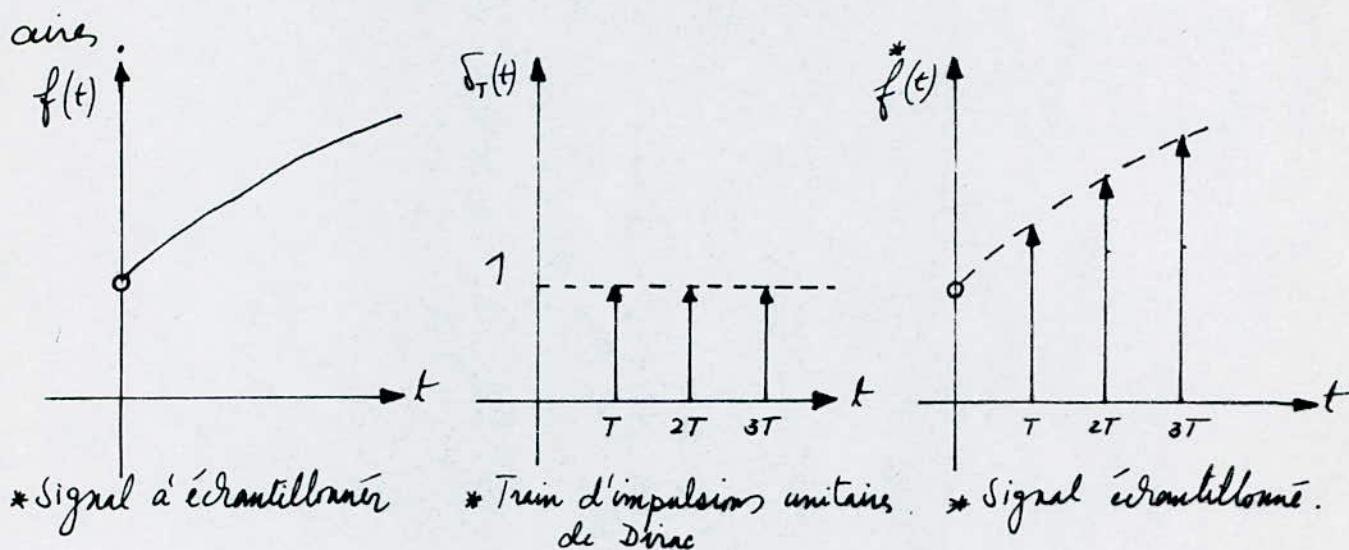
la fonction échantillonnée ; $\delta_T(t) = \sum_{n=0}^{\infty} \delta(t - nT)$ et l'impulsion de Dirac est définie comme suit :

$$\delta(t) = \begin{cases} 0 & \text{si } t = 0 \\ 1 & \text{si } t \neq 0 \end{cases}$$

b) Différents types d'échantillonnage : il existe plusieurs types d'échantillonnage parmi lesquels, nous retiendrons :

b.1) Echantillonnage idéal ou instantané Fig.20.

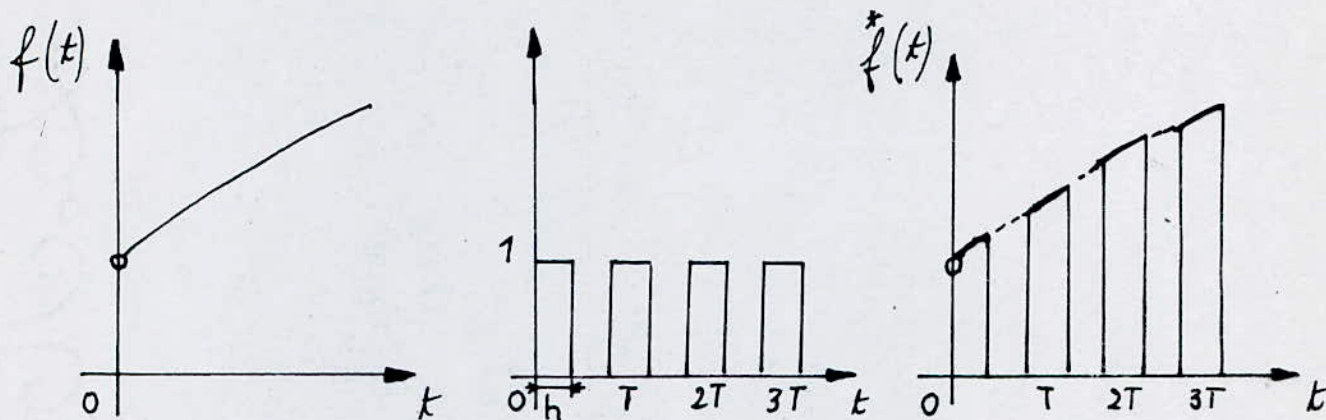
Dans ce cas, la largeur de l'impulsion d'échantillonnage est nulle (impulsion de Dirac). Les valeurs $f(nT)$ sont représentées par des impulsions d'aire respectivement égales à $f(nT)$ aux instants $t = n.T$ ($n = 0, 1, 2, \dots$). Nous représentons graphiquement ces impulsions par des flèches de longueurs proportionnelles à leurs aires.



- Fig. 20 -

b.2) Echantillonnage non instantané ou réel Fig.21.

La durée h d'échantillonnage qui se représente à l'instant $n.T$ n'est pas nulle.



-Fig.21-

Remarque : Le train d'impulsion peut-être de période constante (Echantillonnage classique) ou variable. Dans nos manipulations nous ne considérons que l'échantillonnage classique.

IV.B.6.4. - EXPERIENCES :

a) Manipulation N° 1 ; page 11 du Manuel IV :
Présentation des techniques d'échantillonnage et utilisation des différentes commandes sur l'élément SH 150 M.

On verra qu'il existe trois commandes pour réguler la fonction d'échantillonnage sur cet élément.

La commande SAMPLE/FOLOW (ECHANTILLONNAGE/ASSERVISSEMENT). La fonction "SAMPLE" donne le circuit d'échantillonnage. Enfin, la période d'échantillonnage est déterminée par la commande SAMPLING FREQUENCY (FREQUENCE D'ECHANTILLONNAGE). Pour effectuer les quatre exercices pratiques de la manipulation 1, câbler comme à la Fig.1.2., page 12 et suivre les instructions de la procédure préliminaire. (p. 11).

b) Manipulation N° 2

b.1) Examiner l'effet de l'échantillonnage de divers signaux à l'aide d'un filtre R.C. :

Ici, nous allons placer un condensateur dans le circuit de sortie du 150 M pour former un filtre à simple retard (Fig.2.1.). Si vous enclenchez le courant, vous obtiendrez la Fig.2.3.

b.2) Utilisation des oscilloscopes d'échantillonnage :

Dans cet exercice pratique, nous utilisons un oscilloscope avec une commande externe. Grâce à cette commande on peut voir le faisceau d'impulsions.

c) Manipulation N° 3 :

Effet de la fréquence d'échantillonnage sur un système asservi en utilisant un circuit d'échantillonnage et de maintien.

- Suivre la procédure préliminaire de réglage (p. 27). Les manipulations 1 et 2 nous ont montré l'intérêt d'un circuit d'échantillonnage et de maintien à une période d'échantillonnage choisi.

Cette manipulation montre comment on peut utiliser un tel circuit pour commander une série de mécanisme asservi. (V. Fig.3.4. : la télécommande d'un système asservi de position).

C O N C L U S I O N

CONCLUSION

Le manque de matériel m'a handicapé pour effectuer les travaux demandés.

Ce projet m'a permis d'aborder le problème, encore à son stade embryonnaire à l'école, de la régulation automatique.

J'espère avoir accompli ma tâche, mais je souhaite que d'autres étudiants continuent ce travail avec le complément de matériel.

B I B L I O G R A P H I E

- Daniel DINDELEUX : "Régulation industrielle" Eyrolles
- DI STEFANO : "Systèmes asservis" (Tome : I et II) Schaum
- P. NASLIN : "Technologie et calcul pratique des systèmes asservis" Dunod
- PROJET DE FIN D'ETUDES : "Etude d'un asservissement de position échantillonnée" ENPA (I/78)
- D. MAINGUENAUD : "Cours d'automatisme" (Tome : I et II)
- C. FOULARD : "Asservissements linéaires et continus" Dunod
- J. C. GILLE : "Théorie et calcul des asservissements" Dunod
- H. CHESTNUT : "Serromécanisme et régulation" (Tome I)
- MANUELS DE LA FIRME FEEDBACK Ltd : "1ère, 2e, 3e, 4e et 5e Partie" Feedback

