

وزارة التعليم العالي

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

lea

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT GENIE ELCTRIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

S U J E T

Regulation de la tension
d'un alternateur a $\neq \cos\phi$
avec limitation de courant.

Proposé par :

Etudié par :

Dirigé par :

M^r MEKHTOUB.S

Taleb.A

M^r MEKHTOUB.S

Izeboudjen.L

PROMOTION : janvier 88

ALBANY ALBANY

ALBANY ALBANY

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ .

◆◆◆

- DEDICACE -

A ma mère , à mon père , à mes frères
et sœurs et à tous mes amis .

Abdelkrim .

À ma mère et mon père
À mes sœurs et mon beau frère .
Ainsi qu'à tous mes amis

AKS

REMERCIEMENTS

Toute notre gratitude la plus profonde et la plus sincère à Messieurs S.MEKHTOUB, R.TAHMI et BOUCHERIT qui par leurs collaborations effectives, ont rendu possible l'élaboration de ce modeste travail.

Nos remerciements et nos sincères reconnaissances à tous les professeurs ayant contribué à notre formation.

TALEB .A

IZEBOUDJEN .L

PLAN

- INTRODUCTION

CHAPITRE I : Identification de l'alternateur

1.1 - Généralités

1.1.1 - f.e.m induites

1.1.2 - Réaction magnétique d'induit

1.1.3 - Chute de tension

1.2 - Identification

1.2.1 - Mesure des résistances et inductances de l'alternateur

1.2.2 - Caractéristiques

1.3 - Predetermination des conditions de fonctionnement

1.3.1 - Méthode de Behn-Eshenbourg

1.3.2 - Méthode de Potier

CHAPITRE II : Identification de l'amplidyne

2.1 - Généralités sur les génératrices spéciales

2.2 - Organisation d'une amplidyne

2.2.1 - Structure

2.2.2 - Enroulements

2.3 - Principe de fonctionnement

2.4 - Identification de l'amplidyne

2.4.1 - Plaque signalétique

2.4.2 - Mesure des résistances et des inductances

2.4.3 - Caractéristiques

2.4.4 - Calcul du gain

CHAPITRE III : Régulation

3.1 - Introduction

3.2 - Première boucle de régulation

3.2.1 - Mode de fonctionnement

3.2.2 - Résultats et interprétations

3.3 - Seconde boucle de régulation

3.3.1 - Mode de fonctionnement

3.3.2 - Résultats et interprétations

3.4 - Boucle de limitation de courant

3.4.1 - Mode de fonctionnement

3.4.2 - Résultats et interprétations

3.5 - Conclusion

CHAPITRE IV : Détermination et étude de la fonction
de transfert du système

4.1 - Fonction de transfert

4.2 - Etude de la stabilité

4.3 - Détermination de la constante de temps du système

4.4 - Etude des caractéristiques statiques et dynamiques

- CONCLUSION GENERALE

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

- De nos jours, la tension d'alimentation de tout type d'appareillage ou de machines est imposée à :

- 220 V pour l'utilisation domestique
- autres pour l'industrie

Ainsi les constructeurs tiennent compte de ces tensions dans la conception avec néanmoins une marge de sécurité jugée acceptable pour le bon fonctionnement du matériel.

Ces tensions sont fournies par tout un réseau électrique dont la source de tension est l'alternateur.

Pour un système autonome, on veut que la tension fournie par l'alternateur reste constante indépendamment de la charge ou varie dans une plage acceptable, aussi petite que possible. Cela est réalisable par action sur l'excitation de la machine.

Dans l'étude du système d'excitation intervient donc d'une part le choix de la source principale d'excitation et d'autre part les moyens mis en oeuvre pour faire varier le courant d'excitation.

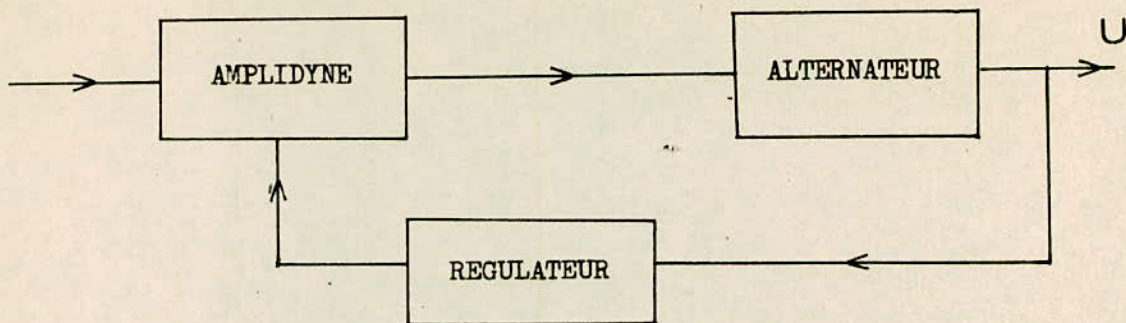
- On distingue actuellement, comme principales sources d'excitation :

- Excitatrice à courant continu
- Alternateur - excitateur débitant sur redresseurs
- Auto-Alimentation

- Dans le cadre de ce projet on se propose de réguler la tension d'un alternateur de 3 kw à 220 V.

La source d'excitation choisie étant une génératrice à courant continu spéciale : L'amplidyne.

La variation du courant d'excitation sera obtenue par action sur les enroulements de commande de l'amplidyne qui jouent par conséquent le rôle de régulateurs.



Deux boucles de régulation seront ainsi réalisées :

- La première aura pour variable d'entrée l'image de la tension
- La seconde aura pour variable d'entrée l'image du courant débité par l'alternateur.

Par la suite, on réalisera une boucle de limitation de courant pour éviter à l'alternateur d'atteindre des valeurs dangereuses du courant débité.

Enfin, une étude du système ainsi réalisé sera faite du point de vue :

- stabilité
- caractéristique statique et dynamique.

C H A P I T R E 1

IDENTIFICATION DE L'ALTERNATEUR

1.1 - Généralités : Les alternateurs triphasés ou génératrices synchrones triphasés sont des convertisseurs électromécaniques qui transforment l'énergie mécanique fournie par un moteur ou une turbine, en énergie électrique triphasée dont on sait que le transport et l'utilisation sont plus rationnels et plus rentables.

- L'alternateur comprend :

- 1 bobinage inducteur alimenté par un courant continu
- 1 bobinage d'induit triphasé.

Ces deux bobinages peuvent être disposés indifféremment au stator ou au rotor.

1.1.1 - F.e.m induites :

- Des forces électromotrices triphasés apparaissent aux bornes du bobinage triphasé lorsque le champ magnétique d'excitation glisse par rapport à ce bobinage.

Ceci est obtenu lorsqu'on fait circuler un courant continu dans le bobinage inducteur, l'alternateur étant entraîné par un moteur.

- En supposant le champ magnétique de la roue polaire à répartition sinusoidale, la valeur efficace de la f.e.m par phase s'exprime alors par la relation de Boucherot

$$E = 2,22 k_b \cdot N_t \cdot f \cdot \phi_m$$

avec :

k_b : facteur de bobinage

N_t : Nombre total de conducteurs montés en série dans un enroulement

ϕ_m : Valeur du flux magnétique de la roue polaire

f : Fréquence des f.e.m induites

$$f = pN$$

p = Nombre de paires de pôles

N = vitesse de rotation

1.1.2 - La réaction magnétique d'induit :

- Quand un alternateur débite, le courant de l'enroulement d'induit "créé" un flux qui modifie celui des bobines inductrices par conséquent l'état d'aimantation de l'inducteur et le flux utile.

$$\vec{\phi} = \vec{\phi}_j + \vec{\phi}_I$$

ϕ_j : flux inducteur

ϕ_I : flux de la réaction d'induit

ϕ : flux utile

- L'effet magnétique du courant débité par l'alternateur en charge est la même que celui qui serait dû à une bobine parcourue par un courant continu constant, tournant dans le même sens que le rotor, à la vitesse du synchronisme. L'orientation de cette bobine dépend de la nature de la charge.
- Le débit sur une charge inductive diminue le flux utile et par conséquent les f.e.m induites. on parlera de réaction magnétique d'induit démagnétisante.
- Par contre le débit sur une charge capacité a pour effet d'augmenter le flux utile et les f.e.m induites on parlera de réaction magnétique d'induit magnétisante

1.1.5- Chute de tension:

- La tension aux bornes d'un alternateur à vide est égale à sa f.e.m à. Lorsque celui-ci débite sur une charge quelconque, la tension entre ses bornes varie .
- A vitesse constante et pour un courant d'excitation fixé, la réactance et la résistance de l'induit interviennent en même temps que la réaction magnétique d'induit pour modifier la tension .
- En désignant par U_n la tension à vide et par U_c la tension en charge , la chute de tension U ainsi définie a pour expression :

$$U = U_n - U_c$$

On traduit le plus souvent cette chute de tension par le rapport :

$$\xi = \frac{U_n - U_c}{U_n}$$

ξ : chute relative de tension ou facteur de qualité.

-Pour un alternateur autonome $\xi \leq 10 \%$

1.2 - Identification de l'alternateur :

LES indications techniques de l'alternateur utilisé sont spécifiées sur sa plaque signalétique .

- | | |
|----------------------------|---------------------------|
| - tension nominale | $U_n = 127/220 \text{ V}$ |
| - courant d'induit nominal | $I_n = 8 \text{ A}$ |
| - facteur de puissance | $\cos\phi = 0.8$ |
| - vitesse nominale | $N = 1500 \text{ tr/mn}$ |

Le moteur d'entraînement est à courant continu ayant une excitation shunt , sa plaque signalétique donne :

INDUIT / $U_n = 120 \text{ V}$	INDUCTEUR / $J = 1.56 \text{ A}$
$I_n = 30.5 \text{ A}$	
$N = 1425 \text{ tr/mn}$	

-Pour l'alternateur utilisé $2p=4$ et les pôles sont lisses.

1.2.1 - Mesure des résistances et inducteurs de l'alternateur

- Pour la mesure des résistances on utilise la méthode volt-ampérométrique, en montage aval. La mesure étant effectuée à chaud et en courant continu.

On obtient :

. Résistance d'induit $R = 1,85 \Omega$.

. Résistance de l'inducteur $R_j = 20,4 \Omega$.

- On utilise la méthode de joubert pour la mesure des inductances :

Inductance de l'inducteur $L_j = 2,75 \text{ H}$

Inductance de l'induit $L = 0,019 \text{ H}$

1.2.2 - Caractéristiques de l'alternateur

- a - Caractéristique à vide : $E = f(j)$ voir page 16

C'est la courbe représentant la f.e.m en fonction du courant d'excitation, l'alternateur étant entraîné à sa vitesse nominale $N = 1500 \text{ tr/mn}$.

Elle se compose pratiquement d'une partie linéaire pour laquelle la f.e.m est proportionnelle au courant d'excitation, puis d'un coude au delà duquel la machine est pratiquement saturée.

- b - Caractéristique du court-circuit : fig 1 page 13

C'est la courbe $I_{cc} = f(J)$ à vitesse constante $N = 1500 \text{ tr/mn}$, cette caractéristique est linéaire pour les valeurs de l'intensité de courant allant jusqu'au courant nominale $I = 8 \text{ A}$.

c - Caractéristiques externes : fig 2 page 13

Ce sont les courbes $U = f(I)$ pour un courant d'excitation J donné ($J = 1.6 \text{ A}$). Il existe une courbe pour chaque valeur du déphasage ϕ entre la tension U et le courant débité.

Ces courbes montrent bien la chute de tension aux bornes de l'alternateur lorsque celui-ci débite. Cette chute de tension diffère avec la nature de la charge.

d - Caractéristiques de réglage : fig 3 page 13

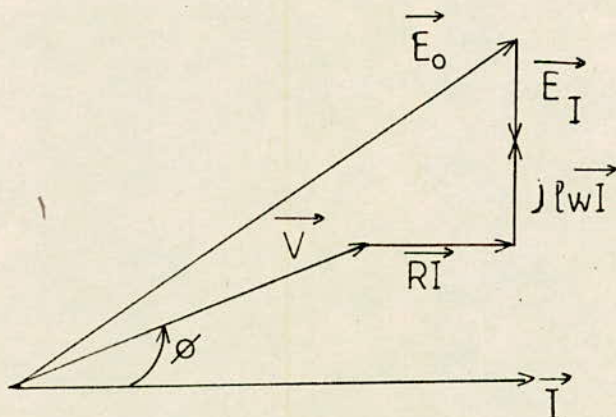
Ce sont les courbes $J = f(I)$ pour une tension fixe $U = 220 \text{ V}$ et à $N = 1500 \text{ tr/mn}$ pour différents $\cos\phi$.

Comme les alternateurs travaillent généralement à tension constante, ces courbes sont importantes, elles permettent de calculer les dispositifs d'excitation et de régulation de tension.

1.3 - Prédétermination des conditions de fonctionnement de l'alternateur en charge :

L'équation électrique d'un enroulement de l'alternateur de résistance R et d'inductance de fuite l , est :

$$\vec{E}_0 = \vec{V} + R\vec{I} + j\omega l\vec{I} - \vec{E}_I$$



- représentation vectorielle de l'équation électrique d'un enroulement -

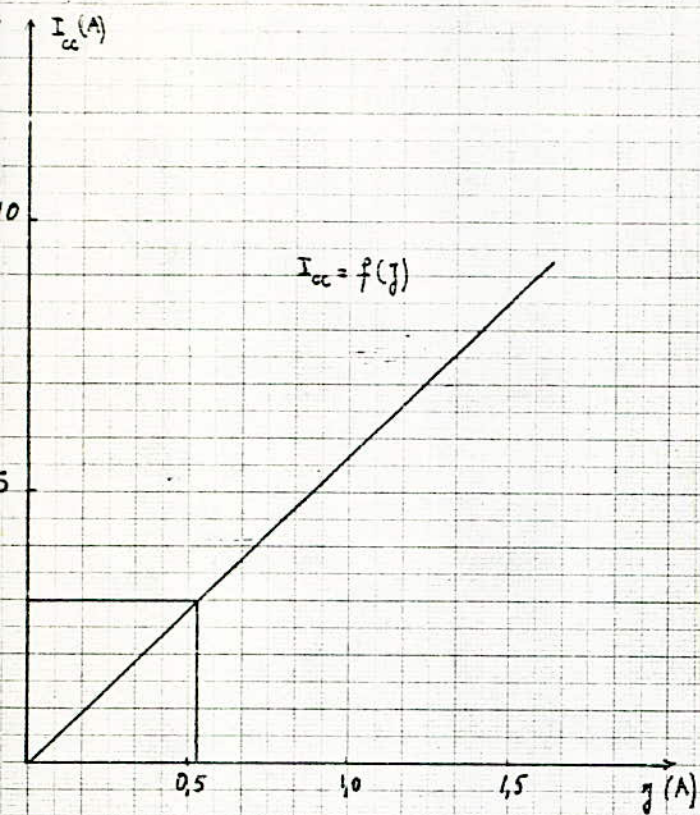


fig 1 Caractéristique de Court-Circuit de l'alternateur.

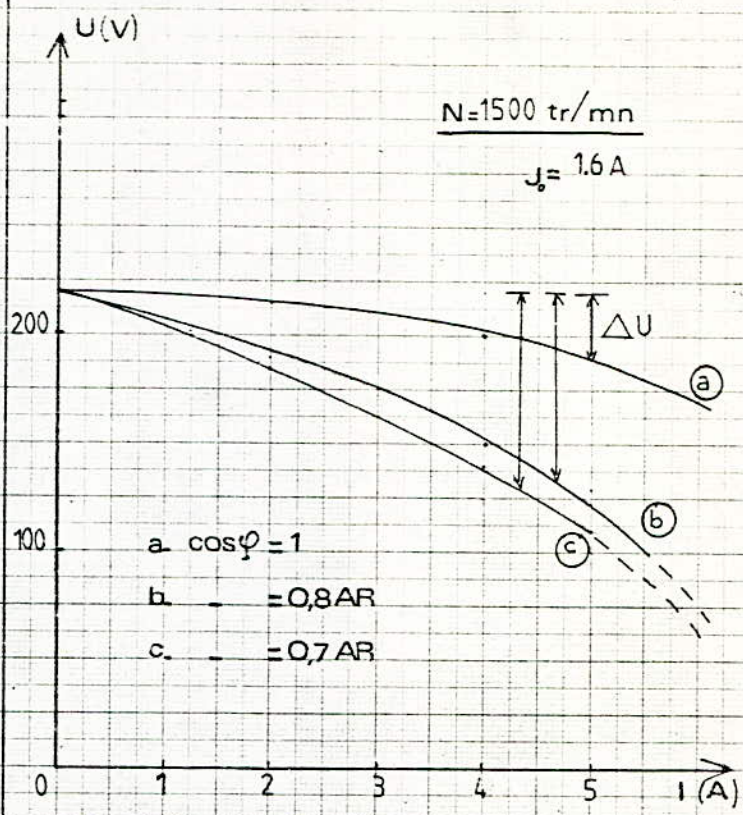


fig 2 Caractéristiques externe de l'alternateur.

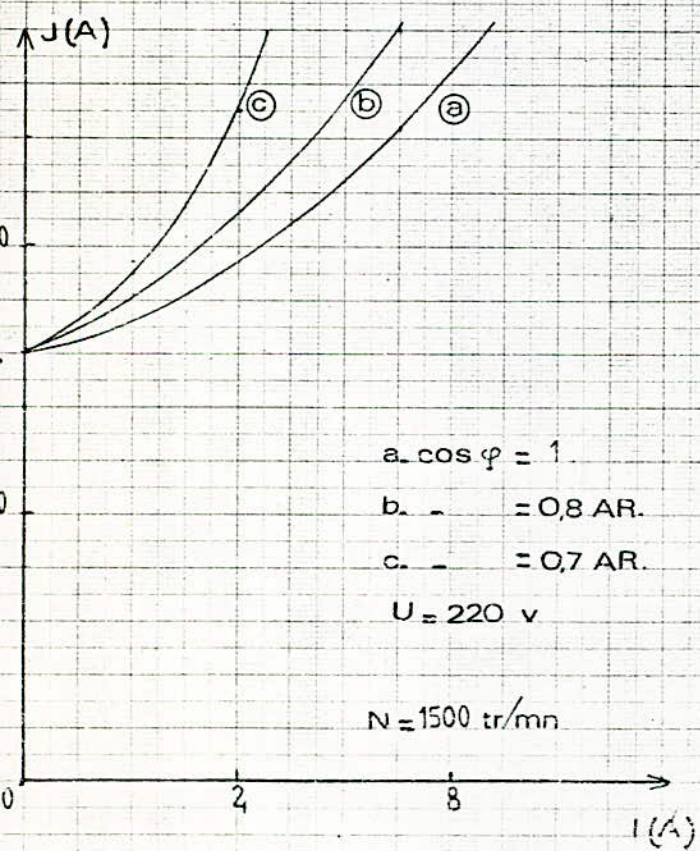


fig 3 caractéristique de réglage de l'alternateur.

1.3.1 - Methode de Behn-Eschenbourg : Voir page 16

Cette methode consiste à supposer l'alternateur non saturé , les flux seront donc proportionnels aux courants.

$$\vec{E}_o = \vec{V} + R \vec{I} + j X_s \vec{I}$$

La réactance synchrone X_s , résulte de l'effet conjugué des fuites et de la réaction magnétique d'induit .

Elle sera déterminée grâce aux essais :

- à vide $E = f(J)$

- en court-circuit $I_{cc} = f(J_{cc})$

On trouve : $X_s = 15.7 \Omega$

La methode de Behn-Eschenbourg n'est pas précise car en négligeant la saturation , elle donne une chute de tension en charge plus grande que celle enregistrée réellement .

1.3.2 - Methode de Potier :

Cette methode est basée sur la composition de deux flux, en outre il ne néglige pas la saturation .

- Le 1^{er} flux est celui de la réaction d'induit , c'est le flux de fuite qui est indépendant de la position relative du stator et du rotor , sa réactance est caractérisée par le coefficient λ .

- Le second flux est le flux inducteur qui se compose avec le flux d'induit pour donner la f.e.m induite .

Equations:
$$\begin{aligned} \vec{E} &= \vec{V} + R \vec{I} + j \lambda \vec{I} \\ \vec{J} &= \vec{J}_o + \alpha \vec{I} \end{aligned}$$

J : Courant d'excitation donnant la f.e.m induite en charge

J_o : Courant d'excitation qui donnerait la même f.e.m à vide .

La détermination des coefficients λ et α nécessite les essais :

- à vide $E = f(J)$
- en court-circuit $I_{cc} = f(J_{cc})$
- en déwatté $V = f(J)$

On obtient : voir page 17

$$\alpha = 0.163$$
$$\lambda = 4.45 \Omega$$

- Le modèle de Potier permet de déterminer la plage de variation du courant d'excitation de l'alternateur, qui est indispensable à la réalisation de la source d'alimentation de la roue polaire.

- Représentation des diagrammes de potier :

Pour chaque facteur de puissance, on déterminera la plage de variation du courant d'excitation connaissant celle du courant de ligne.

On obtient pour : $1 \text{ A} \leq I \leq 8 \text{ A}$

• $\cos\phi = 1$	$1.6 \text{ A} \leq J \leq 2.4 \text{ A}$
• $\cos\phi = 0.8 \text{ AR}$	$1.8 \text{ A} \leq J \leq 3.4 \text{ A}$
• $\cos\phi = 0.7 \text{ AR}$	$1.8 \text{ A} \leq J \leq 3.6 \text{ A}$

(voir pages 18, 19 et 20)

Determination de la reactance
synchrone X_s .

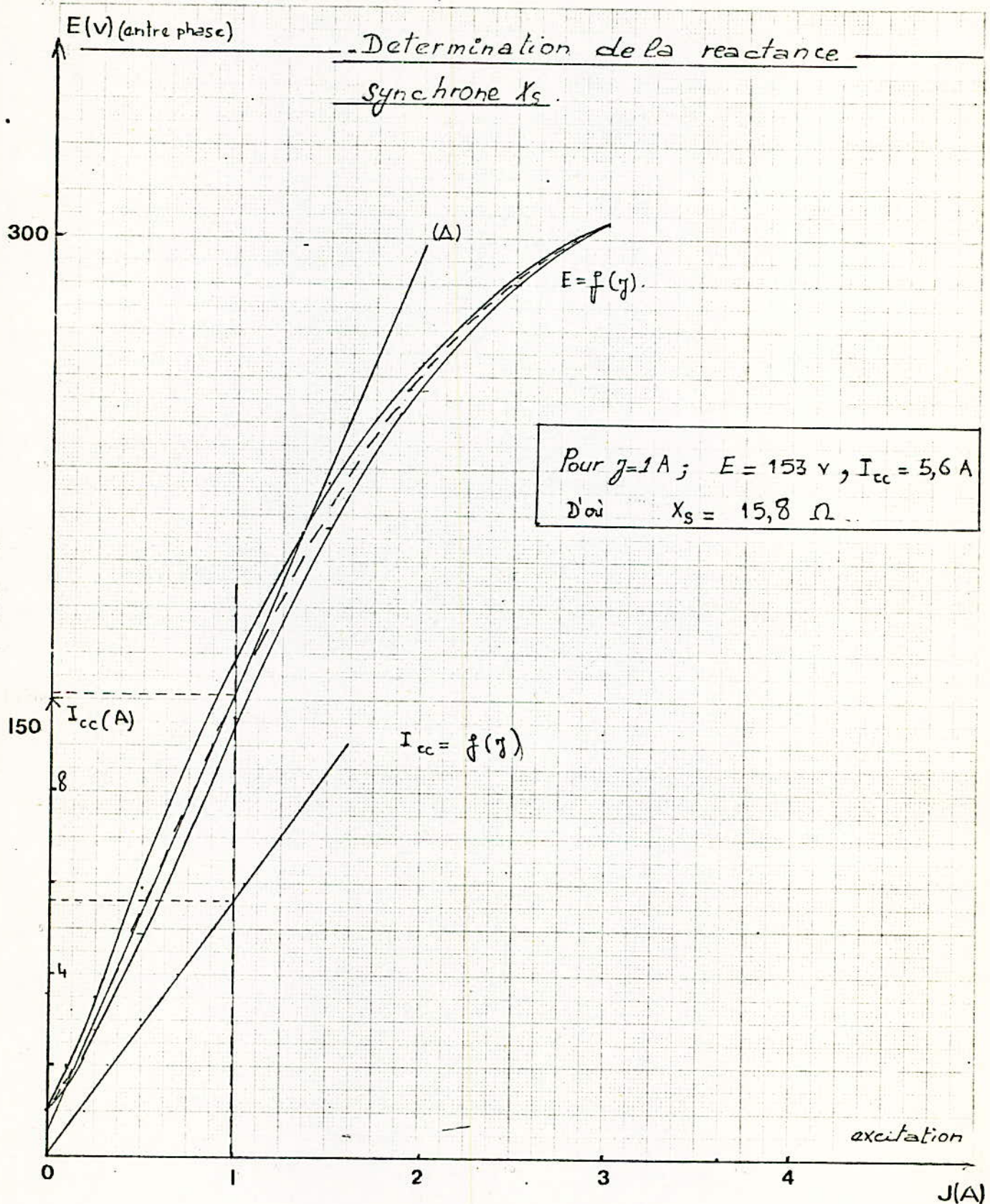
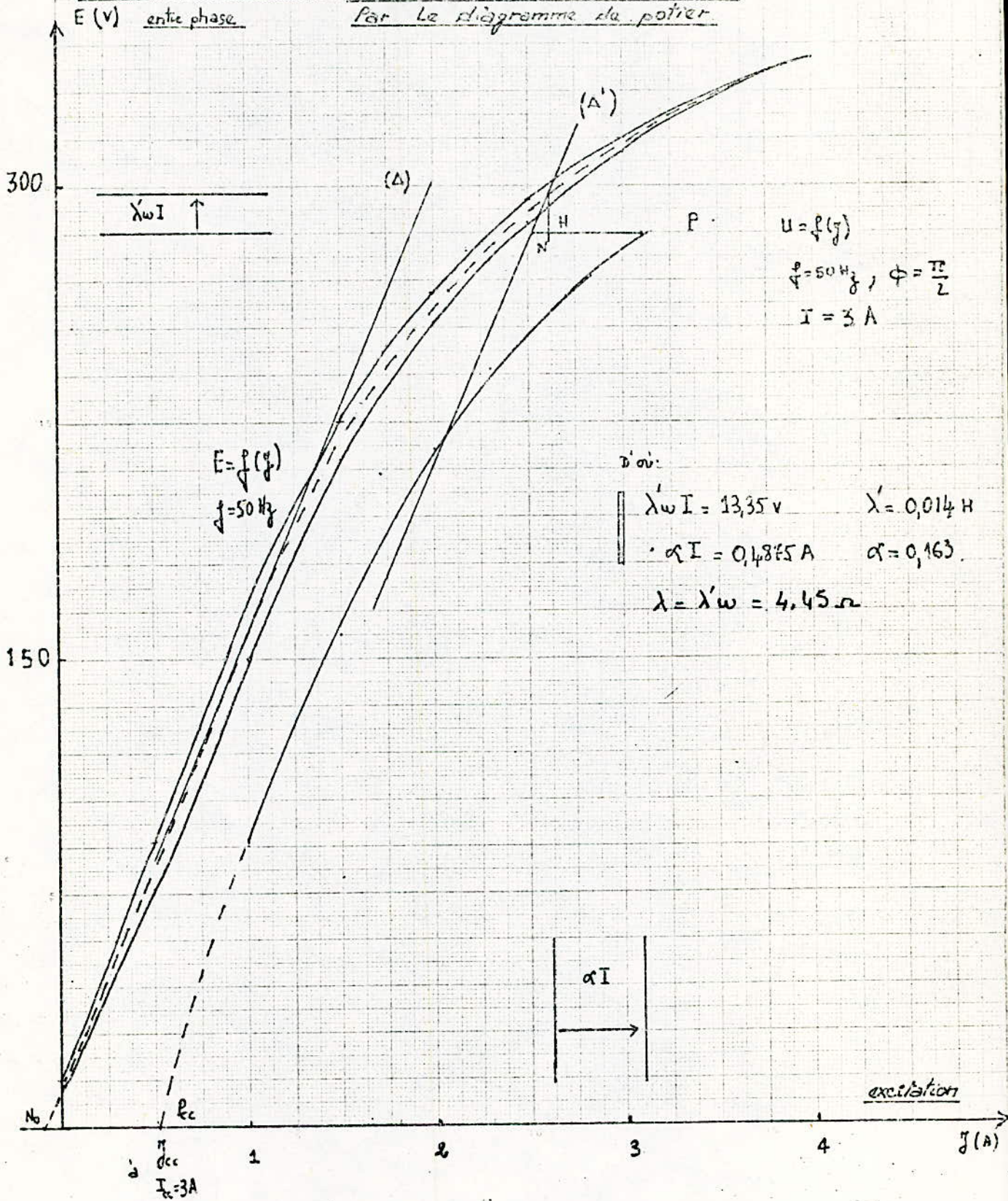


fig - Determination de α et de λ
Par Le diagramme du poirer



d'où:

$\lambda' \omega I = 13,35 \text{ V}$	$\lambda' = 0,014 \text{ H}$
$\alpha I = 0,4875 \text{ A}$	$\alpha = 0,163$
$\lambda = \lambda' \omega = 4,45 \Omega$	

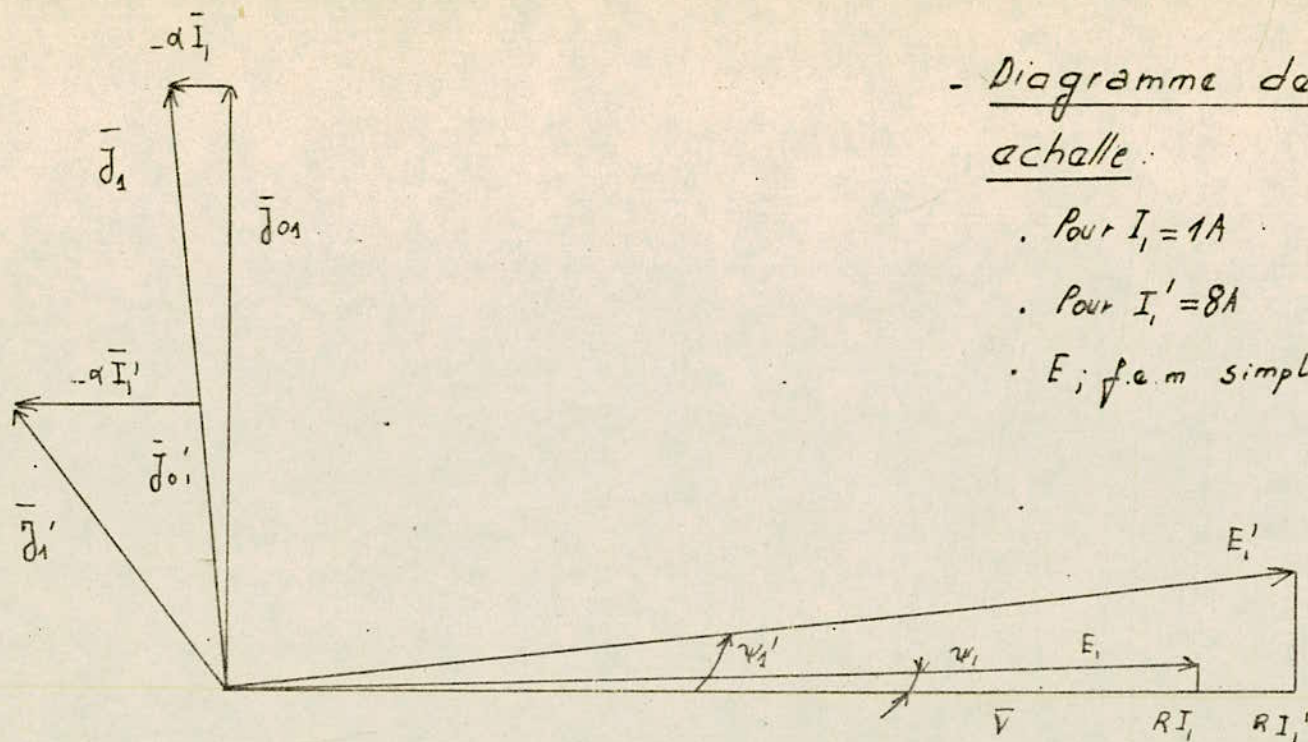


fig 1 • Pour $\cos \varphi = 1$
 - Plage de variation du
courant d'excitation.

$1,6A \leq I \leq 2,4A$
 Pour $1A \leq I \leq 8A$.

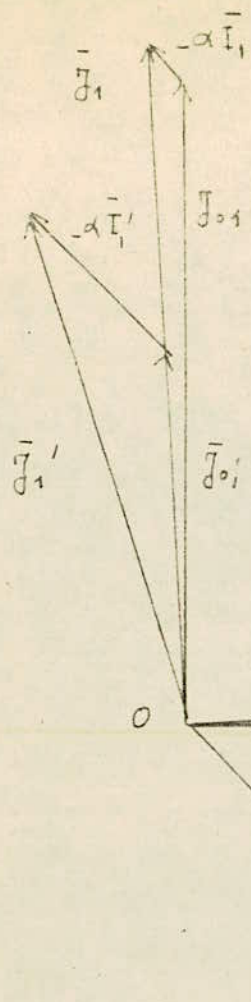


Diagramme de Potier.

échelle :

Pour $I_1 = 1A$ 1cm \rightarrow 10V.
 Pour $I_1 = 1A$ 1cm \rightarrow 0,2A.

Pour $I_1' = 8A$ 1cm \rightarrow 10V.
 Pour $I_1' = 8A$ 1cm \rightarrow 0,5A.

E; f.e.m simple.

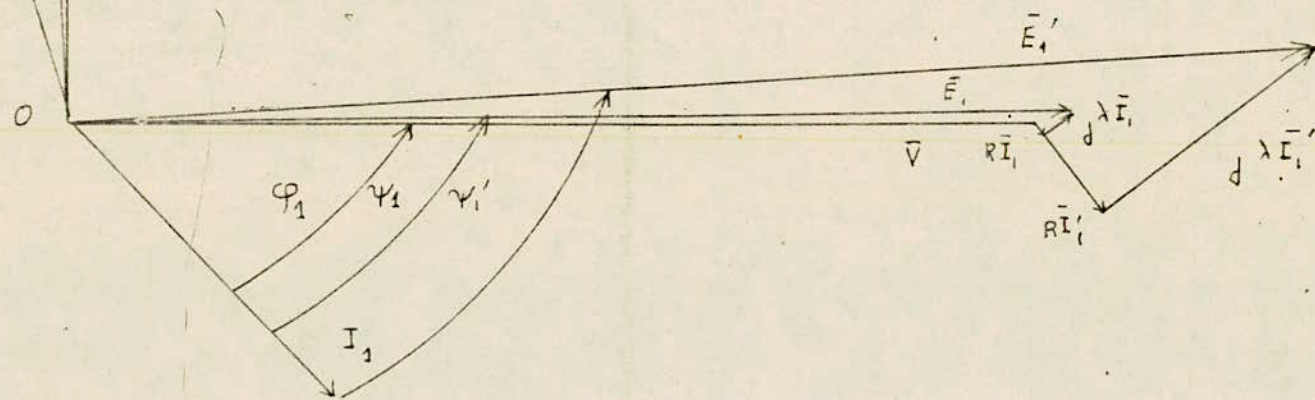


Fig 2

• Pour $\cos \varphi = 0,7 \text{ AR}$

- Plage de variation de
 courant d'excitation

$$1,8A \leq I \leq 3,6A$$

Pour $1A \leq I \leq 8A$

C H A P I T R E 2

IDENTIFICATION DE L'AMPLIDYNE

2.1 - Généralités sur les génératrices spéciales : Ce sont

- soit des génératrices ; destinées à maintenir constante une grandeur préalablement réglée (courant , tension, ...)
- soit des génératrices amplificatrices ; permettant le réglage de grandes puissances par action sur un circuit de puissance beaucoup plus faible(amplidyne)
- soit des génératrices transformatrices ; capables de transformer une puissance $U1.I1$ a courant continu en une puissance $U2.I2$ sensiblement égales avec $U2 \neq U1$ et $I2 \neq I1$

D'une façon générale, ces machines réalisent ces différentes fonctions en utilisant la réaction magnétique d'induit d'une part et une certaine combinaison d'enroulements inducteurs d'autre part .

2.2 - Organisation d'une amplidyne :

2.2.1 - Structure :

ROTOR: est identique à celui d'une machine à courant continu , à la seule différence que sur son collecteur sont placés deux paires de balais dont une paire est court-circuitée .

- la première paire est suivant l'axe longitudinal notée A1-A2 .
- la seconde paire est suivant l'axe transversale notée XA1-XA2 , court-circuitée .

STATOR: un grand nombre d'enroulements inducteurs y est disposé , dont on verra dans le paragraphe suivant le rôle de chacun d'eux .

La conception du stator est particulière du fait que :

- a) les encoches diffèrent les unes des autres .
- b) que le matériau utilisé est très particulier , seuls les constructeurs connaissent ses propriétés .

2.2.2 - Enroulements :

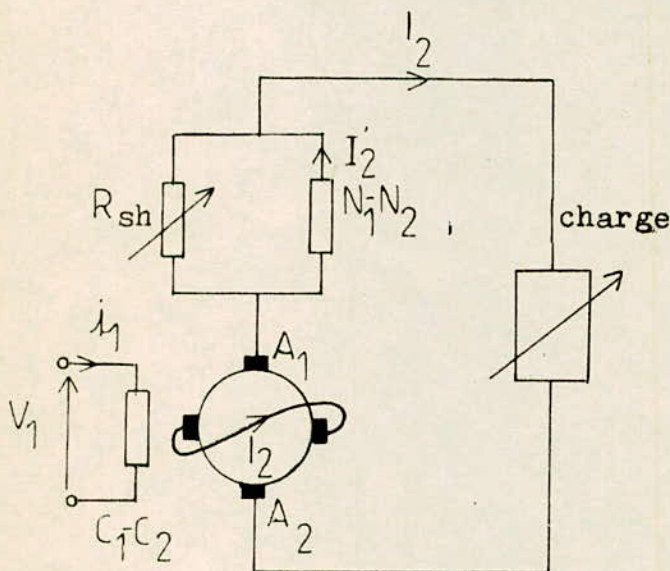
a- Enroulements de commande : dans notre cas on dispose de cinq (05) enroulements de commande dont un sert à l'excitation de la machine. Les autres servent comme leur nom l'indique à commander jusqu'à quatre (04) paramètres (tension , courant , vitesse , ...)

b- Enroulement de compensation : N1-N2

Cet enroulement est placé en serie avec les pôles A1 et A2 et dont le rôle est de diminuer ou d'annuler l'effet de la réaction magnétique d'induit .

Une résistance Rsh est mise en parallèle avec cet enroulement et qui permettra un réglage du taux de compensation .

Determination du taux de compensation :



- F.m.m créée par l'enroulement de neutralisation :

$$f_n = n_N I'2$$

n_N : nombre de spires de (N1-N2)

$$I'2 = \frac{R_{sh}}{R_{sh} + R_N} I_2$$

- F.m.m créée par l'enroulement d'induit :

$$f_i = n_A I_2$$

n_A : nombre de spires de l'enroulement d'induit (A1-A2) .

- Le taux de compensation est défini par :

$$k = \frac{f_n}{f_i} = \frac{n_N I_2}{n_A I_1} = \frac{n_N}{n_A} \frac{R_{sh}}{R_{sh} + R_N}$$

On constate que k est fonction de R_{sh} puisque les autres paramètres sont constants .

Suivant la valeur de R_{sh} on peut définir trois cas de marche possibles pour l'amplidyne .

$k = 1$; la machine est parfaitement compensée, l'égalité des f.m.m de neutralisation et de la réaction magnétique d'induit transversale est assurée .

$k < 1$; la machine est sous-compensée

$k > 1$; la machine est sur-compensée

c- Enroulement d'amplification série : E1-E2

Dans les amplidyne sans pôles auxiliaires, dans l'axe transversal , la f.m.m de réaction d'induit de commutation peut dépasser de plusieurs fois la f.m.m d'excitation et influencer fortement le fonctionnement de la machine .

Pour pallier à ce problème , on préfère diminuer le courant I_1 , mais I_1 est la source du flux longitudinal ϕ_2 .

Pour éviter une diminution de ϕ_2 , on met en série dans l'axe transversal un enroulement E1-E2 qui va créer un flux ϕ_E de telle manière à compenser la diminution de ϕ_2 .

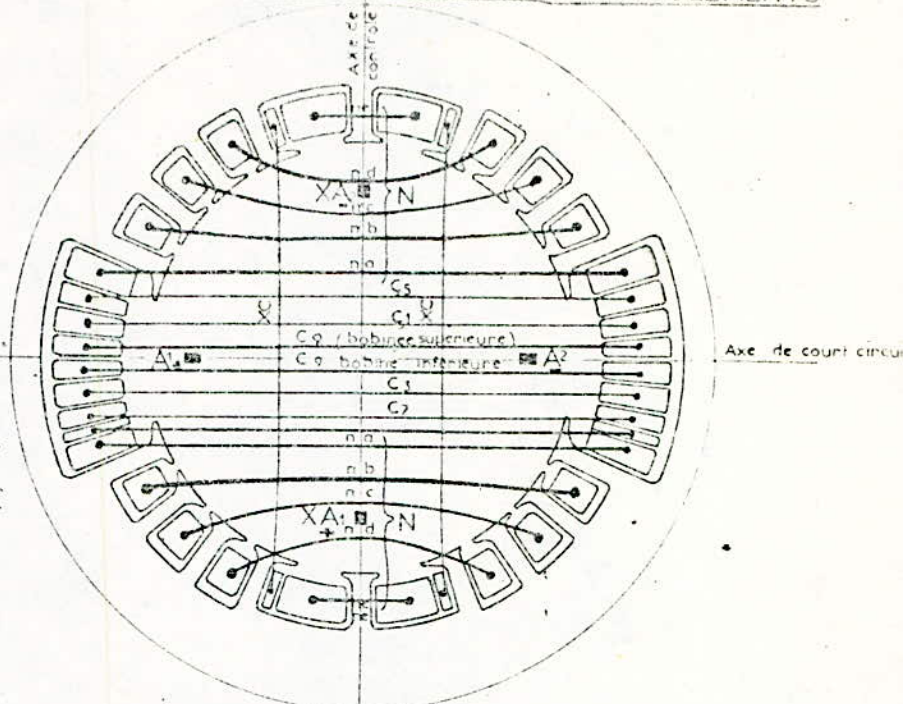
$$\text{ainsi } \phi_2 = \phi_2 + \phi_E$$

A noter que la résistance de cet enroulement est infiniment petite , voir plus loin .

d- Enroulement d'amplification shunt : XC1-XC2

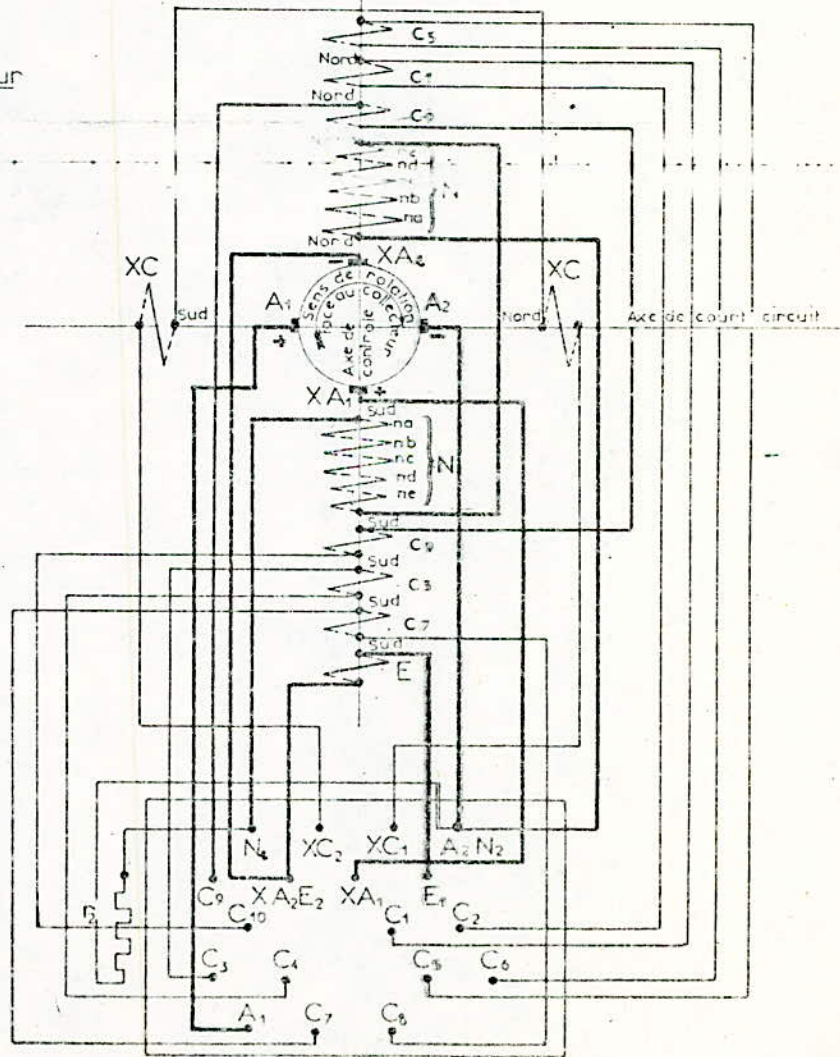
Cet enroulement joue le rôle de pôles auxiliaires pour l'axe transversal , facilitant ainsi la commutation des balais auxiliaires XA1-XA2 ainsi que le temps de réponse de l'amplidyne .

DISPOSITIONS DES BALAIS ET DES ENROULEMENTS



- N - Enroulement de neutralisation
- E - Enroulement série amplificateur
- C₁ - Enroulement de contrôle
- C₃ - Enroulement de contrôle
- C₅ - Enroulement de contrôle
- C₇ - Enroulement de contrôle
- C₉ - Enroulement de contrôle
- XC - Enroulement shunt amplificateur
- A₁-A₂ Balais principaux
- XA₁-XA₂ Balais auxiliaires

SCHEMA DE CONNEXIONS



Nbre	Designation	Matiere	Intensité ou Réponse	Observation
Schéma général des enroulements et connexions				
Date : 7-11-60 Ver : 10-11-60 Vu :				
A. PSAFF		BOURGEOIS	B.P.N	Remplace :

Fig. (5-2-5)

ALSTHOM - BELFORT -
N° 25-25-83-71

e- Enroulement d'induit simple: A1-A2

f- Enroulement d'induit court-circuité : XA1-XA2

On injecte une tension alternative dans la boucle de court-circuit à l'aide d'un transformateur afin de réduire le cycle d'hystérésis et par conséquent les pertes par hysteresis .

Comme on le verra par la suite , l'amplidyne se caractérise par un gain très élevée , de ce faite , la moindre variation du cycle se verra amplifiée de beaucoup et risquera de nuire au bon fonctionnement de la machine .

Il est a noter que certains types d'amplidynes sont dotées d'un reseau correcteur du cycle d'hysteresis incorporé .

2.3 Principe de fonctionnement :

Si nous alimentons l'enroulement d'excitation C1-C2 de la machine par une tension continue v_1 , un courant i_1 y circule . Ce courant provoque un flux ϕ_1 dans la machine lorsque l'induit tourne . Dans le circuit des balais court-circuités XA1-XA2 , apparait une faible f.e.m E_1 qui à son tour engendre un fort courant I_1 vu le court-circuit , ce courant crée un flux ϕ_2 relativement plus élevé ce qui entraine l'apparition d'une f.e.m importante aux bornes des balais A1-A2;qui constituent le circuit extérieur de l'amplidyne .

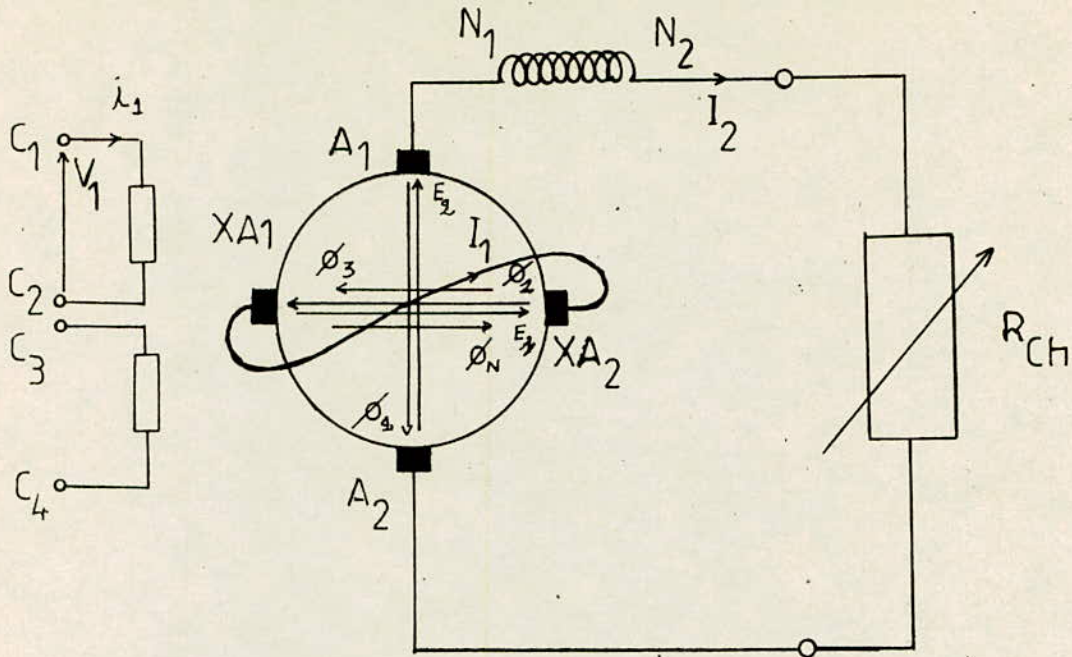
En charge la machine peut debiter un fort courant I_2 , celui-ci crée un flux ϕ_3 qui ira se soustraire au flux ϕ_1 . Afin d'empêcher cela,on prévoit un enroulement de compensation N1-N2 qui doit créer un flux ϕ_N dans le sens opposé à ϕ_3 grâce au courant de charge . Ainsi la machine aura un flux d'excitation qui reste invariant .

Il est à noter que l'amplidyne presente , sous un volume plus reduit, un systeme analogue à celui d'un groupe Ward-Léonard à deux étages .

le 1^{er} étage amplifie la puissance $P_1=v i$ à $P_2=E_1 I_1$

le 2^{eme} étage amplifie " $P_2=E_1 I_1$ à $P_3=E_2 I_2$.

Representation des flux dans la machine :



- A l'interieur de la machine , les enroulements de commande sont disposés selon l'axe des balais principaux A1-A2 . Ainsi les flux qui y seront induits se superposent au flux d'excitation ϕ_1 , par consequent ces enroulements de commande agissent tous de manière analogue . (voir schema de connexion de l'amplidyne page 24)

2.4 - Identification de l'amplidyne :

2.4.1 - Plaque signalétique:

Amplidyne type M A D 160	Alsthom-Belfort
- tension nominale	Vn = 150 V
- puissance nominale	Pn = 4.4 Kw
- courant nominal	In = 27 A
- vitesse nominale	N = 3000 tr/mn

L'amplidyne est entraînée par un moteur dont la plaque signalétique donne :

type d'excitation : shunt

INDUIT/-tension nominale $V_n = 110 \text{ V}$
-courant nominal $I_n = 50 \text{ A}$
-vitesse nominale $N = 2900 \text{ tr/mn}$
-puissance nominale $P_n = 5.5 \text{ Kw}$

INDUCTEUR/ excitation $J_n = 1.2 \text{ A}$

On travaillera à une vitesse $N = 2800 \text{ tr/mn}$

2.4.2 - Mesure des résistances et des inductances de l'amplidyne:

On mesure les résistances des enroulements de contrôle et de commande par la méthode déjà citée dans l'étude de l'alternateur . On obtient :

<u>Enroulements de commande</u>	<u>Enroulements de contrôle</u>
C1-C2 : 577.1 Ω	A1-A2 : 0.51 Ω
C3-C4 : 562.5 Ω	N1-N2 : 0.23 Ω
C5-C6 : 5.6 Ω	E1-E2 : 11.67 m Ω
C7-C8 : 5.6 Ω	XA1-XA2 : 0.56 Ω
C9-C10 : 13.1 Ω	XC1-XC2 : 14.81 Ω

La mesure des inductances se fera par la méthode de Joubert . On obtient :

<u>Enroulement de commande</u>	<u>Enroulement de contrôle</u>
C1-C2 : 37.4 H	A1-A2 : 0.105 H
C3-C4 : 37.4 H	N1-N2 : 0.112 H
C5-C6 : 0.4 H	E1-E2 : 0.0001 H
C7-C8 : 0.4 H	XA1-XA2 : 0.150 H
C9-C10 : 1.8 H	Xc1-XC2 : 0.8 H

Remarque:

Vu les résultats obtenus , on peut dire que C1-C2 et C3-C4 sont identiques , ainsi que C5-C6 et C7-C8 .

2.4.3 - Relevé des caractéristiques :

Caractéristiques à vide : voir fig 1,2,3 page 33

Ce sont les courbes du type $E = f(J)$, pour chaque enroulement d'excitation .

Schéma de montage : fig 1 page 32

Les courbes ainsi obtenues permettent le dimensionnement des boucles de régulation , selon l'enroulement employé hormis l'enroulement C1-C2 qui sert à l'excitation , on peut déterminer l'ordre de grandeur du courant qui traverse celui-ci ainsi que la zone de saturation .

Caractéristiques en charge : fig 4 page 33

Schéma de montage : fig 2 page 32

Cet essai sera fait avec et sans enroulement de neutralisation.

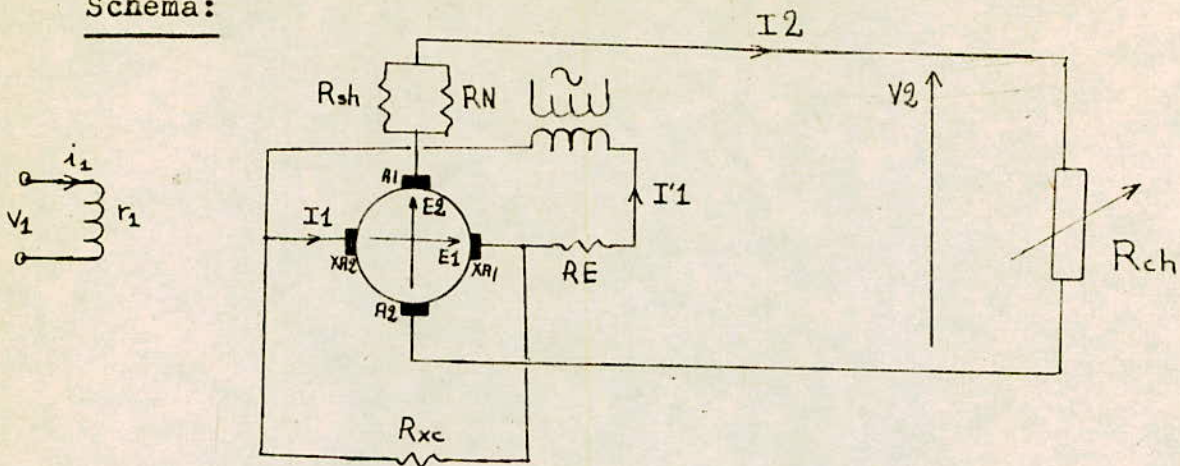
L'influence de l'enroulement de neutralisation est mise en évidence par le graphe fig 4 page 33

Ainsi on enregistre une très importante chute de tension dès que l'on charge l'amplidyne en l'absence de la neutralisation de la réaction magnétique d'induit .

La résistance R_{sh} en parallèle avec l'enroulement de neutralisation permet d'obtenir les différents degrés de compensation , on choisira une valeur de la résistance qui correspondra au régime légèrement surcompensé .

2-4-4 CALCUL DU GAIN DE L'AMPLIDYNE:

Schéma:



Equations:

On sait que $E = k N \phi$ et $\phi = k' I$
d'où $E = K I$

a) $E1 = K1 i_1 = Rxa I1 + RE I'1$

$$RE I'1 = Rxc (I1 - I'1) \Rightarrow I'1 = \frac{Rxc}{RE + Rxc} I1$$

$$E1 = \left[Rxa + \frac{RE \cdot Rxc}{RE + Rxc} \right] I1 = K1 i_1$$

b) $E2 = K4 I1 + KE I'1 = \left[K4 + KE \frac{Rxc}{RE + Rxc} \right] I1$

avec: $K4 I1$: f.e.m due au courant $I1$ dans Rxa

$KE I'1$: f.e.m due au courant $I'1$ dans RE

$$E2 = \left[RA + \frac{RN \cdot Rsh}{RN + Rsh} + Rch \right] I2$$

Comme nous l'avons signalé précédemment, l'amplidyne peut être considérée comme un groupe Ward-Léonard à deux étages.

Le premier amplifie la puissance $P1 = V1 i1$ jusqu'à la valeur

$P2 = E1 I1$, le second amplifie $P2$ pour atteindre une puissance $P3 = V2 I2$.

Le gain s'exprimera par :

$$G = \frac{\text{Puissance débitée}}{\text{Puissance fournie au circuit excitation}} = \frac{P3}{P1}$$

-La puissance fournie au circuit d'excitation est:

$$P1 = r_1 i_1^2$$

$$\text{or } i_1 = \frac{1}{K1} \left[Rxa + \frac{RE \cdot Rxc}{RE + Rxc} \right] I1$$

$$\text{ainsi } P1 = \frac{r_1}{K1^2} \left[Rxa + \frac{RE \cdot Rxc}{RE + Rxc} \right]^2 I1^2$$

-La puissance débitée a pour expression:

$$P3 = Rch I2^2$$

$$\text{or } I2 = \frac{1}{Req} \left[K4 + KE \frac{Rxc}{RE + Rxc} \right] I1$$

$$\text{avec } Req = RA + \frac{RN \cdot Rsh}{RN + Rsh} + Rch$$

$$\text{ainsi } P3 = \frac{Rch}{Req^2} \left[K4 + KE \frac{Rxc}{RE + Rxc} \right]^2 I1^2$$

-Finalement le gain sera :

$$G = \frac{Rch K1^2}{r_1 Req^2} \frac{\left[K4 + KE \frac{Rxc}{RE + Rxc} \right]^2}{\left[Rxa + \frac{RE \cdot Rxc}{RE + Rxc} \right]^2}$$

sachant que: $Rxc = 14.8 \Omega$ et $RE = 11.7 m\Omega$
on peut donc négliger RE devant Rxc, le gain devient :

$$G = \frac{Rch K1^2}{r_1 Req^2} \frac{(K4 + KE)^2}{(Rxa + RE)^2}$$

En faisant apparaitre la vitesse, le gain devient :

$$G = \frac{Rch K'1^2}{r_1 Req^2} \frac{(K'4 + K'E)^2}{(Rxa + RE)^2} N^4$$

$$\text{avec: } K1 = K'1 N$$

$$K4 = K'4 N$$

$$KE = K'E N$$

De cette dernière expression, on constate que le gain de l'amplidyne est fonction de la puissance quatrième de la vitesse, les autres paramètres de la machine étant constants. C'est pour cette raison que l'amplidyne tourne à des vitesses élevées: 3000 tr/mn

Le gain peut atteindre la valeur intéressante de 100 000, cela montre l'intérêt de ce type de machines, on peut commander de grandes puissances à partir de très faibles puissances.

- A travers Rsh, le gain en puissance est légèrement fonction du degré de compensation.

- Si nous voulons accroître le gain d'une amplidyne, il est plus judicieux de prévoir des vitesses élevées lors de sa construction.

- L'amplidyne travaille généralement à 3000 tr/mn, un accroissement de la vitesse au delà de cette valeur est difficile car ce sera au détriment de la commutation et de la rigidité mécanique qui se trouvera considérablement diminuée.

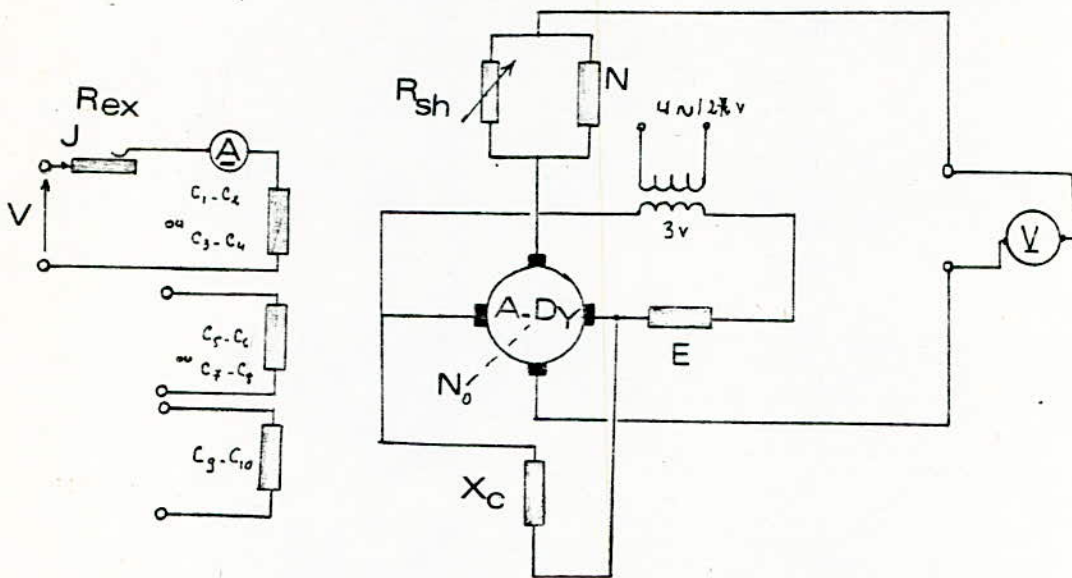


fig 1 - MONTAGE POUR LES RELEVÉS DES CARACTÉRISTIQUES
À VIDE.

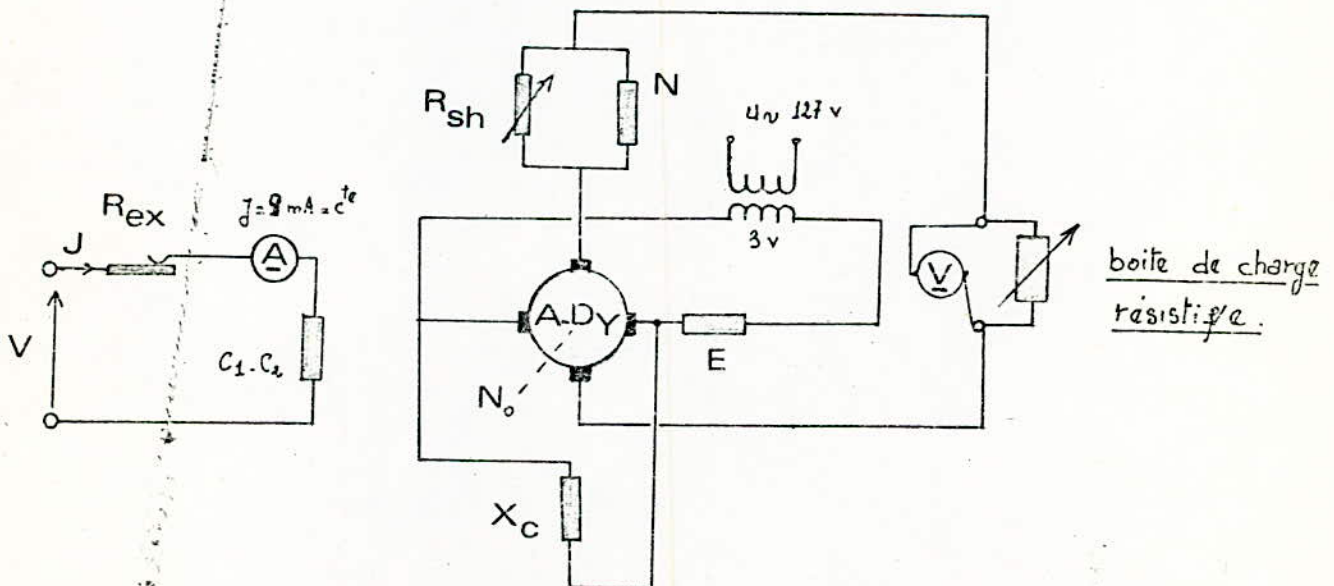


fig 2 - MONTAGE POUR LES RELEVÉS DES CARACTÉRISTIQUES
EN CHARGE.

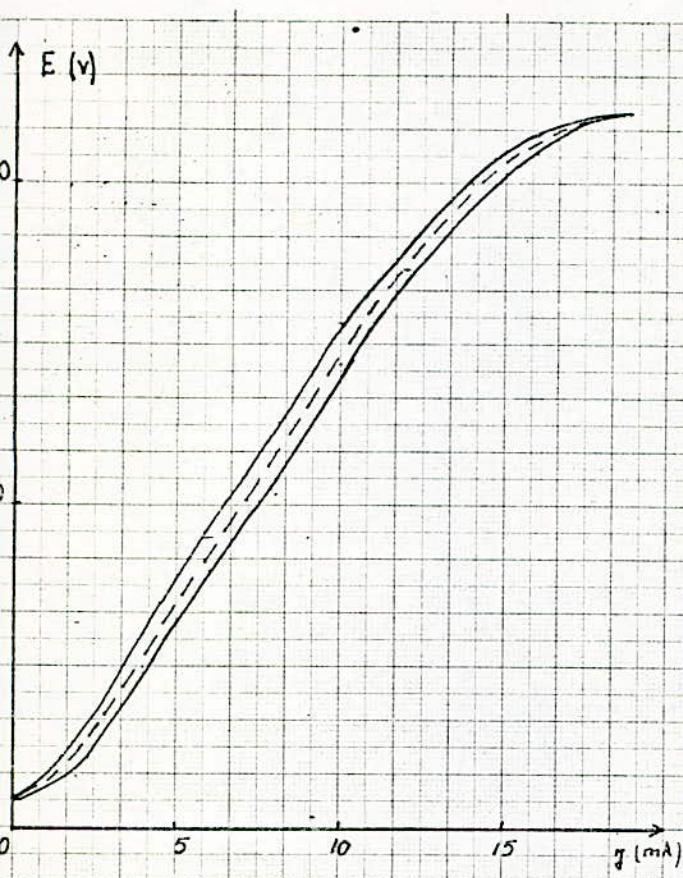


fig 1 Caractéristique à vide $E = f(j)$
Pour Les enroulement C_1-C_2 et C_3-C_4

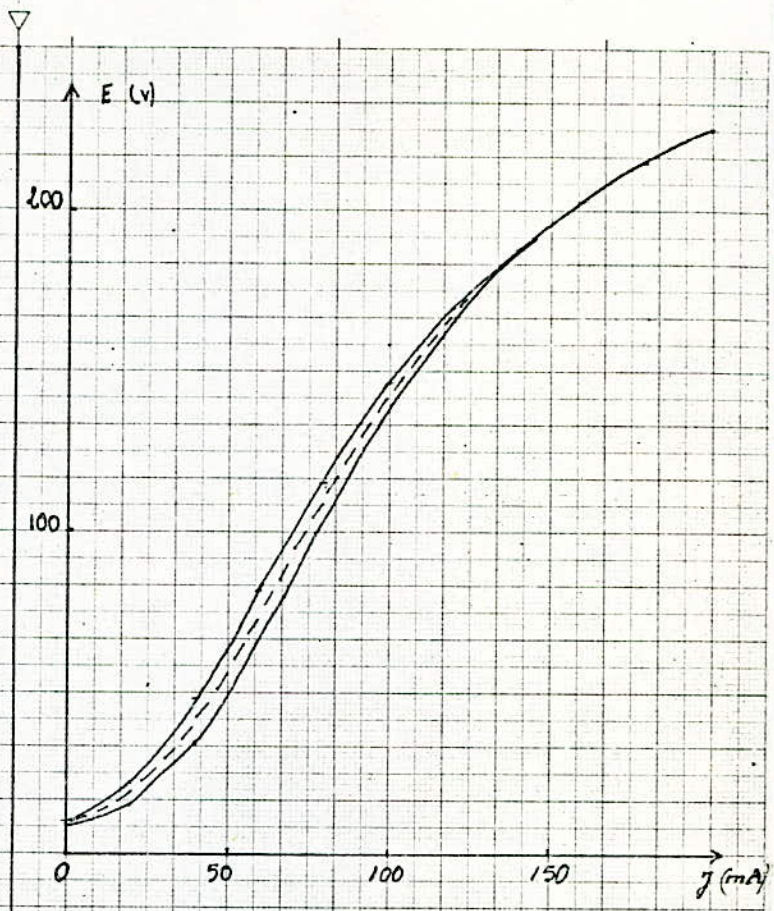


fig 2 Caractéristique à vide $E = f(j)$
Pour Les enroulement C_5-C_6 et C_7-C_8

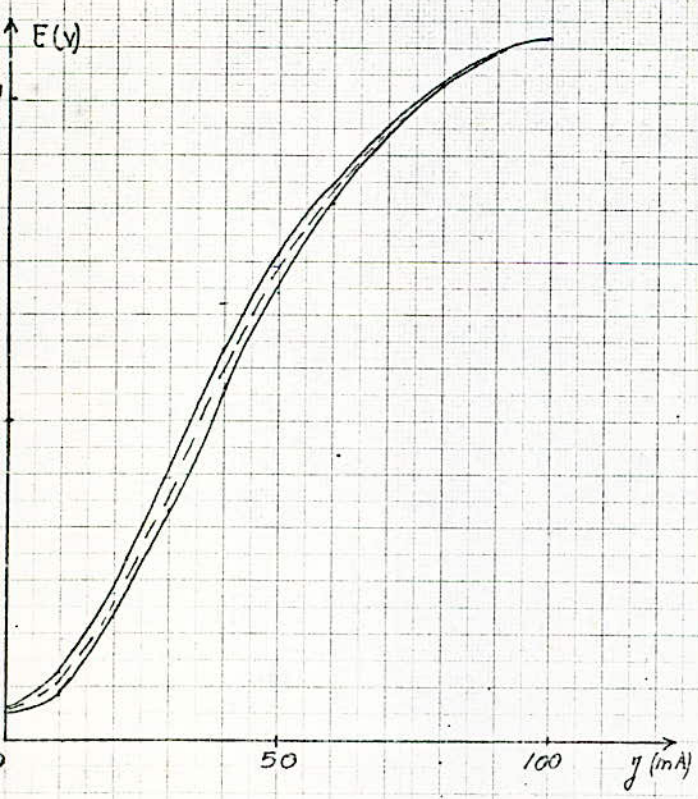


fig 3 Caractéristique à vide $E = f(j)$
Pour L'enroulement C_9-C_{10}

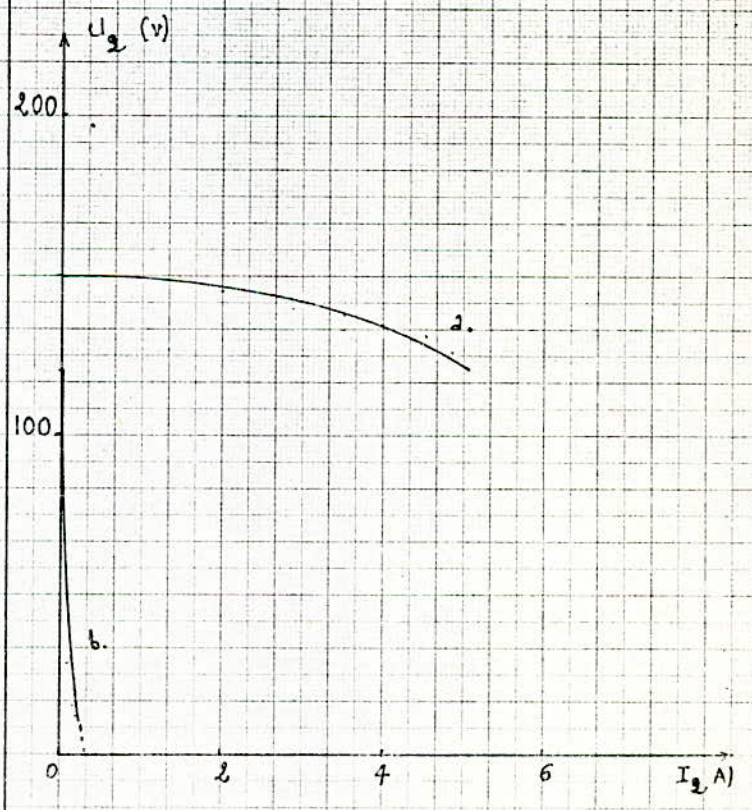


fig 4 Caractéristique an charge.
 a - avec compensation N_1-N_2 .
 b - sans compensation N_1-N_2 .

C H A P I T R E 3

REGULATION DE TENSION

3.1 - Introduction : Le travail demandé est de maintenir constante la tension de sortie de l'alternateur indépendamment de la charge sur laquelle il débite .

Nous allons montrer que pour réaliser cela il suffit d'agir sur le courant d'excitation de l'alternateur .

On a établi au chapitre 2 :

$$\vec{E} = \vec{V} + R \vec{I} + j \lambda \vec{I}$$

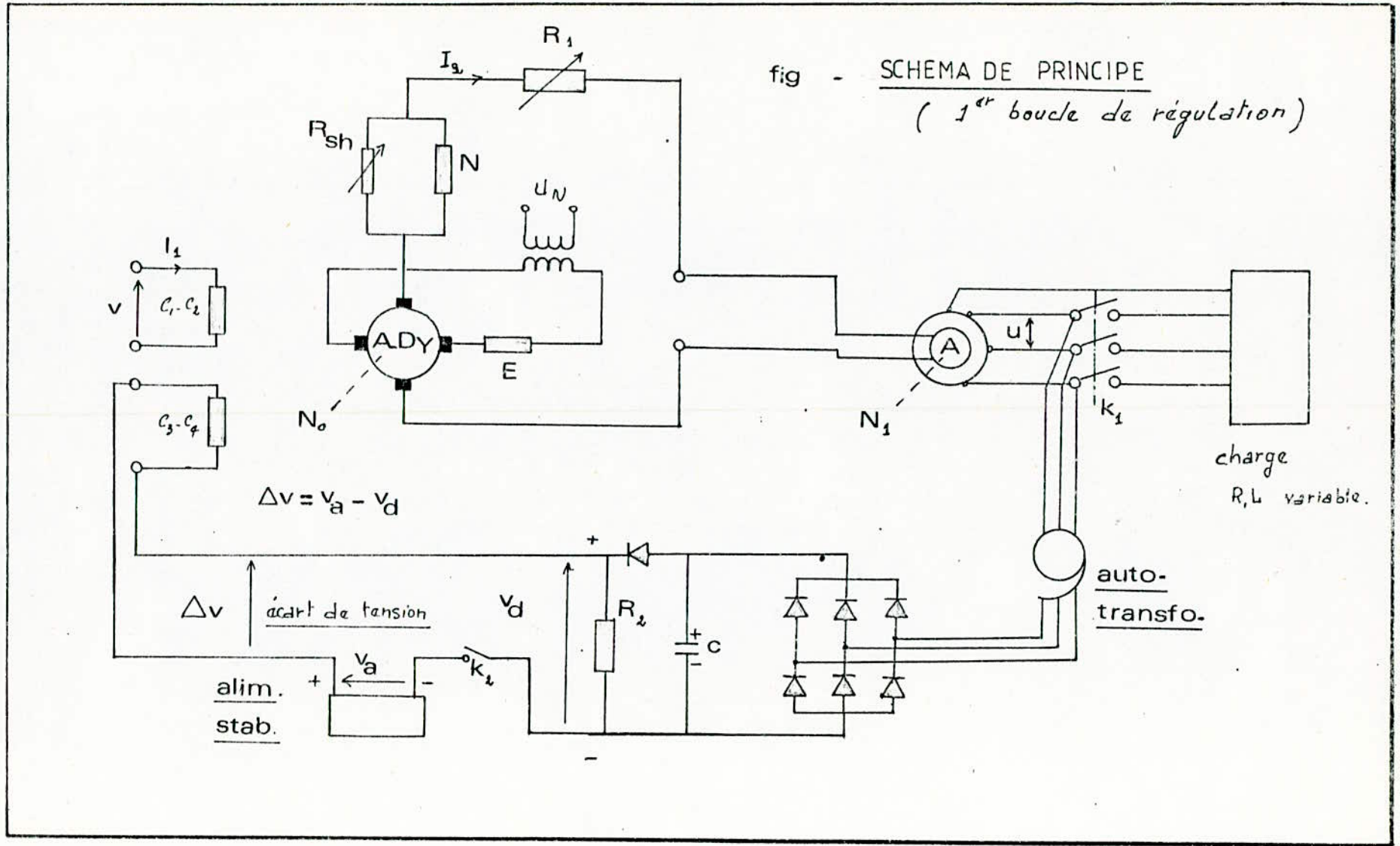
Cette équation montre que pour garder la tension V constante , il suffirait de jouer sur la f.e.m E , le courant I étant imposé par la charge . La F.e.m étant liée au courant d'excitation J par la caractéristique à vide , il suffirait de faire varier ce courant afin de régler la tension V .

3.2 - Première boucle de régulation : voir schéma page 35

3.2.1 - Mode de fonctionnement :

En alimentant l'enroulement d'excitation C1-C2 , on fait débiter à l'amplidyne un courant I_2 dans le circuit inducteur de l'alternateur . On recueille ainsi une tension U entre phases du côté induit . Une image de cette tension est prise par l'auto-transformateur abaisseur , redressée puis filtrée , celle-ci est comparée à une tension de référence obtenue par une alimentation stabilisée , l'écart de tension obtenu alimente l'enroulement de contrôle C3-C4 .

Le courant circulant dans ce dernier enroulement induit une f.e.m supplémentaire dans la machine amplificatrice faisant augmenter le courant I_2 , c'est à dire l'excitation de l'alternateur et finalement la tension U .



- Mode opératoire :

- a- On affiche $U = 220 \text{ V}$ à vide par action sur la tension v_1 de l'enroulement C1-C2 .
- b- On fixe la valeur de la tension V_d image de U par action sur l'auto-transformateur .
- c- On égalise $V_a = V_d$
- d- En fermant K_2 , la boucle de régulation est enclenchée
- e- On charge l'alternateur .
- f- On relève la tension U et le courant I de l'alternateur le niveau de tension image V_d et le courant parcourant l'enroulement C3-C4 .

- Remarques :

- La résistance R_1 est mise pour chuter la tension de sortie de l'amplidyne de 120 V aux environs de 40 V , tension d'alimentation de la roue polaire . $R_1 = 50 \Omega$
- Pour K_2 ouvert; la régulation est dite en boucle ouverte
- Pour K_2 fermé ; la régulation est dite en boucle fermée

On relève la tension et le courant de l'alternateur en boucle ouverte et en boucle fermée , ceci pour différents $\cos \phi$.

Les résultats sont représentés a la page 40 et 41

3.2.2 - Resultats et interprétations :

-Lors des différents essais, on remarque que plus la tension de référence est élevée et plus la régulation est meilleur.

$$\text{à } \cos \phi = 1 \left\{ \begin{array}{l} \text{pour } V_a = 20\text{V} \quad \epsilon = \frac{17}{220} \cdot 100 = 7.73\% < 10\% \\ \text{pour } V_a = 56\text{V} \quad \epsilon = \frac{7}{220} \cdot 100 = 3.18\% < 10\% \end{array} \right.$$

on voit ainsi que pour $V_a = 56 \text{ V}$, vaut $3,18\%$, ce qui veut dire que le système régule.

- La valeur de la tension de référence influe dans cette boucle de régulation d'une manière évidente car celle-ci en augmentant , fait augmenter l'écart de tension ($V_a - V_d$) ce qui fait que le courant qui y circule dans l'enroulement de commande devient important et son action sera plus grande .

- On pourrait optimiser V_a , mais on dispose d'une alimentation stabilisée de 60 V au maximum et on sait que ce genre d'appareil est en général limité en niveau de tension et en puissance vu les caractéristiques des composants électroniques qui les composent .

6- Cette boucle régule bien pour le cas résistif puisque :

pour $\cos\phi = 1$ et $V_a = 56$ V $\epsilon = 3.18\%$

Mais pour le cas inductif , on enregistre :

pour $\cos\phi = 0.7$ AR $\epsilon = 7.5\%$

pour $\cos\phi = 0.8$ AR $\epsilon = 7.0\%$

Dans le souci d'améliorer les résultats , on réalisera une seconde boucle de régulation .

3.3 - Seconde boucle de régulation :

L'idée est d'injecter une image du courant débité par l'alternateur dans le circuit d'excitation de l'amplidyne à travers l'enroulement C7-C8 .

Le schéma représentant cette boucle est donné à la page 38

3.3.1 - Mode de fonctionnement :

Une tension image du courant I demandé par la charge est obtenue par deux T.I et deux résistances variables de 1Ω chacune comme l'indique le schéma de la page 38 Redressée puis filtrée cette tension alimentera l'enroulement de commande C7-C8 de l'amplidyne , qui ajustera l'excitation de l'alternateur pour garder sa tension U constante .

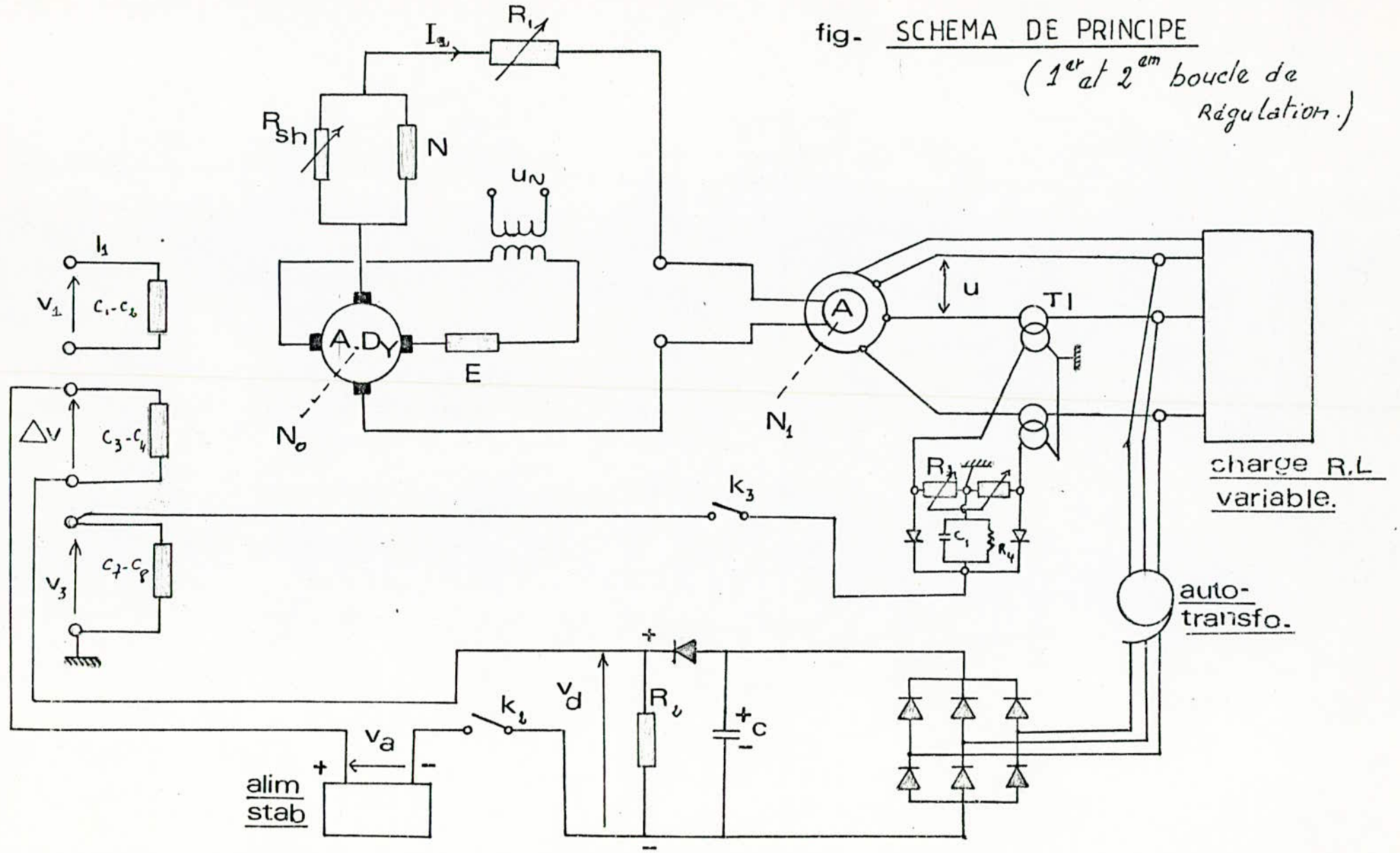


fig- SCHEMA DE PRINCIPE
(1^{er} et 2^{em} boucle de régulation.)

alim stab

charge R,L variable.

auto-transfo.

3.3.2 - Résultats et Interprétations : voir page 41

- On enregistre :

pour $\text{COS}\phi = 0.7$ AR	$\epsilon = 5.00\%$
pour $\text{COS}\phi = 0.8$ AR	$\epsilon = 2.27\%$

- A ce niveau on constate que la seconde boucle de régulation améliore les résultats déjà enregistrés .

- L'action simultanée des deux boucles fait en sorte que la tension de l'alternateur varie dans une plage estimée acceptable vu que l'on a respecté $\epsilon < 10\%$

- La régulation avec les deux boucles réalisées est mise en évidence par les caractéristiques en boucle ouverte et en boucle fermée $U = f(I)$ pour $\text{COS}\phi = 1$ et $\text{COS}\phi = 0.7$ AR . voir page 42

- Ces deux représentations graphiques montrent d'une manière explicite l' action de la regulation de tension .

3.4 - Boucle de limitation de courant : voir page 43

-On prendra l'image du courant d'une manière similaire à celle de la seconde boucle", c'est à dire qu'un montage redresseur filtre sera monté en parallèle avec celui déjà réalisé , ensuite interviendra un montage électronique.

-L'amplificateur opérationnel $\mu A 741$ amplifie la tension recueillie au niveau voulu par action sur le gain de l'ampli-op , cela en utilisant le potentiomètre P1 .

-Les deux transistors montés en Darlington permettent une amplification de courant . Le transistor T3 utilisé en commutation sert d'interrupteur électronique , son courant de base est contrôlé à l'aide du potentiometre P2 .

-Lorsque le seuil de tension $V_{BE} = 0.7$ V du transistor T3 est atteint , celui-ci s'enclenche permettant ainsi l'alimentation de l'enroulement C9-C10 . Le courant circulant dans cet enroulement agira pour diminuer la tension et par conséquent le courant de débit .

ESSAIS DE REGULATION

A - $\cos \varphi = 1$

$N_1 = 1500$ tr/min = c^{1e}

U (V)	220	216	212	201	194	185	180	172
I (A)	0	1	2,15	3.3	4.2	5	5.9	6.6
U _d (V)	20	19.9	19.4	18.4	17.5	16.7	15.7	15.5

- boucle ouverte . $\Delta U = 48$ $\Delta V_d = 4,5V$

$V_a = 20V$

U (V)	220	220	220	217	215	212	211	205
I (A)	0	1.1	2.2	3.4	4.4	5.5	6.5	7.5
V _d (V)	20	20	20	19.9	19.6	19.4	19.1	18.9
I_{c3-cv} (mA)	0	0.20	0.40	0.85	1.15	1.65	2	2.60

- boucle fermée : $\Delta U = 15v$ $\Delta V_d = 1,1v$

$V_a = 56V$

U (V)	220	220	219	218	218	216	215	214
I (A)	0	1.1	2.3	3.4	4.5	5.5	6.6	7.6
V _d (V)	56	56	56	55.8	55.8	55	54.5	54
I_{c3-cv} (mA)	0	0.30	0.50	0.80	0.60	1.75	2.50	3.40

- boucle fermée . $\Delta U = 6v$ $\Delta V_d = 2v$

B - $\cos \varphi = 0.7$ ind .

$N_1 = 1500$ tr/min = c^{1e}

U (V)	220	208	191	175	162	147	140
I (A)	1.5	3.3	4.5	5.6	6.4	7	7.7
V _d (V)	56	52.5	48	44	41	37	35

- boucle ouverte . $\Delta U = 80v$ $\Delta V_d = 21v$

U (V)	220	218	215	200	204
I (A)	1.5	3.5	5.1	6.5	8.1
V _d (V)	56	55	54	52.5	51.5
I_{c3-cv} (mA)	0	1.4	2.8	5.4	7.7

- boucle fermée . $\Delta U = 16v$ $\Delta V_d = 4,5v$

$$\cos\varphi = 0.8 \text{ ind}$$

$$N_1 = 1500 \text{ tr/min} = c \frac{E}{\omega}$$

U (V)	220	206	190	176	167	151	140
I (A)	2.	3.3	4.4	5.2	6.0	6.5	7.0
V _d	56.	52,5	49.	45.	42,5	38.	34.5

- en boucle ouverte.

$$\Delta U = 80 \text{ V} \quad \Delta V_d = 21,5 \text{ V}$$

U (V)	220	217	214	210	205
I (A)	2.00	3,45	4.90	6.20	7.60
V _d (V)	56	55	54	53	52
I _{c₃-c₆} (mA)	0.	1.3	2.5	4.1	6.3

- en boucle fermée.

$$\Delta U = 15 \text{ V} \quad \Delta V_d = 4 \text{ V}$$

- AVEC LA SECONDE BOUCLE DE REGULATION

ON OBTIENT, (La première boucle étant toujours en action.)

$$\cos\varphi = 0,7 \text{ ind}$$

U (V)	220	220	220	216	209
I (A)	1,9	2,6	5,2	6,6	8,1
I _{c₇-c₈} (mA)	5	45	110	165	210

$$\Delta U = 11 \text{ V}$$

Δ

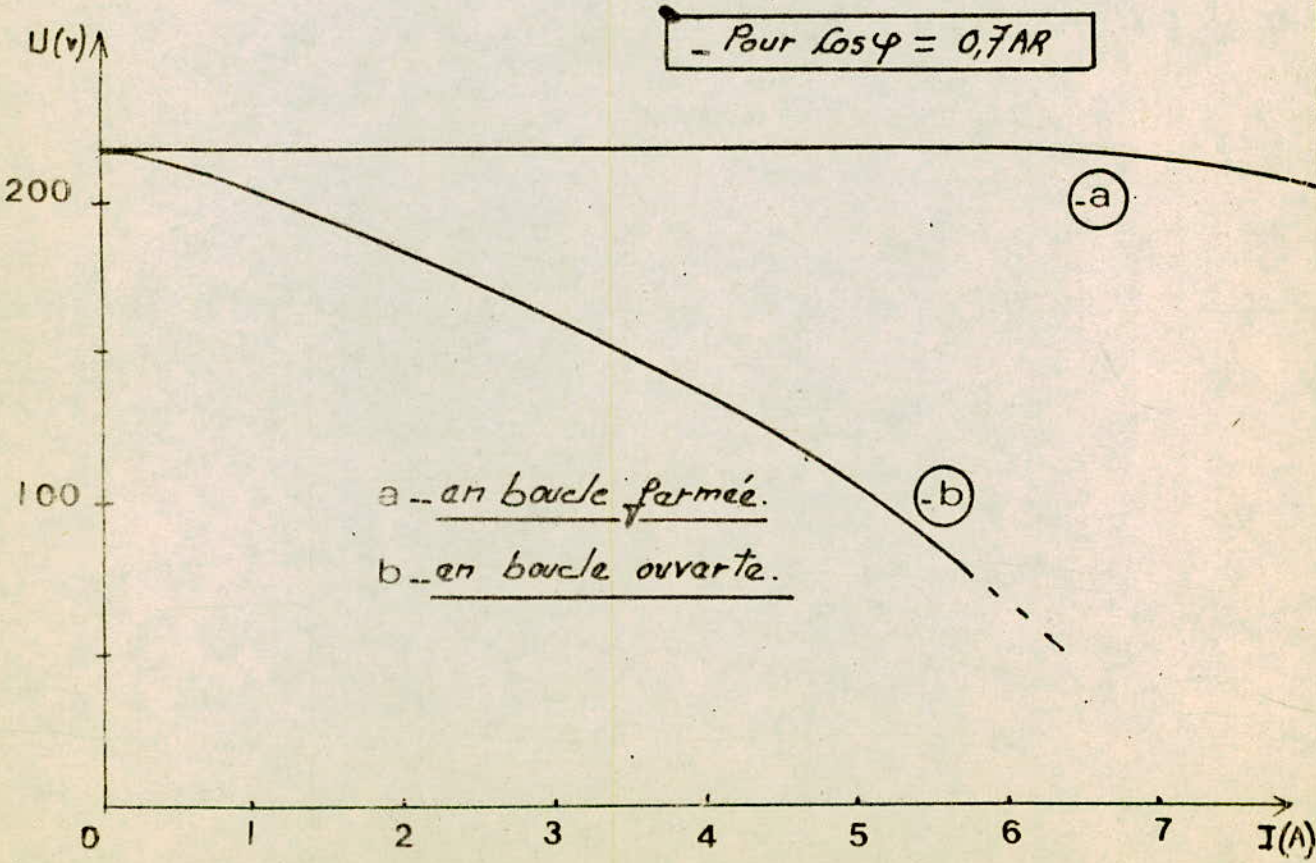
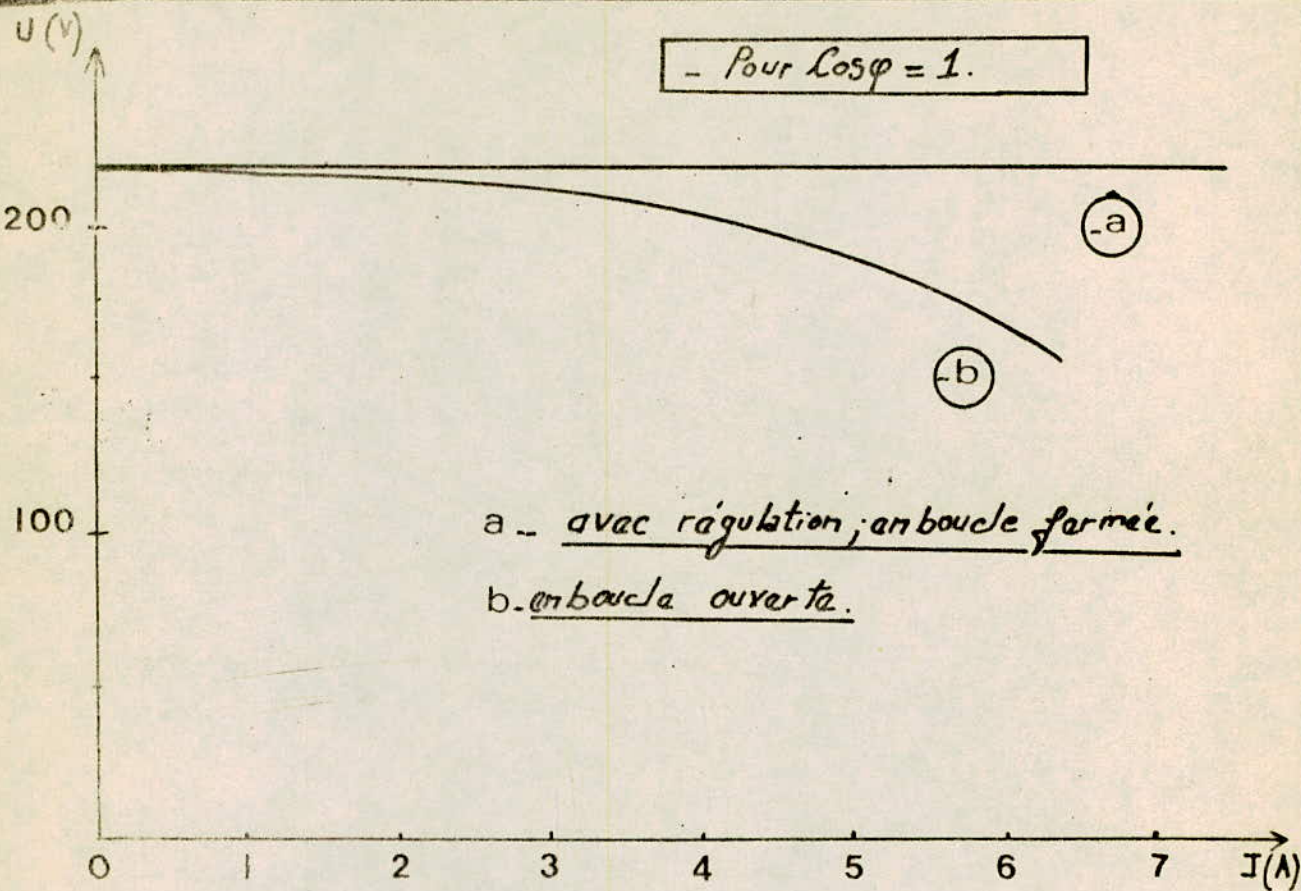
- en boucle fermée.

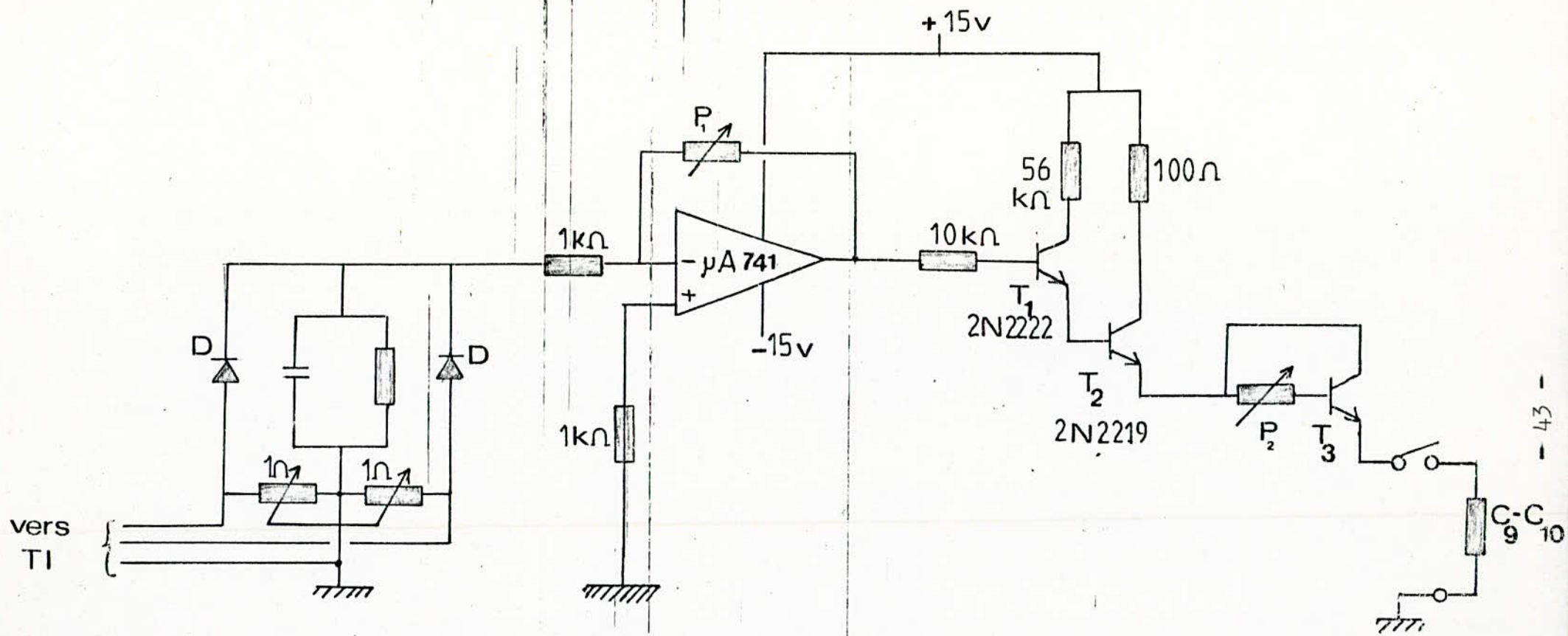
U (V)	220	220	220	219	216
I (A)	2.	3,5	4,8	6,3	7,5
I _{c₇-c₈} (mA)	0	37	80	115	145

$$\Delta U = 4 \text{ V}$$

- en boucle fermée.

$$\cos\varphi = 0.8 \text{ ind}$$





BOUCLE DE LIMITATION
DE COURANT

3.4.2 - Résultats et Interprétations :

-Pour différentes charges , on relève la tension et le courant débité par l'alternateur , avec et sans boucle de limitation de courant .

Pour $\cos\phi = 0.7$ AR

Position charge	U_{avec} (V)	U_{sans} (V)	I_{avec} (A)	I_{sans} (A)
1	218	218	2.0	2.0
2	214	216	3.7	3.7
3	200	215	5.1	5.6
4	187	210	6.2	7.0
5	165	205	7.3	8.5

Pour $\cos\phi = 0.8$ AR

Position charge	U_{avec} (V)	U_{sans} (V)	I_{avec} (A)	I_{sans} (A)
1	220	220	1.8	1.8
2	216	217	3.2	3.2
3	210	217	4.2	4.7
4	197	215	5.6	6.2
5	190	214	6.7	7.5
6	180	205	7.6	8.7

Pour $\cos\phi = 1$

Position charge	U_{avec} (V)	U_{sans} (v)	I_{avec} (A)	I_{sans} (A)
0	220	220	0	0
1	219	219	1	1
2	219	219	2.2	2.2
3	216	219	3.3	3.3
4	217	220	4.3	4.4
5	213	220	5.4	5.6
6	210	220	6.4	6.7
7	207	221	7.3	7.9
8	205	221	8.2	8.7

La boucle de limitation de courant agit a partir d'un seuil de courant en faisant chuter la tension .

Il existe une plage de courant pour laquelle il y a compromis entre la regulation de tension et la limitation de courant .

CHAPITRE IV DETERMINATION ET ETUDE DE LA FONCTION
DE TRANSFERT DU SYSTEME

4-1 FONCTION DE TRANSFERT:

Voir schéma du montage expérimentale de régulation page 38

-Equations électriques: En négligeant toutes les mutuelles entre les enroulements des machines les équations seront:

$$a) \quad v_1 = r_1 i_1 + l_1 \frac{di_1}{dt}$$

$$b) \quad \Delta V = V_a - V_d = r_2 i_2 + l_2 \frac{di_2}{dt}$$

$$c) \quad v_3 = r_3 i_3 + l_3 \frac{di_3}{dt}$$

$$d) \quad E_1 = K_1 i_1 + K_2 i_2 + K_3 i_3 = (R_E + R_{xa}) I_1 + (L_E + L_{xa}) \frac{dI_1}{dt}$$

$$e) \quad E_2 = (K_4 + K_E) I_1 = (R_N + R_1 + R_j + R_A) I_1 + (L_N + L_j + L_A) \frac{dI_2}{dt}$$

$$f) \quad E_a = \sqrt{3} \left(V + R I + \lambda \frac{dI}{dt} \right) \quad (\text{hypothèse})$$

$$g) \quad E_a = K I_2$$

$$h) \quad V_d = \frac{K_d}{K_a} U$$

$$i) \quad I = K_i v_3$$

-En transformées de Laplace :

$$a) \quad v_1(p) = (r_1 + l_1 p) i_1(p)$$

$$b) \quad \Delta V(p) = (V_a - V_d)(p) = (r_2 + l_2 p) i_2(p)$$

$$c) \quad v_3(p) = (r_3 + l_3 p) i_3(p)$$

$$d) \quad E_1(p) = K_1 i_1(p) + K_2 i_2(p) + K_3 i_3(p) = ((R_E + R_{xa}) + (L_E + L_{xa})p) I_1(p)$$

$$e) \quad E_2(p) = (K_4 + K_E) I_1(p) = ((R_N + R_1 + R_j + R_A) + (L_N + L_j + L_A)p) I_2(p)$$

$$f) \quad E_a(p) = \sqrt{3} \left(V(p) + (R + \lambda p) I(p) \right)$$

$$g) \quad E_a(p) = K I_2$$

$$h) \quad V_d(p) = \frac{K_d}{K_a} U(p)$$

$$i) \quad I(p) = K_i v_3(p)$$

Calcul de la fonction de transfert:

$$E1 = \frac{K1 v_1}{r_1 + l_1 p} + \frac{K2 (Va - \frac{Kd}{Ka} U)}{r_2 + l_2 p} + \frac{K3 I / Ki}{r_3 + l_3 p} = ((RE + Rxa) + (LE + Lxa)p) I1$$

$$I1 = \frac{(RN + R1 + Rj + RA) + (LN + Lj + LA) p}{(K4 + KE)} \quad I2$$

$$I2 = \frac{\sqrt{3} (V + (R + \lambda p) I)}{K}$$

On obtient:

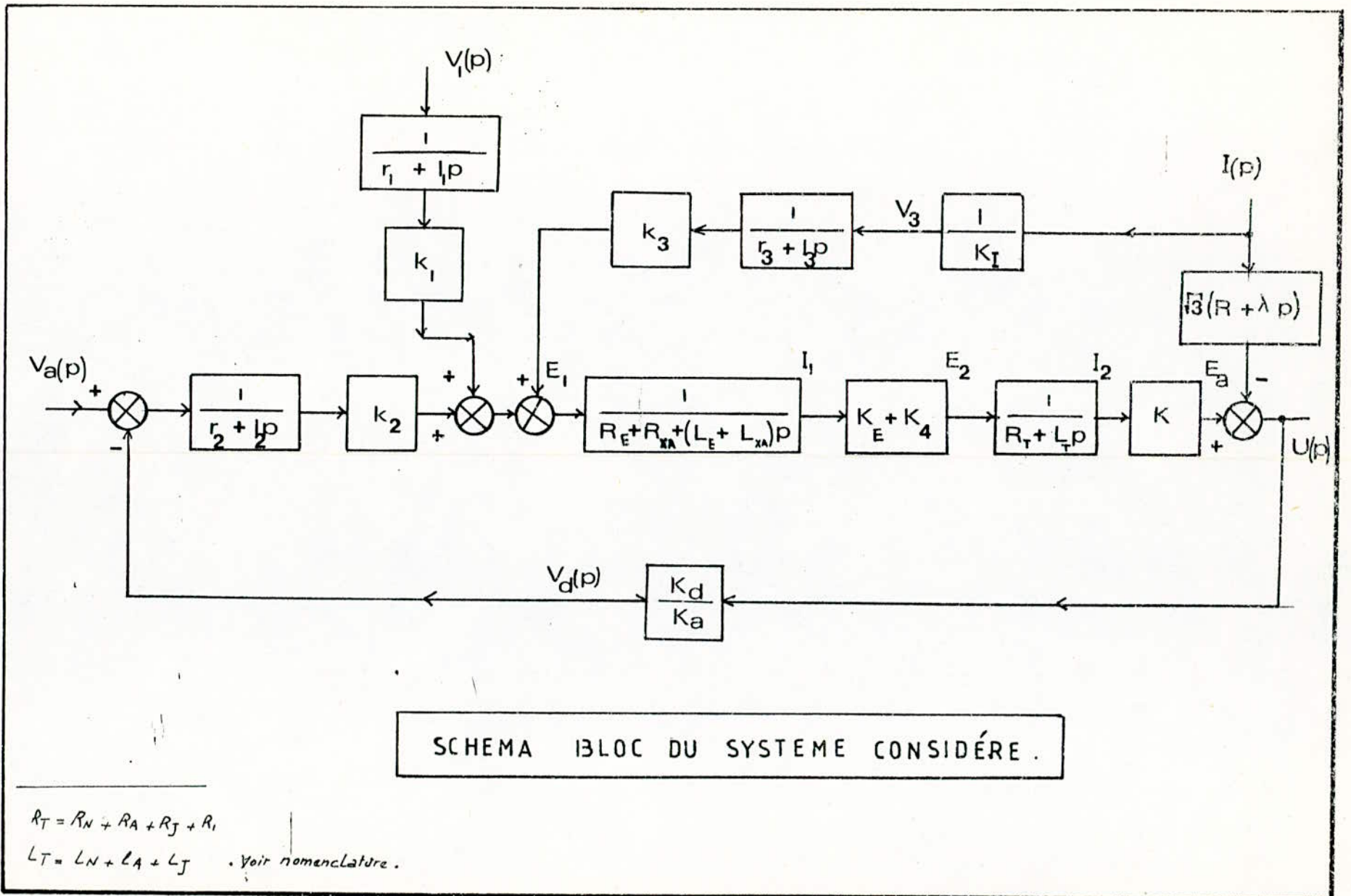
$$U \left[\frac{((RE + Rxa) + (LE + Lxa)p)(Rt + Ltp)}{K(K4 + KE)} + \frac{K2 Kd}{Ka(r_2 + l_2 p)} \right] = \frac{K1 v_1}{r_1 + l_1 p} + \frac{K2 Va}{r_2 + l_2 p}$$

$$+ I \left[-\frac{((RE + Rxa) + (LE + Lxa)p)(Rt + Ltp) \cdot \sqrt{3} (R + \lambda p)}{K(K4 + KE)} + \frac{K3}{Ki(r_3 + l_3 p)} \right]$$

Avec: $Rt = RN + R1 + Rj + RA$ et $Lt = LN + Lj + LA$

Application numérique:

-RE = 11.67 mΩ	LE = 0.0001 H
-Rxa = 0.56 Ω	Lxa = 0.15 H
-RN = 0.23 Ω	LN = 0.112 H
-RA = 0.51 Ω	LA = 0.105 H
-Rj = 20.4 Ω	Lj = 2.75 H
-R1 = 50 Ω	$l_1 = l_2 = 37.4$ H
-r1 = 570 Ω	$l_3 = 0.4$ H
-r2 = 570 Ω	$\lambda = 4.45$ Ω
-r3 = 5.6 Ω	$v_1 = 4$ V
-R = 1.85 Ω	Va = 56 V
-K1 = 850	Ka = 5.23
-K2 = 850	Kd = 1.33
-K3 = 85	Ki = 7.2
-(K4 + KE) = 42	K = 133.33



$$U \left[\frac{(0.57+0.15p)(71.2+3p)(570+37.4p)+1209600}{5600 (570+37.4p)} \right] = \frac{850 v_1 + 850 V_a}{(570+37.4p)}$$

$$- I \left[\frac{(0.57+0.15p)(71.2+3p)(1.85+4.45p)\sqrt{3}(5.6+0.4p)-66080}{5600 (5.6+0.4p)} \right]$$

$$U = \left[\frac{850(v_1 + V_a)(570+37.4p) \cdot 5600}{(570+37.4p)((0.57+0.15p)(71.2+3p)(570+37.4p)+1209600)} \right]$$

$$- I \left[\frac{(570+37.4p)((0.57+0.15p)(71.2+3p)(1.85+4.45p)\sqrt{3}(5.6+0.4p)-66080)}{(5.6+0.4p)((0.57+0.15p)(71.2+3p)(570+37.4p)+1209600)} \right]$$

En négligeant les termes supérieurs au deuxième degré et en effectuant les calculs, on obtient:

$$U(p) = \frac{(2.6656+0.1904p)(v_1(p)+V_a(p))}{0.0007p^2+0.0541p+0.6903} + \frac{3.7251+0.1289p-0.0466p^2}{0.6903+0.0541p+0.0007p^2} I(p)$$

4-2 ETUDE DE LA STABILITE:

$$\xi(p) = U(p) = H_2(p) E(p) - H_1(p) I(p)$$

Avec: $E(p) = (v_1(p) + V_a(p))$

Cette relation est très importante car elle met en évidence:

-d'une part les écarts dûs au fonctionnement en régulateur

$$E(p) = 0 \quad \xi_1(p) = H_1(p) I(p)$$

-d'autre part les écarts dûs au fonctionnement en asservissement

$$I(p) = 0 \quad \xi_2(p) = H_2(p) E(p)$$

Elle montre que ces deux fonctions de transferts $\xi_1(p)$ et $\xi_2(p)$ ont la même équation caractéristique et par conséquent la même loi de stabilité.

Pour l'étude de la stabilité du système de régulation de la tension de l'alternateur, on utilisera le critère de Routh .
L'équation caractéristique est:

$$1+KG(p) = 0.0007 p^2 + 0.0541 p + 0.6903$$

Les racines de cette équation sont les pôles :

$$p_1 = - 61.2$$

$$p_2 = - 16.1$$

Les racines de l'équation caractéristique du système étudié sont a partie réelle négative, le système est donc parfaitement stable .

4-3 CONSTANTE DE TEMPS GLOBALE DU SYSTEME :

L'équation caractéristique peut s'écrire sous la forme:

$$1+KG(p) = A (p-p_1) (p-p_2) \\ = A p_1 p_2 (1 + T_1 p) (1+ T_2 p)$$

$$\text{Avec } T_1 = 1/p_1 \quad \text{et } T_2 = 1/p_2$$

La constante de temps globale du système sera:

$$TG = T_1 + T_2 = 0.016 + 0.062$$

$$TG = 0.078 \text{ s}$$

4-4 ETUDE DES CARACTERISTIQUES STATIQUES ET DYNAMIQUES :

_ Pour $I=0$:

$$U(p) = \frac{2.6656 + 0.1904 p}{0.0007p^2 + 0.0541p + 0.6903} E(p)$$

Pour une entrée échelon $E(p) = \frac{60}{p}$

la valeur initiale de $U(p)$ sera :

$$\lim_{t \rightarrow 0} U(t) = \lim_{p \rightarrow \infty} pU(p) = 0 \text{ V}$$

la valeur finale de $U(p)$ sera :

$$\lim_{t \rightarrow \infty} U(t) = \lim_{p \rightarrow 0} pU(p) = 231.7 \text{ V}$$

Représentation de $H_2(p)$ dans le plan de Nyquist: voir page 52

$$\frac{U(j\omega)}{E(j\omega)} = \frac{2.6656 + 0.1904 j\omega}{0.6903 - 0.0007\omega^2 + 0.0541 j\omega}$$

$$\frac{U(j\omega)}{E(j\omega)} = \frac{1.84 + 0.0084\omega^2 - j(0.0128\omega + 133.10^6\omega^3)}{49 \cdot 10^3 \omega^4 + 0.001954\omega^2 + 0.4765}$$

- Pour $E=0$

$$U(p) = \frac{-0.0466p^2 + 0.1289p + 3.7251}{0.0007p^2 + 0.0541p + 0.6903} I(p)$$

Pour une entrée en échelon $I(p) = \frac{I_0}{p}$

la valeur initiale de $U(p)$ sera:

$$\lim_{t \rightarrow 0} U(t) = \lim_{p \rightarrow \infty} pU(p) = -66.57 I_0$$

pour un échelon de 8A: $U(0) = -532.56 \text{ V}$

la valeur finale de $U(p)$ sera :

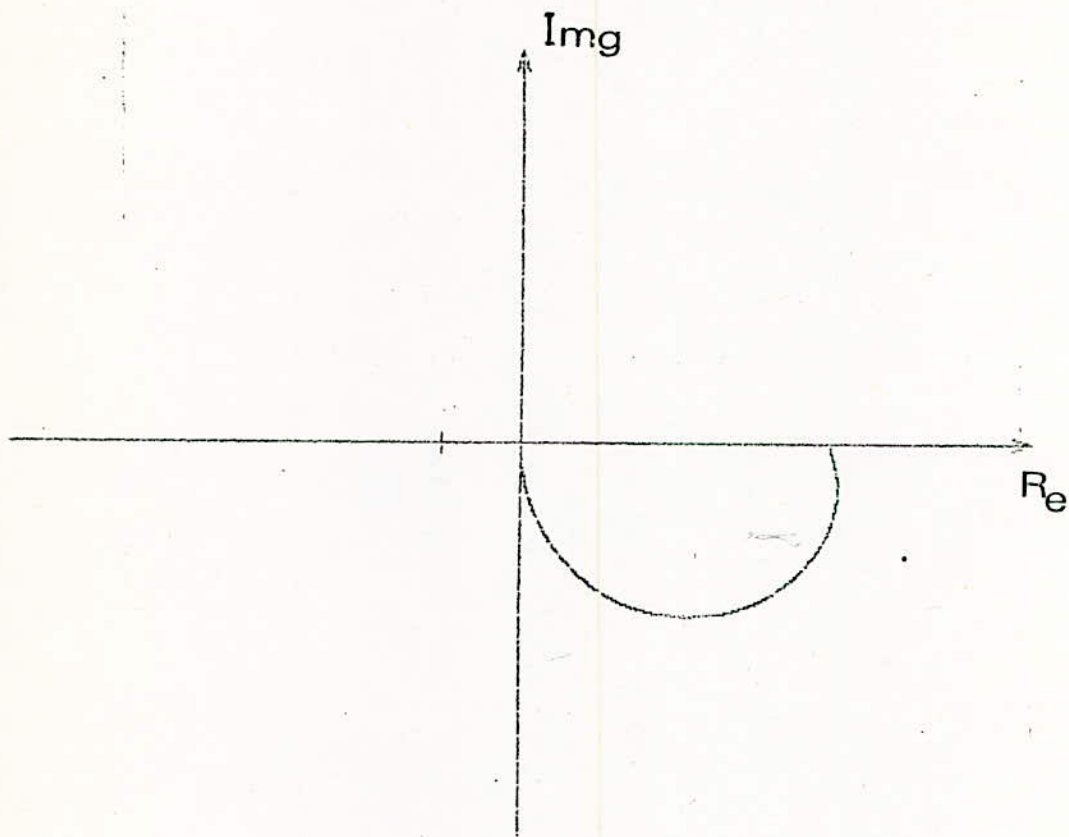
$$\lim_{t \rightarrow \infty} U(t) = \lim_{p \rightarrow 0} pU(p) = 5.4 I_0$$

pour un échelon de 8A: $U(\infty) = 43.2 \text{ V}$

Représentation de $H_1(p)$ dans le plan de Nyquist: voir page 53

$$\frac{U(j\omega)}{I(j\omega)} = \frac{0.0466\omega^2 + 3.7251 + 0.1289j\omega}{0.6903 - 0.0007\omega^2 + 0.0541j\omega}$$

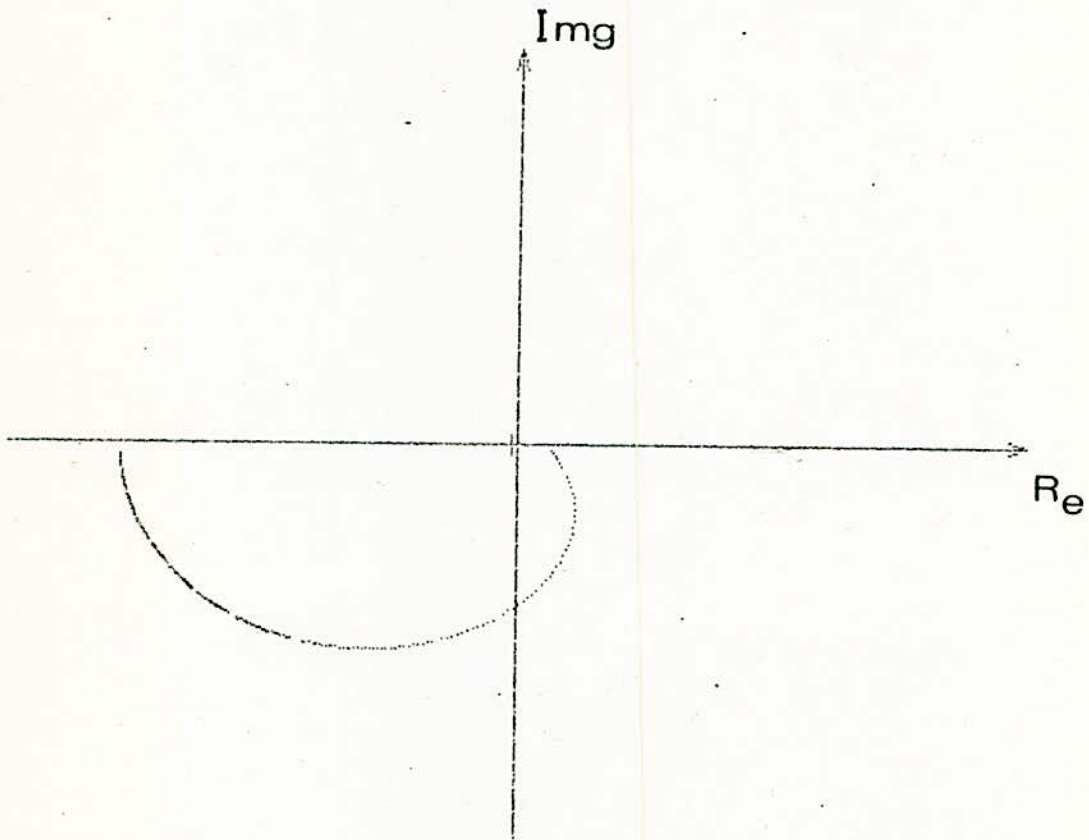
$$\frac{U(j\omega)}{I(j\omega)} = \frac{-32.6 \cdot 10^6 \omega^4 + 0.0366\omega^2 + 2.5714 - j(0.0021\omega^3 + 0.2015\omega)}{49 \cdot 10^3 \omega^4 + 0.001954\omega^2 + 0.4765}$$



```

10 CLS SC
20 LINE (0,195)-(512,195)-LINE(256,0)-(256,390)
30 LINE(256,0)-(253,10)-LINE(256,0)-(259,10)
40 LINE(512,195)-(502,192)-LINE(512,195)-(502,198)
50 LINE(216,190)-(216,200)
60 DEF FND-4.9E-07*(W^4)+.001954*(W^2)+.4765
70 DEF FNR-1.84+.0064*(W^2)
80 DEF FNI--.0128*W-.000133*(W^3)
90 FOR W=0 TO 1000 STEP .1
100 X=FNR/FND*40 . Y=FNI/FND*40
110 PSET (X+256,-Y+195)
120 NEXT W

```



```

10 CLS SC
20 LINE (0,185)-(512,185)-LINE(256,0)-(256,380)
30 LINE(256,0)-(253,10)-LINE(256,0)-(259,10)
40 LINE(512,185)-(502,192)-LINE(512,185)-(502,198)
50 LINE(253,190)-(253,200)
60 DEF FND=4.3E-07*(W^4)+.001954*(W^2)+.4765
70 DEF FNR--.0000326*(W^4)+.0386*(W^2)+2.5714
80 DEF FNI--.0021*(W^3)-.2015*W
90 FOR W=0 TO 2000
100 X=FNR/FND*3.Y=FNI/FND*3
110 PSET (X+256,-Y+185)
120 NEXT W

```

CONCLUSION:

L'étude de la fonction de transfert du système a permis de retrouver les valeurs déterminées expérimentalement avec certains écarts dûs:

_d'une part aux écarts entre les valeurs des paramètres réels et calculés des machines

_d'autre part a la simulation du fonctionnement de l'alternateur par les équations algébriques .

D'une manière générale, notre système se caractérise par:

- une bonne précision
- une bonne stabilité
- un faible temps de réponse .

CONCLUSION GENERALE

- .Notre travail, consistait à réguler la tension de l'alternateur à différents $\cos \varphi$, avec limitation de courant.
- .Nous avons réalisé un système de régulation qui a donné un certain nombre de résultats, que nous avons commenté durant ce projet.
- .Un système de régulation reste toujours complexe à réaliser vu les compromis qu'il impose.
- .Le travail nous a permis de voir un certain nombre de problèmes qui se posent lors de la réalisation d'une régulation.
- .Tout en réstant réalistes, nous pensons que les résultats obtenus dans notre travail sont satisfaisants, car un travail n'est jamais parfait.

Nomenclature des paramètres utilisés pour
le calcul de la fonction de transfert

r_1 :	résistance de l'enroulement de contrôle de l'amplidyne	.	C1-C2
r_2 :	" " " " "	.	C3-C4
r_3 :	" " " " "	.	C7-C8
R_{xa} :	" " d'induit " "	.	XA1-XA2
R_A :	" " " " "	.	A1-A2
R_E :	" " d'amplification serie " "	.	E1-E2
R_N :	" " de neutralisation " "	.	N1-N2
l_1 :	inductance de l'enroulement de contrôle de l'amplidyne	.	C1-C2
l_2 :	" " " " "	.	C3-C4
l_3 :	" " " " "	.	C7-C8
L_{xa} :	" " d'induit " "	.	XA1-XA2
L_A :	" " " " "	.	A1-A2
L_E :	" " d'amplification serie " "	.	E1-E2
L_N :	" " de neutralisation " "	.	N1-N2
R_1 :	résistance chutrice .		
R_j :	" de l'enroulement inducteur de l'alternateur.		
R :	" d'un enroulement d'induit "		
L_j :	inductance de l'enroulement inducteur de l'alternateur .		
	: reactance de fuite du modele de Potier .		
E_1 :	F.e.m transversale de l'amplidyne .		
E_2 :	" longitudinale "		
E_a :	" induite dans l'alternateur entre phases .		
V_d :	tension à la sortie du pont redresseur .		
V_a :	tension de l'alimentation stabilisée .		
K_1 :	coefficient de proportionnalité entre E_1 et le courant dans C1-C2.		
K_2 :	" " " E_1 " C3-C4.		
K_3 :	" " " E_1 " C7-C8.		
K_4+K_E :	" " " E_2 " decourt-circuit		
K :	" " " E_a et J_d de l'alternateur .		
K_d / K_a :	" " " V_d et U " .		
K_i :	" " " I et la tension v de C7-C8.		

W. E. M. C. P. I. C.