

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

17/87

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

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT GENIE ELECTRIQUE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

REGULATION DE TENSION D'UN
ALTERNATEUR A CONTROL PAR
AMPLIFICATEUR ROTATIF

Proposé par :
MEKTOUB.S

Etudié par :
MAMACHE.N
MOUSSAOUI.A

Dirigé par :
MEKTOUB S

PROMOTION

JUIN 1987

REMERCIEMENTS

* TOUTE NOTRE GRATITUDE LA PLUS PROFONDE ET LA PLUS SINCERE
A MESIEURS S. MEKTOUB ET R. TAHMI QUI PAR LEURS COLLABORATION
EFFECTIVE , ONT RENDUES POSSIBLE L'ELABORATION DE CET HUMBLE
PROJET DE FIN D'ETUDES .

* NOS REMERCIMENTS ET NOS SINCERES RECONNAISSANCES A TOUS LES
PROFESSEURS QUI ONT CONTRIBUES A NOTRE FORMATION .

MAMACHE .N

MOUSSAOUI .A

SOMMAIRE

Introduction :	.....	.....
Chapitre I : GENERALITES	.....	1
I-1	: Variation de tension	.....
I-1-1	: Les variations lentes	.....
I-1-2	: Les variations brusques	.....
I-1-3	: Inconvénients de la variation de la tension	.....
I-2	: Amplidyne	.....
I-2-1	: Conception de l'amplidyne	.....
I-2-2	: Principe de fonctionnement	.....
I-2-2-1	: Fonctionnement d'une génératrice à courant continu à excitation indépendante en amplification	.....
I-2-2-2	: Système amplificateur à deux étages	.....
I-2-2-3	: Principe de fonctionnement de l'amplidyne	.....
I-2-2-4	: Caractéristique statique de l'amplidyne	17
Chapitre II	/ Identification des machines	18
II-1	: Identification de l'alternateur	.....
II-1-1	: Mesure des résistances	.....
II-1-2	: Mesure des inductances	.....
II-2	: Caractéristique de l'alternateur	.....
II-2-1	: Caractéristique à vide	.....
II-2-2	: Caractéristique de court-circuit	.....
II-2-3	: Caractéristique en charge	.....
II-2-4	: Caractéristique externe	.....

II-3 : Identification de l'amplidyne

II-3-1 : Mesures des résistances

II-3-2 : Mesures des inductances

II-4 : Caractéristiques de l'amplidyne

II-4-1 : Caractéristiques à vide

 a) Excitation à partir de C1 - C2

 b) Excitation à partir de C5 - C6

 c) Excitation à partir de C9 - C10

II-4-2 : Caractéristique externe de l'amplidyne 34

Chapitre III : - - - REGULATION - - - 35

III-1 : Principe de la régulation de la tension

III-2 : Premier système

III-2-1 : Schéma de principe

III-2-2 : Principe de fonctionnement

III-2-2-1 : Calcul des paramètres du circuit redresseur

III-2-3 : Résultats

III-2-3-1 : Tableau de mesure

III-2-3-2 : Interprétation des résultats

III-2-3-3 : Conclusion

III-3 : Second système de régulation

III-3-1 : Schéma de principe

III-3-2 : Principe de fonctionnement

III-3-3 : Circuit amplificateur

III-3-3-1 : Schéma de principe

III-3-3-2 : Principe de fonctionnement

III-3-3-3 : Calcul des paramètres du circuit

III-3-4 : Résultats

III-3-4-1 : A charge résistive

	b) Interprétation des résultats	4
III-3-4-2	: A charge inductive $\cos \varphi = 0,8$	
	a) Tableau des résultats	
	b) Interprétation des résultats	
III-3-4-3	: A charge inductive $\cos \varphi = 0,6$	
	a) Tableau des résultats	
	b) Interprétation des résultats	
III-3-4-4	: Conclusion	51
Chapitre IV . . .	: Etude de la stabilité du système et des caractéristiques statique et dynamique	52
IV-1	: Fonction de transfert du système	
IV-1-1	: Schéma du système	5
IV-1-2	: Equations de fonctionnement du système	5
IV-1-3	: Schéma bloc du système	5
IV-1-4	: Calcul de fonction de transfert	56
IV-2	: Etude de la stabilité	5
IV-2-1	: Equation caractéristique du système	
IV-2-2	: Etude de fonction de transfert dans le plan de Nyquist	5
IV-3	: Etude des caractéristiques statique et dynamique	
CONCLUSION		
ANNEXE		

INTRODUCTION

La regulation de la tension des Alternateurs est un aspect tres important ,et trouve son application dans beaucoup de systemes techniques et industriels.

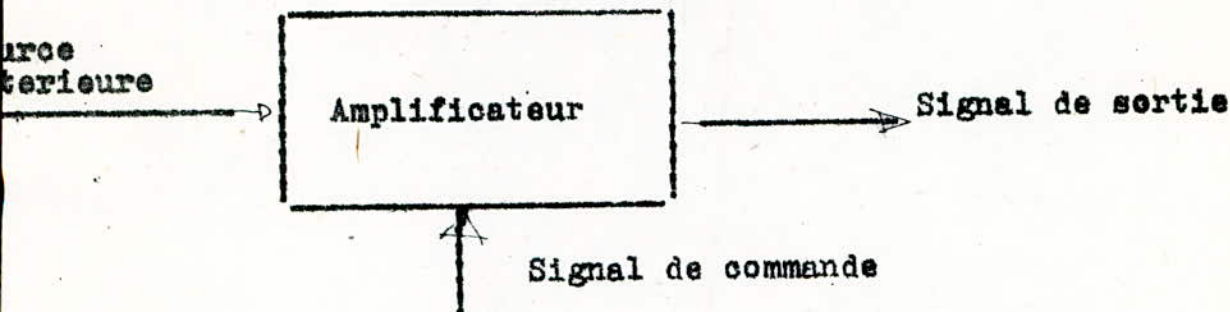
Le But de projet est d'essayer de faire une approche pratique et theorique de la regulation , pour cela notre travail consiste a reguler la tension d'un

Alternateur sur charge purement resistive , a l'aide d'un amplificateur rotatif qui est l'Amplidyne .

Une fois la regulation realisee , il s'agira pour nous d'etablir la fonction de transfert du systeme et d'etudier la stabilite , ainsi que les caracteristiques statiques et dynamiques du systeme .

GENERALITES :

- Un amplificateur est par définition un dispositif permettant à l'aide d'un signal d'entrée de faible puissance de commander une puissance de sortie relativement forte



- Selon la nature de l'energie à commander, on distingue :

- Les amplificateurs mecaniques
- " " PNEUMATIQUES
- " " HYDRAULIQUES
- " " ELECTRIQUES

Parmi les amplificateurs électriques on distingue les amplificateurs statiques et les amplificateurs dynamiques, les premiers se compose essentiellement de :

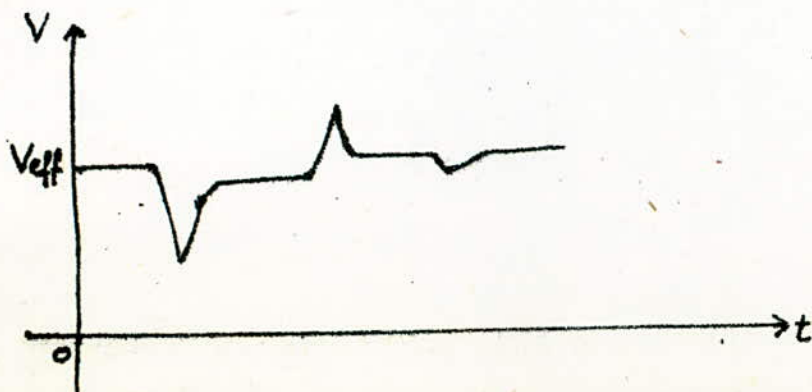
- Amplificateurs electroniques
- " à transistors
- " magnétiques
- " ferre -electriques

- Par contre les amplificateurs dynamiques sont essentiellement des génératrices à courant continu. Selon leur mode d'excitation on distingue dans les génératrices amplificatrices :

- Les Rototroles
- Les Amplidynes

- Aux rototroles, dans lesquels le flux d'excitation principal est dirigé suivant l'axe longitudinal de la machine, appartiennent les génératrices amplificatrices suivantes :

- Génératrice, amplificatrice à excitation indépendante
- " " " " auto-excitation
- " " " " double génératrice
- " " " " Collecteur
- Rototrels à deux et trois étages.
- Les amplidyne dans lesquelles le flux d'excitation principal est dirigé suivant l'axe transversal de la machine, sont classées comme suit :
- G - A à rotor bobiné avec un pas diamétral
- " " " " " " " " mi-diamétral
- " " " circuit magnétique séparé
- I-2 / - Les variations de tension
 - On distingue deux sortes de variation de tension les variations lentes et les variations brusques
- I-I-I / - Les variations lentes :
 - Les variations lentes peuvent être aléatoires ou périodiques, mais elles sont liées directement à la variation de la charge.
- I-I-2 / - Les variations brusques :
 - Dûes essentiellement au fonctionnement intermittent des appareils à fort appel de courant au démarrage et des gros consommateurs d'énergie réactive, il en résulte des creux de tension qu'on peut voir sur la courbe ci-dessous.



- La durée de ces creux de tension est variable dans le temps suivant que la perturbation est plus ou moins importante et la valeur efficace de la tension peut chuter ou augmenter pendant cette durée, selon qu'on est au démarrage ou à l'arrêt du récepteur.

Le point critique est évidemment la valeur nulle de la tension efficace, i.e. le court-circuit.

I-I-3 / - Inconvénients de la variation de la tension :

- La tension en variant peut augmenter ou diminuer, i.e. on peut avoir des surtensions ou des sous-tensions.
- Les surtensions provoquent généralement une usure rapide des récepteurs branchés sur cette ligne et peut aller jusqu'à leur destruction totale par contre les sous-tensions, laissant fonctionner ces appareils dans des conditions autres que celles fixées par le constructeur, en sous-tension, ils donneront des résultats autres que ceux fixés par le constructeur, d'où mauvais usage et mauvais rendement.
- La qualité de la tension est un aspect essentiel, suivant le domaine d'application la qualité de la tension peut varier de :

$\pm 10\%$ à $\pm 1\%$ - Généralement on accepte une tension avec un facteur de qualité de $\pm 5\%$.

I - 2) - l'Amplidyne

Conception est principe de fonctionnement

I - 2 - I) - Conception de l'Amplidyne :

Voir : fig(2)

- L'Amplidyne est une génératrice amplificatrice à flux croisés à rotor bobiné, avec un pas diamétral. Contrairement aux génératrices amplificatrices à excitation indépendante dans lesquelles le flux principal est un flux longitudinal, dirigé le long des pôles d'excitation, dans les amplidyne le flux d'excitation principal est un flux transversal dû à la réaction magnétique d'induit.
- De part sa conception, l'amplidyne rappelle une dynamo mais possède en plus un jeu de balais court-circuités montés sur l'axe transversal de la machine. Son circuit magnétique à la différence des dynamos normales est à pôles lisses avec encoches de différentes dimensions et à tôles feuilletées.
- Le stator de l'amplidyne est muni généralement d'une série d'enroulements de contrôle, ils sont bobinés suivant l'axe longitudinal des balais principaux, un enroulement de neutralisation N est monté coaxialement aux enroulements de commande.

- Pour pouvoir régler le taux de compensation de l'amplidyne, on met en jeu une résistance de réglage, R_{sh} , shuntant l'enroulement de compensation N . l'enroulement amplificateur série est branché en série dans le circuit transversal.

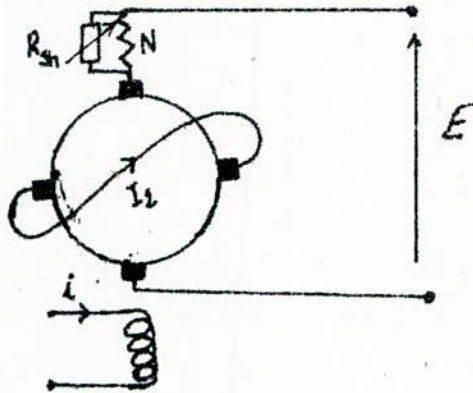


Fig (1.a)

- Schéma - coupe de CM de l'amplidyne : Voir figure (2)

2 - 2) - Principe de fonctionnement :

- Afin de bien comprendre le principe de fonctionnement de l'amplidyne, nous allons procéder par étapes, pour cela nous allons voir le fonctionnement d'une génératrice à excitation indépendante en fonctionnement amplificateur.

2 - 2 - I) - Fonctionnement d'une génératrice à courant continu à excitation indépendante en amplificatrice.

- Considérons une génératrice à excitation indépendante entraînée à vitesse constante, et considérons une source de tension continue variable alimentant l'inducteur de cette machine.

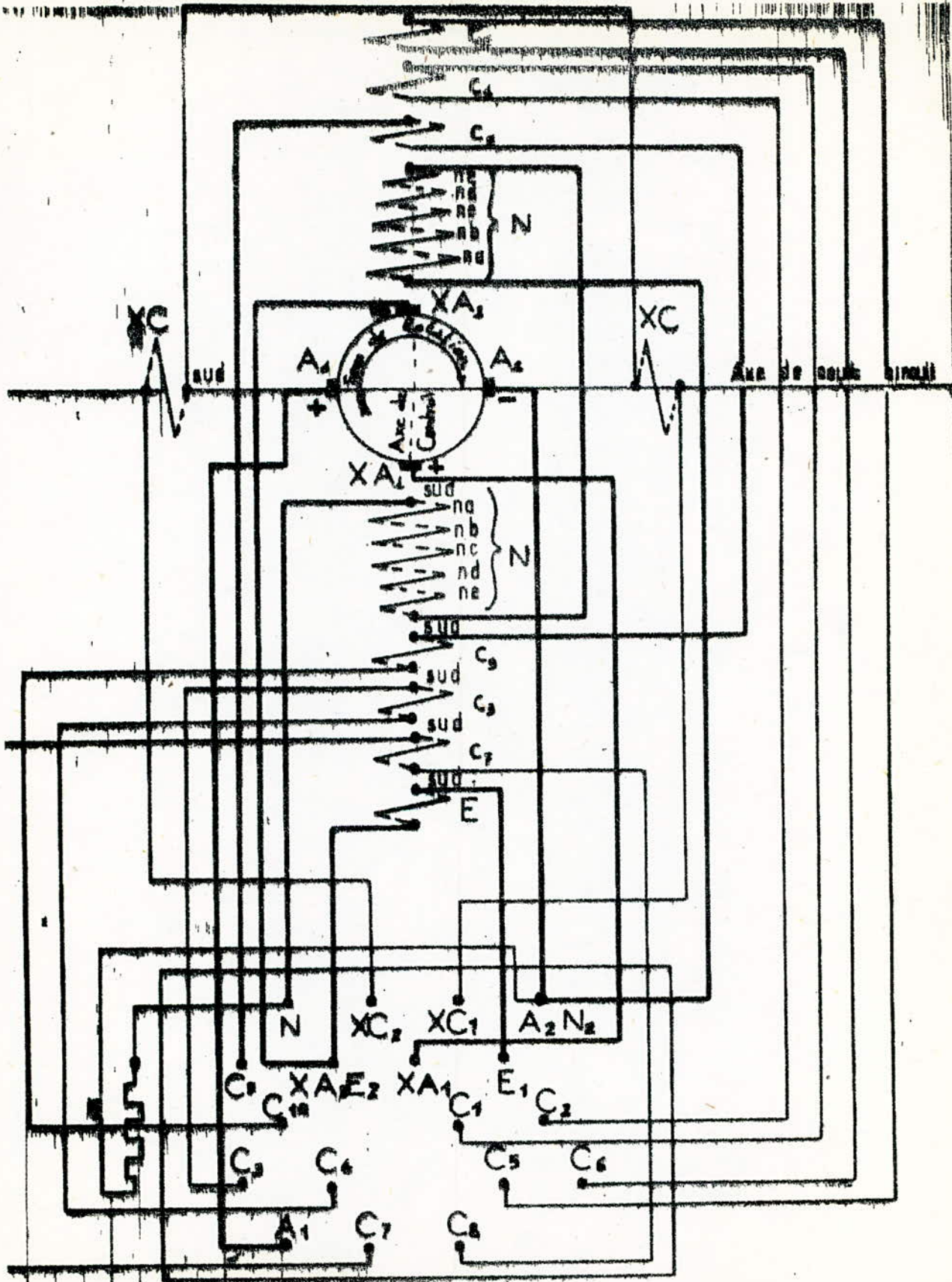
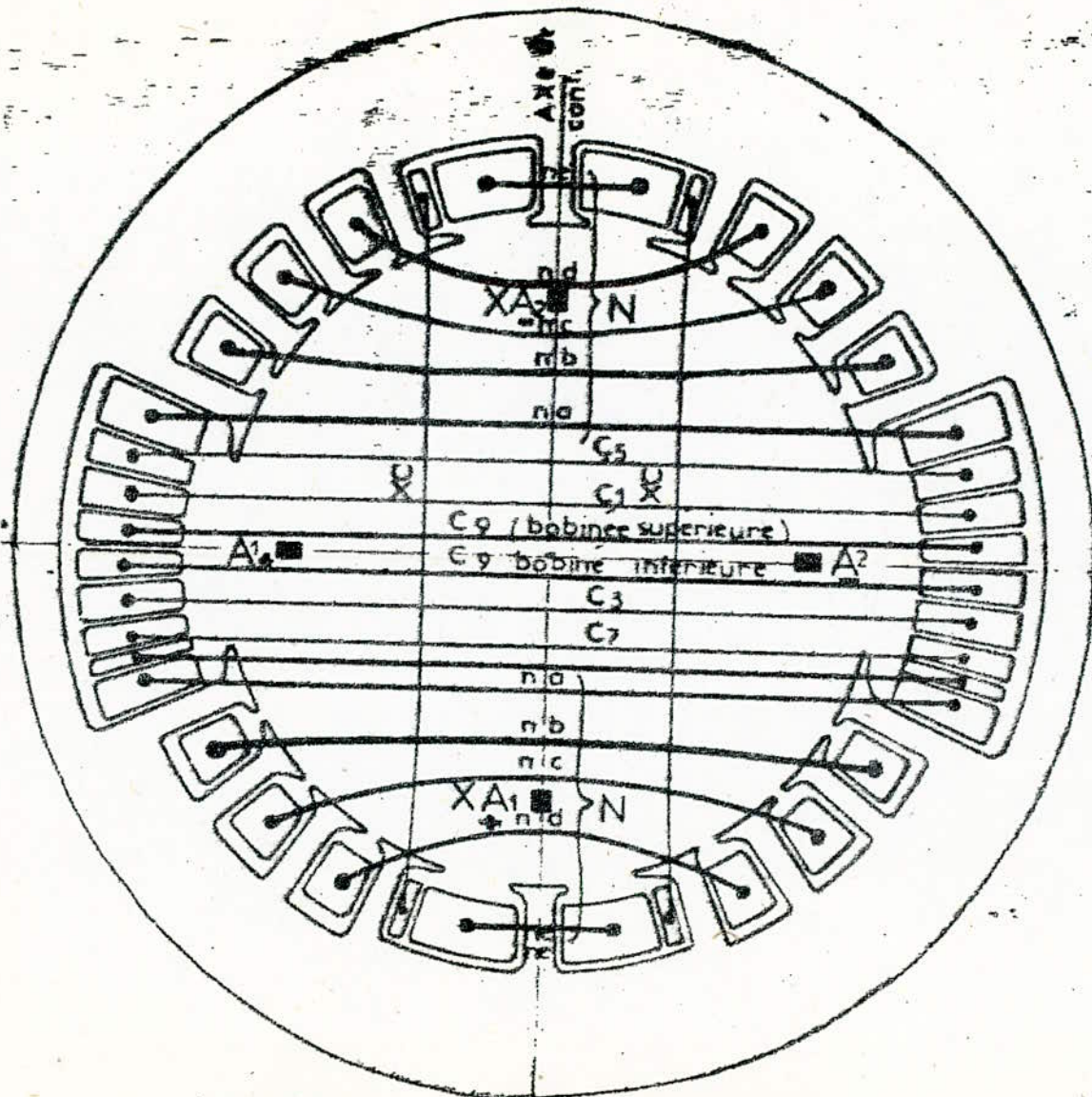


fig (L) : Schema de connexion des enroulements de l'Amplidyne



Axe de court circuit

SCHEMA DE CONNEXIONS

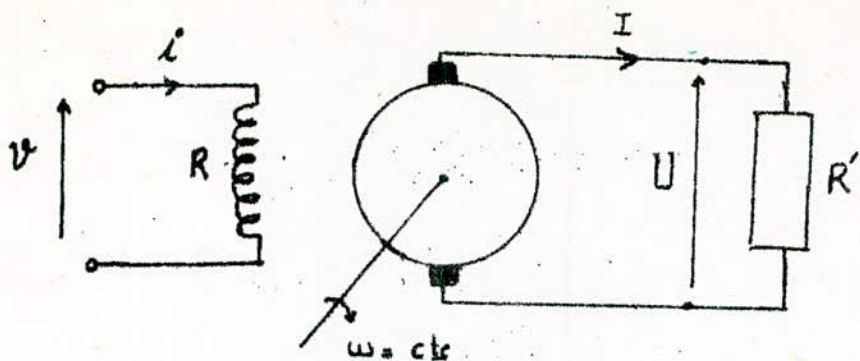


fig: (4.6)

Les equations de cette machine donnent :

$$\begin{aligned} V &= R \cdot i & i &= \frac{V}{R} \\ E &= k \cdot N \Phi \\ \text{et } \Phi &= n \cdot i \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} V &= R \cdot i \\ E &= k \cdot N \Phi \\ \text{et } \Phi &= n \cdot i \end{aligned}} \right\} E = K \cdot i$$

$$E = (r + R') \cdot I = K \cdot i = K \cdot \frac{V}{R}$$

$$I = \frac{K}{R(r + R')} \cdot V$$

- De ceci on peut constater qu'a partir de l'enroulement d'excitation, on peut bien commander le courant de charge I en agissant sur la tension V de l'enroulement d'excitation.
- Ainsi ceci prouve que la génératrice à excitation indépendante peut fonctionner en amplificateur, avec comme grandeur de commande la tension V , comme grandeur d'entrée, la puissance disponible sur l'arbre de la machine et comme grandeur de sortie le courant débité I .

Le gain de cette machine est alors :

$$G = \frac{P_s}{P_e} = \frac{U \cdot I}{V \cdot i} = \frac{R' \cdot I^2}{R \cdot i^2} \quad ; \quad \text{sachant que } I = \frac{K \cdot i}{(R' + r)}$$

$$\text{alors } G = \frac{K^2 \cdot R'}{R(R' + r)}$$

Le gain pur ce genre de machine varie généralement entre 50 et 100, ce qui représente une valeur très faible de l'amplification.

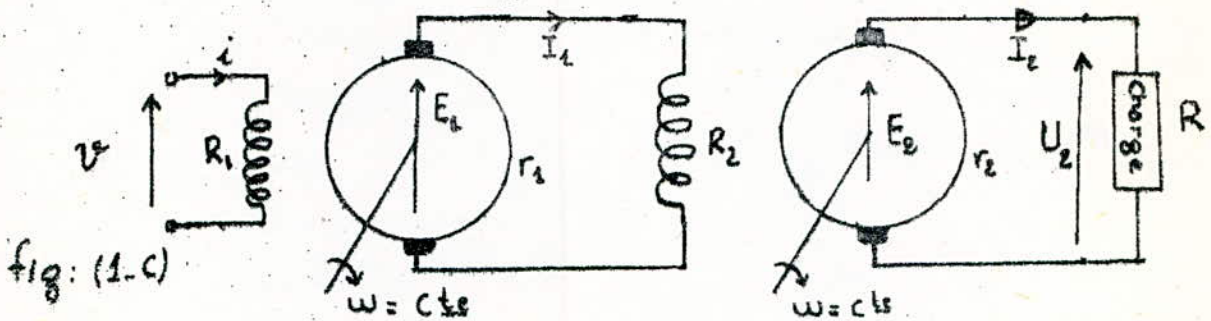
- Pour augmenter ce gain on a pensé à mettre en cascade deux génératrices à excitation indépendante.

I-2-2-2 / - Système Amplificateur à deux étages :

A fin d'améliorer le gain, on a pensé à utiliser deux génératrices à excitations séparées montées en cascade, de puissance relativement différents, à la limite égales.

voir fig: (1-C)

Les deux génératrices sont entraînées à des vitesses constantes



- Les equations de ce système sont :

$$V = R_1 \cdot i$$

$$E_1 = k_1 \cdot i = (R_2 + r_1) \cdot I_1$$

$$E_2 = k_2 \cdot I_1 = (R + r_2) I_2$$

- Le gain de ce système à deux étages.

est :

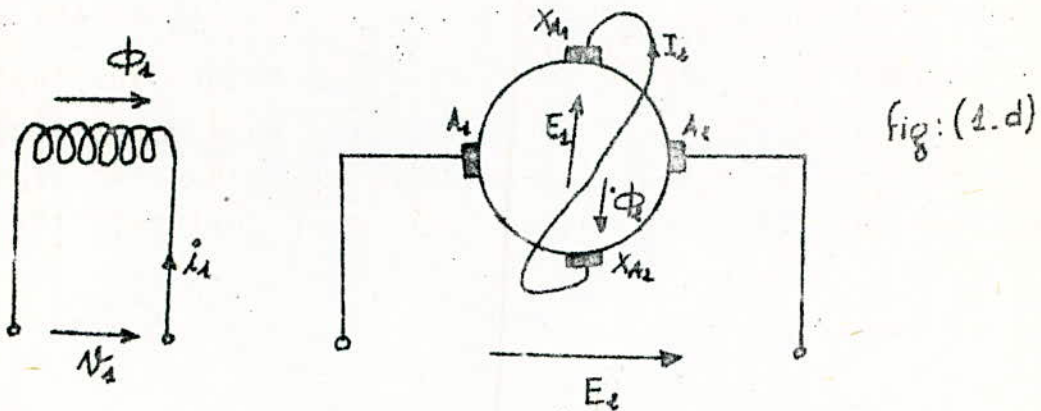
$$G = \frac{P_s}{P_e} = \frac{U_2 \cdot I_2}{V \cdot i} = \frac{R_2 \cdot I_2^2}{R_1 \cdot i^2}$$

$$G = \frac{R \left(\frac{k_2}{(R + r_2)} \cdot I_1 \right)^2}{R_1 \left(\frac{r_1 + R_2}{k_1} \cdot I_1 \right)^2}$$

$$G = \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot R}{R_1 [(r_1 + R_2)^2 (R + r_2)^2]}$$

- La valeur du gain pour ce système à deux étages varie généralement entre 900 et 1200, ce qui est acceptable du point de vue amplification mais l'inconvénient majeur pour ce système est l'encombrement qui est important.
- Le développement des processus industriels d'électrification à demandé la création, à partir de génératrices à excitation indépendante des amplificateurs rotatifs plus perfectionnés, moins encombrantes et ayant un très grand gain.
- Parmi ces génératrices, et celle qui fera l'objet de notre étude, l'amplidyne.

I-2-2-3 / - Principe de Fonctionnement de l'Amplidyne :



- Dès la mise sous tension de l'enroulement de contrôle le flux Φ_1 crée, par le courant i_1 , induira une fem E_1 au niveau des balais $X_{A1} - X_{A2}$. Comme ceux-ci sont court-circuités, un courant I_2 circulera dans cet enroulement, il créera à son tour un flux Φ_2 qui induira une fem E_2 sur les balais $A_1 - A_2$. Le flux principal dans cette machine est le flux transversal Φ_3 .
- En mettant une charge aux bornes des balais principaux $A_1 - A_2$, on verrait la tension chuter brusquement et aucune amplification n'apparaît ce phénomène qu'on aperçoit est dû essentiellement au courant circulant dans cet enroulement, créant un flux Φ_3 de réaction magnétique d'induit, s'opposant ainsi au flux de commande Φ_1 .

- Pour remédier à ce problème. on a pensé à mettre en série avec les balais principaux un enroulement de compensation (ou de Neutralisation), disposé suivant l'axe longitudinal de la machine, pour compenser le flux dû à la réaction magnétique d'induit. Une résistance R_{sh} est shuntée également avec cet enroulement

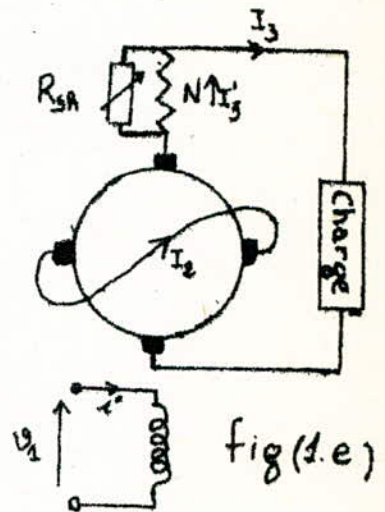
- La F.M.M créée par l'enroulement de neutralisation est :

$$F_N = n_N \cdot I_3' \quad \text{avec}$$

$$I_3' = \frac{R_{sh}}{R_{sh} + R_N} \cdot I_3 \quad ; \quad \text{voir fig (1.e)}$$

- La F.m.m créée par l'enroulement d'induit de l'amplidyne est :

$$F_i = n_{A_1-A_2} \cdot I_3$$



Le taux de compensation de l'amplidyne est caractérisé par le rapport :

$$k = \frac{F_N}{F_i} = \frac{n_N \cdot I_3'}{n_{A_1-A_2} \cdot I_3} = \frac{n_N \cdot \frac{R_{sh}}{R_{sh} + R_N} \cdot I_3}{n_{A_1-A_2} \cdot I_3}$$

$$k = \frac{n_N}{n_{A_1-A_2}} \times \frac{R_{sh}}{R_{sh} + R_N}$$

- On distingue alors trois cas de marche possible de l'amplidyne.
- Si $k = 1$, la machine est parfaitement compensée c'est-à-dire la f. .m due à la réaction d'induit longitudinale est égale à la f.m.m produite dans l'enroulement de compensation.

Si $k < 1$, la machine est sous-compensée c'est-à-dire f.m.m due à la réaction d'induit longitudinal est plus grande que la f.m.m produite dans l'enroulement de compensation.

Si $k > 1$, la machine est sur-compensée, c'est-à-dire la f.m.m due à la réaction magnétique d'induit longitudinal est plus petite que la f.m.m produite dans l'enroulement de compensation.

Les amplidyne sont généralement fabriquées légèrement sur-compensées, la f.m.m de l'enroulement de compensation est l'environ 5% supérieur, c'est-à-dire que $k = 1,05$, et le degré de compensation est réglé à l'aide de la résistance de réglage R_{ah} .

Afin d'améliorer la commutation dans le circuit transversal du rotor, on fait décroître le courant I_2 , et pour ne pas diminuer en même temps le flux magnétique dirigé suivant l'axe transversal, le stator de la machine est bobiné avec un enroulement transversal de magnétisation "E" (voir figure).

Cet enroulement transversal produit un flux ϕ_m de même sens que le flux dû à la réaction magnétique d'induit transversale.

Le flux total suivant l'axe transversal devient

$$\phi_2 = \phi_2 + \phi_m$$

Le rôle de l'enroulement amplificateur série E est d'augmenter le flux suivant l'axe transversal donc le gain de la machine sachant que la résistance de cet enroulement est infiniment petite.

Un autre enroulement est shunté aux balais auxiliaires et disposés suivant l'axe longitudinal et sert de pôles auxiliaires à l'axe transversal cet enroulement est également mis afin d'améliorer d'avantage la commutation des balais auxiliaires et aussi le temps de réponse de l'amplidyne.

I-2-2-4 / - Caractéristique statique de l'Amplidyne :

- La caractéristique essentielle d'une amplidyne est le gain en puissance. Un grand gain en puissance s'obtient grâce au fait que l'amplidyne est un amplificateur à deux étages, le premier étage d'amplification comprend un enroulement de commande et un jeu de balais court-circuités le second étage d'amplification se compose de ce même jeu de balais court-circuités disposés suivant l'axe transversal et d'un circuit de sortie dit balais principaux disposés suivant l'axe longitudinal.

- Voir figure (1-f) donnant le schéma global de l'Amplidyne.

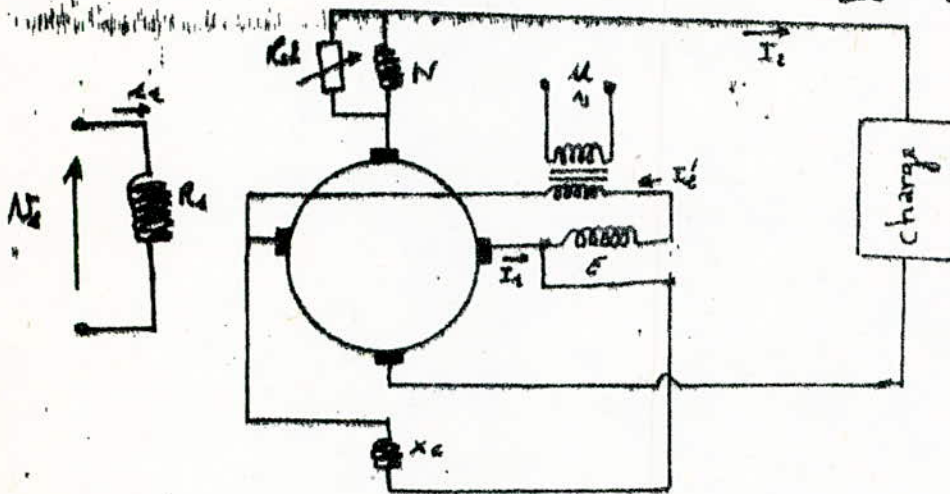


fig: (1-f)

- Calcul du gain de l'amplidyne :

$$N_2 = R_A \cdot I_2 \quad \text{et} \quad E_2 = k_2 I_2 = \left(R_{XA} + \frac{R_E R_{XC}}{R_E + R_{XC}} \right) I_2$$

$$E_2 = k_2 I_2 + k_E \frac{R_{XC}}{R_E + R_{XC}} \cdot I_2 = \left(R_A + \frac{R_N \cdot R_{Sh}}{R_N + R_{Sh}} + R_{Ch} \right) I_2$$

Comme $R_{XC} \gg R_E \Rightarrow \frac{R_{XC}}{R_{XC} + R_E} \approx 1$.

- Le gain de la machine est :

$$G = \frac{P_s}{P_e} = \frac{R_{Ch} \cdot I_2^2}{R_A \cdot I_1^2} = \frac{R_{Ch} (k_2 + k_E)^2 I_2^2}{\left(R_A + \frac{R_N R_{Sh}}{R_N + R_{Sh}} + R_{Ch} \right)^2} \cdot \frac{R_1}{k_1^2} \left(R_{XA} + \frac{R_E R_{XC}}{R_E + R_{XC}} \right)^2 I_1^2$$

$$G = \frac{k_1^2 (k_2 + k_E)^2 (R_E + R_{XC})^2 \cdot R_{Ch}}{R_A [R_{XA} (R_E + R_{XC}) + R_E R_{XC}]^2 \left(R_A + \frac{R_N R_{Sh}}{R_N + R_{Sh}} + R_{Ch} \right)^2}$$

sachant que : $k_2 = k'_2 \cdot N$, $k_E = k'_E \cdot N$ et $k_1 = k'_1 \cdot N$

On aura alors :

$$G = \frac{N^4 k'_1 (k'_2 + k'_E)^2 (R_E + R_{XC})^2 \cdot R_{Ch}}{R_A [R_{XA} (R_E + R_{XC}) + R_E R_{XC}]^2 \left[R_A + \frac{R_N \cdot R_{Sh}}{R_N + R_{Sh}} + R_{Sh} \right]^2}$$

- De cette expression du gain on peut noter que l'introduction de l'enroulement de magnétisation (ou enroulement amplificateur serie) à pour effet d'augmenter le gain de l'amplidyne.
- Il est à noter également que le gain est proportionnel à la puissance quatrième de la vitesse, on peut alors dire qu'il est préférable que la vitesse nominale de l'amplidyne soit aussi grande que possible.
- L'amplidyne doit travailler à vitesse constante généralement à 3000 tr/mm. un accroissement de la vitesse au delà de cette valeur est difficile car ce sera au détriment de la commutation et aussi la rigidité mécanique se trouvera considérablement diminuée.
- Le gain en puissance est directement fonction des résistances des enroulements de commande et ceux des enroulements de l'axe transversal, de cette expression du gain on constate que les exigences concernant le gain maximal et la rapidité de réponse maximale s'avèrent contradictoires, c'est à dire si on veut améliorer le temps de réponse de l'amplidyne ce sera au détriment du gain et on observerais une considérable diminution.
- La valeur du gain de la machine dépend sensiblement de la résistance de charge et du degré de compensation de l'amplidyne. En cas de compensation totale $k=1$, le gain en puissance atteint sa valeur maximal :

$$R_{\text{induit}} = R_{\text{charge}}$$

- (Condition générale de fonctionnement d'une génératrice alimentant une charge passive.) En cas de sur-compensation $k > 1$, sous l'action magnétisante de la f.m.m différentielle créée dans l'enroulement de compensation et le circuit de l'induit suivant l'axe longitudinal, le gain en puissance est plus grand et atteint son maximum lorsque la résistance de charge est inférieure à sa propre à $k = 1$.

- En cas de sous compensation ce sera l'inverse du cas sur-compensé.
- La construction assez spéciale de l'amplidyne lui confère un gain compris généralement $5000 \leq G \leq 10000$, ce qui permet, en utilisant un signal d'entrée de quelques fractions du Watt, de contrôler une puissance de plusieurs dizaines de kilowatts à la sortie.

CHAPITRE II

IDENTIFICATION DES MACHINES

A fin de réaliser la régulation de la tension de l'alternateur, il nous a été nécessaire de faire l'identification des deux principales machines à savoir ; l'alternateur et l'amplidyne.

L'identification consiste à mesurer les résistances et les inductances de chaque machine, ainsi que relevé de certaines caractéristiques.

2-I / : Identification de l'alternateur :

L'alternateur utilisé est une machine synchrone à pôles lisses et à deux (2) paires de pôles.

sa plaque signalétique est :

$U_n = 127/220 \text{ V.}$

$I_n = 8 \text{ A}$

$\cos \varphi_n = 0.8$

$P_n = 3 \text{ kW}$

$N = 1500 \text{ trs/mn}$

- L'alternateur est entraîné par un moteur à courant continu à continu à excitation shunt, dont la plaque signalétique est :

induit

Inducteur

$U_n = 120 \text{ V}$

Excitation : 1,56 A

$I_n = 30,5 \text{ A}$

$N = 1425 \text{ trs/mn}$

2-I-I / : Mesures des résistances :

- Les résistances, statoriques et rotoriques, de l'alternateur sont de faibles valeurs ; pour les mesurer nous avons choisi la méthode volt-ampérométrique en montage aval. Les mesures sont effectuées à chaud et en courant continu.

Resistande de l'inducteur :

Tableau de valeurs :

V(V)	59	40.5	49
I (A)	3	2	2,5
Ri (Ω)	19,67	20,25	19.6

Ri = 19,8 Ω

Resistance d'une phase statorique

Le stator de l'alternateur est couplé en étoile, la resistance mesurée est la resistance entre deux phases.

V(V)	18	14.6	16.2
I (A)	8	7	7.5
Rs (Ω)	1.12	1.04	1.08

Rs = 1.08 (Ω)

2-1-2 / : Mesure de l'inductance de l'inducteur :

- L'inductance de la roue polaire est mesurée à l'aide de la methode volt-ampemetrique, (ou de Joubert). Cette methode consiste à mesurer l'impedance Z, et connaissant les valeurs de la pulsation et de la resistance.

Ri alors :
$$L = \frac{\sqrt{Z^2 - R^2}}{\omega}$$
 avec :
$$Z = \frac{V}{I}$$

Tableau de valeurs

V (V)	I (A)	Z (Ω)	L ω (Ω)	L (H)
150	0,19	789.5	789.2	2.5

L = 2.5 Henry

2-2 / : Caractéristiques de l'alternateur

2-2-1 / : Caractéristique à vide : voir fig (3)

La courbe $\sqrt{3} E = f(J)$ à $N = 1500$ tr/mn

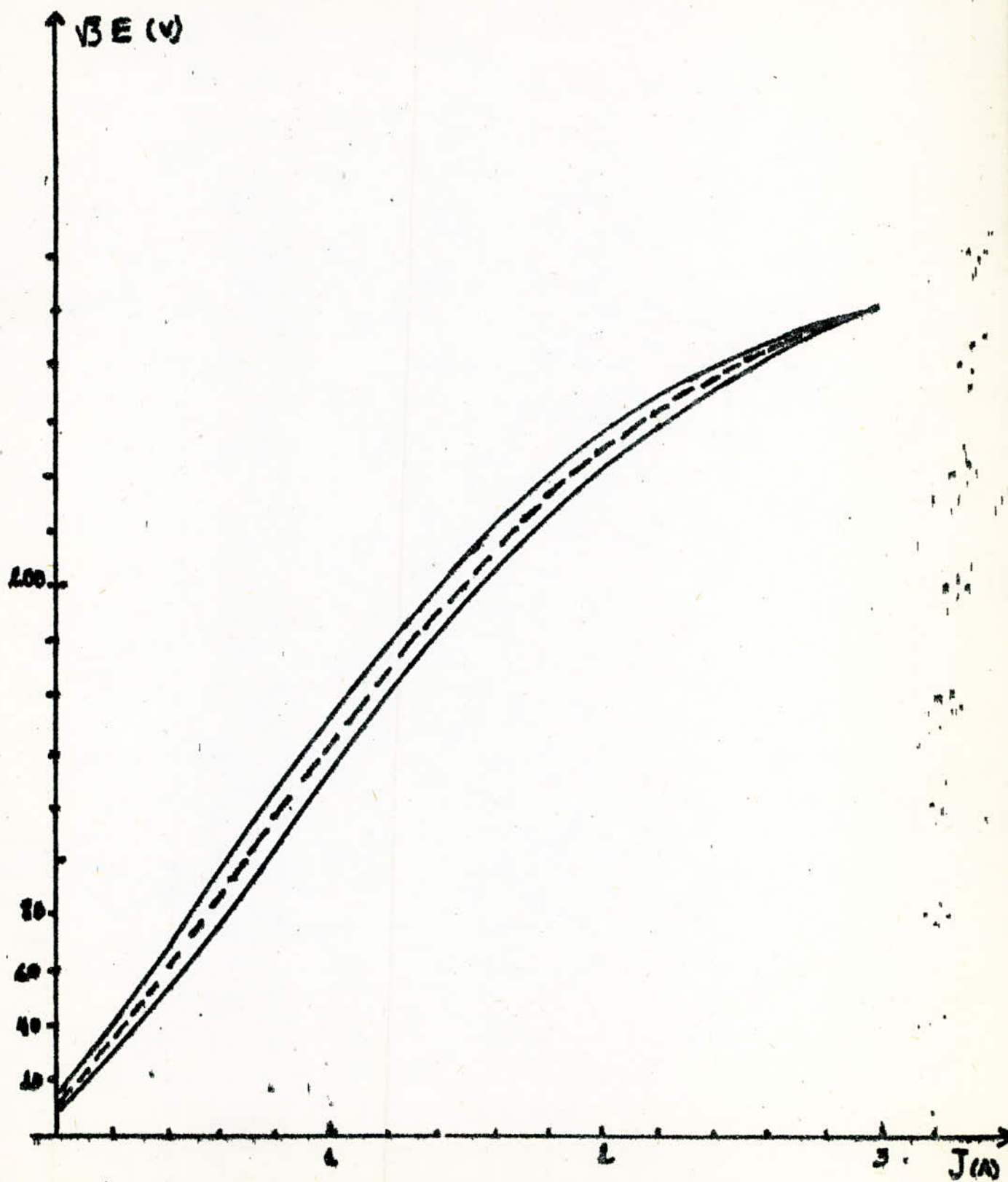


fig: (3) : Caractéristique à vide de l'alternateur

2-2-2 / : Caractéristique de court-circuit :

$$I = f(J) \quad \text{voir fig. (4)}$$

2-2-3 / : Caractéristiques en charge

- Lorsqu'un alternateur débite sur un recepneur, on peut soit predeterminer ses caractéristiques s'il s'agit d'un grand alternateur, soit le relever directement s'il s'agit d'un petit alternateur comme notre cas.

- Normalement ; la machine (turbine, moteur thermique ou électrique) entrainant l'alternateur doit tourner à vitesse constante. Mais, comme notre alternateur est entrainé par un moteur à courant continu à excitation shunt, qui n'est pas muni d'une boucle de regulation de vitesse, Ce dernier voit sa vitesse de croitre à chaque fois que la charge augmente. Puisqu'on va faire une regulation de *tension* alors toutes les caractéristiques de l'alternateurs, qui doivent être relevées à vitesse constante (vitesse non maintenue constante lors de l'accroissement de la charge).

2-2-4 / : Caractéristiques Externes :

$$U = f(I) \quad \text{à } J = \text{cte} \quad \text{et} \quad \cos \varphi = \text{cte}$$

a) A vitesse constante : (N=1500 trs/mn)
voir fig (5)

b) A vitesse non constante ;
voir fig (6)

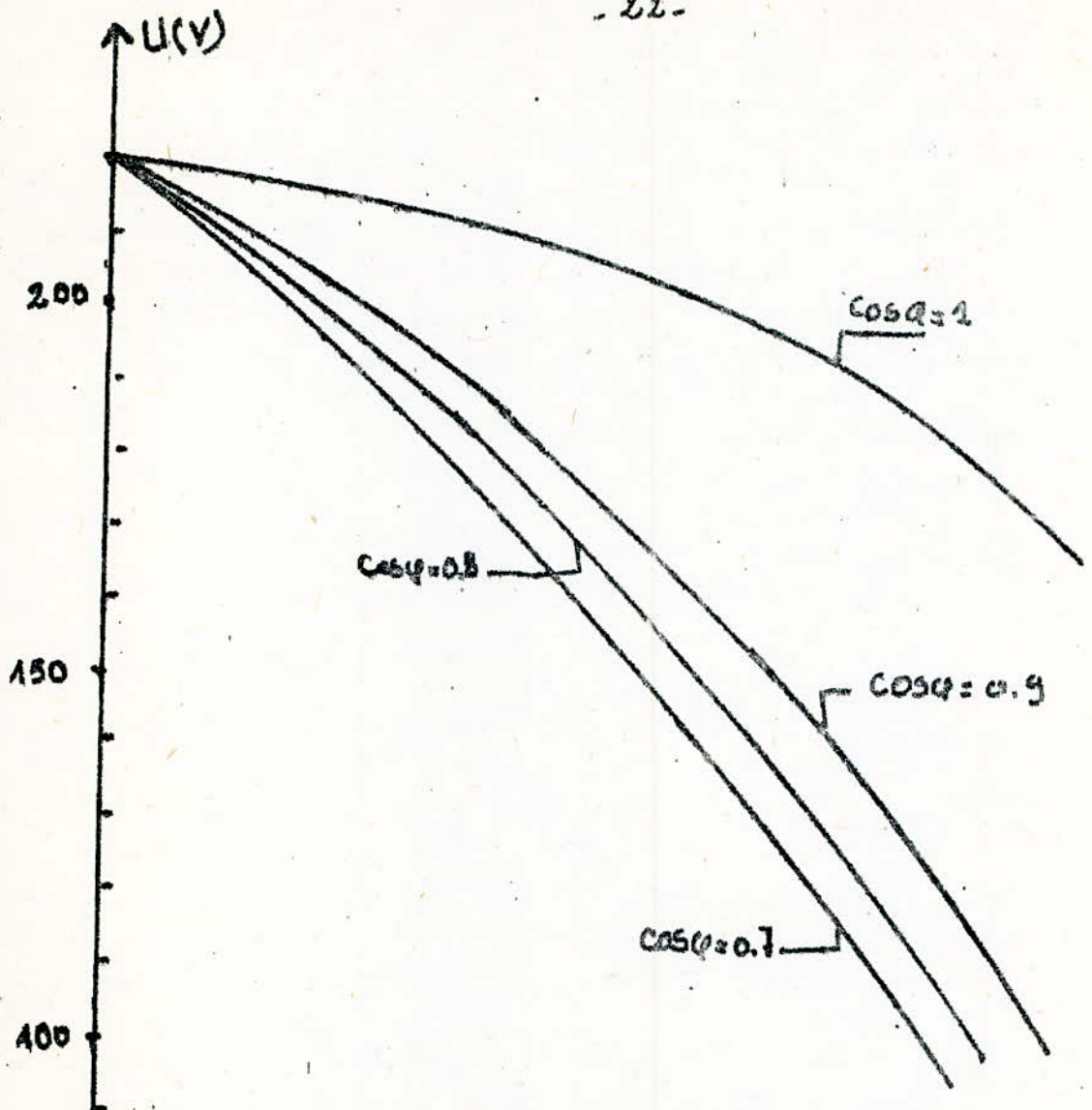


fig: (5) caractéristique externe de
l'alternateur à N = 1500 tr/min,
et $J = 1,6 A$

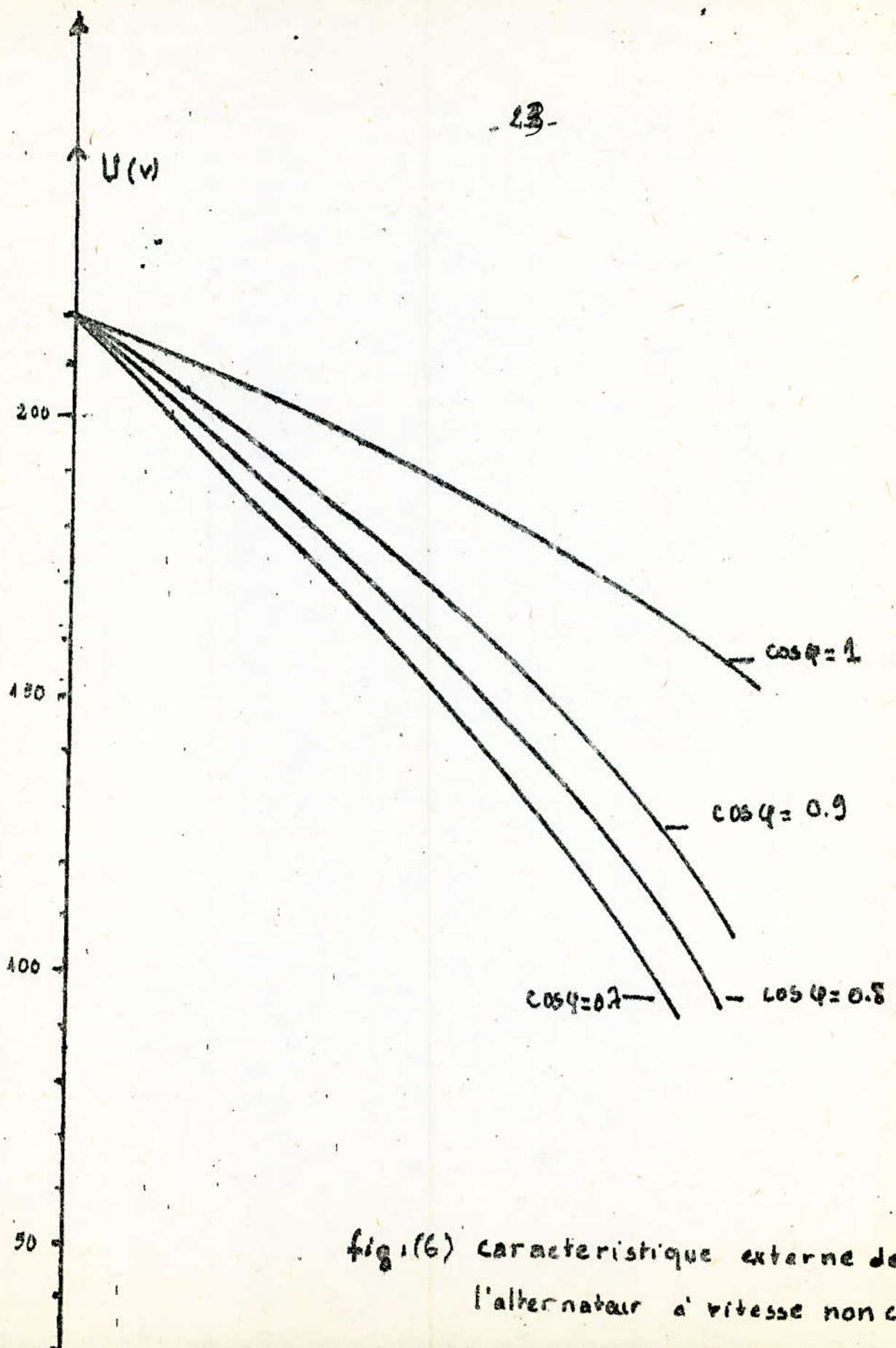


fig. (6) caractéristique externe de l'alternateur à vitesse non constante

2-2-5 / - Caractéristiques de réglage : $J = f(I)$ à U_{cote}
et $\cos\phi = \text{cte}$

) à vitesse constante : ($N=1500$ trs/mn)
voir fig (7)

b) à vitesse non constante :
voir fig (8)

2-3 / - IDENTIFICATION DE L'AMPLIDYNE

- L'amplidyne utilisé dans notre régulation comporte cinq (05) enroulements de contrôle ($C_1 - C_2$, $C_3 - C_4$, $C_5 - C_6$, $C_7 - C_8$, $C_9 - C_{10}$) un enroulement amplificateur série ($E_1 - E_2$) , un autre shunt ($X_{C1} - X_{C2}$) et un enroulement de neutralisation ($N_1 - N_2$). ce dernier est mis en parallèle avec une résistance R_{sh} ajustable pour régler le degré de compensation.

La plaque signalétique de l'amplidyne est :

Vn : 150 V
Pn : 4,4 kW
In : 27 A
N : 3000 trs/mn

- L'amplidyne est entraîné par un moteur à courant continu à excitation shunt, dont la plaque signalétique est :

Induit

Vn:110 V

In: 55,5A

N : 2900 Trs/mn

P : 5,6 kw

Excitation

I = 1,2 A

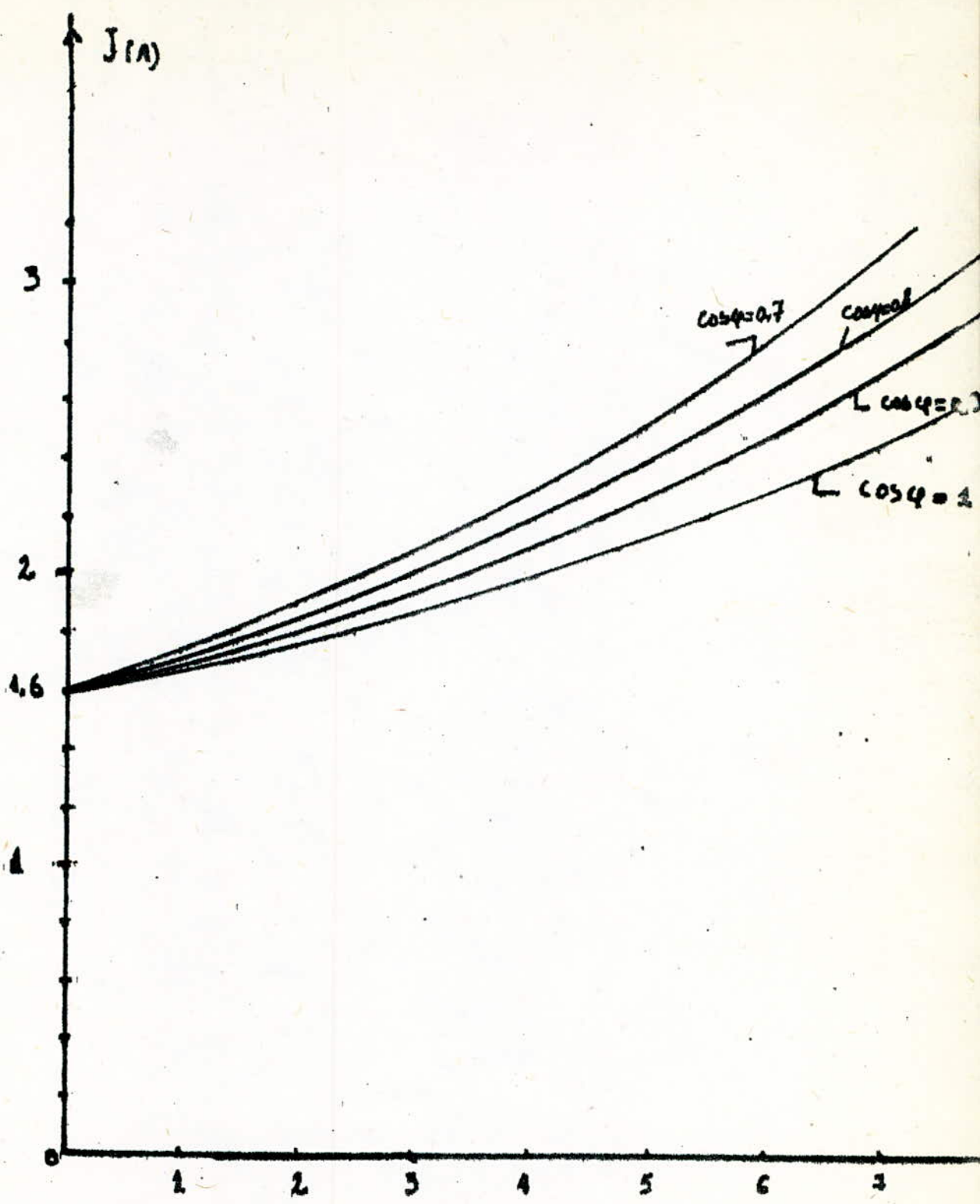


fig: caractéristique de réglage de l'alternateur à $N = 15$ st/min

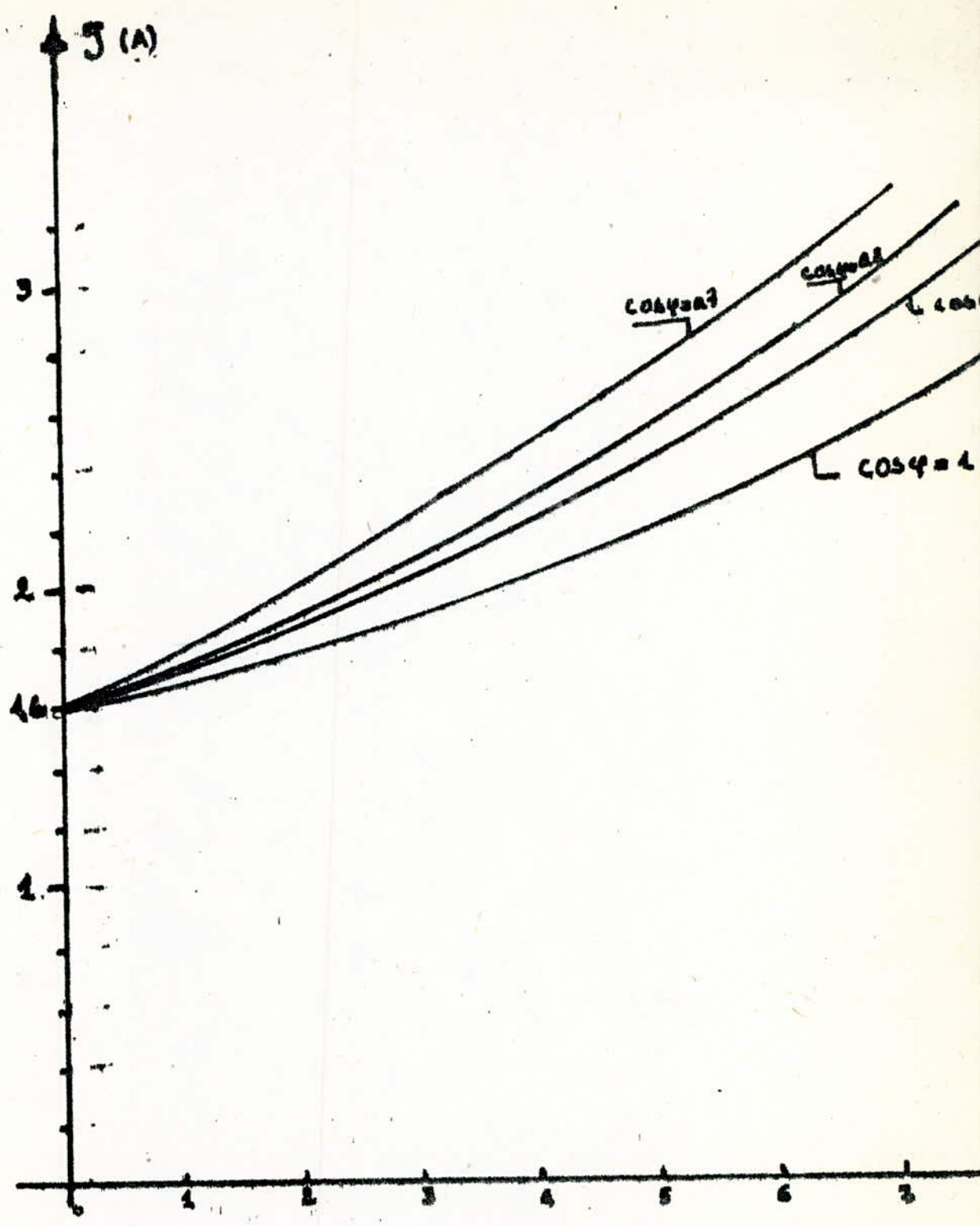
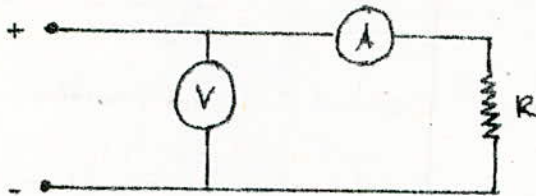


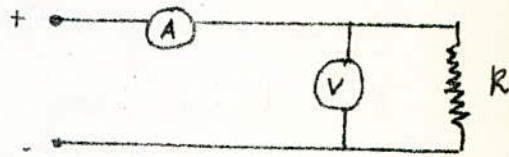
fig: Caractéristique de réglage de l'alternateur à vitesse constante

Mesure des résistances :

toutes les résistances sont mesurées à l'aide de la méthode volt-ampérométrique, les enroulements $C_1 - C_2$ et $C_3 - C_4$ en montage amont, tandis que les autres en montage aval



- Montage Amont -



- Montage Aval -

Résistances d'enroulements de contrôle :
Valeurs

Enroulement	$C_1 - C_2$			$C_3 - C_4$			$C_5 - C_6$			$C_7 - C_8$			$C_9 - C_{10}$	
V (V)	8	7,2	6,8	6,8	7	8	I	I,2	I,5	I,2	I,3	I,4	I	I,2
I (A)	0,015	0,014	0,013	0,013	0,014	0,015	0,175	0,205	0,21	0,21	0,23	0,24		

enroulements résistances R	$C_1 - C_2$	$C_3 - C_4$	$C_5 - C_6$	$C_7 - C_8$	$C_9 - C_{10}$
	523,5	509	5,78	5,73	13,37

Résistances d'enroulements amplificatrices

enroulement	SERIE ($E_1 - E_2$)			shunt ($X_{C1} - X_{C2}$)		
V (V)	0,13	0,12	0,15	43	45	50
I (A)	10	9	11	3	3,2	3,4
R (Ω)	$R_s = 13,3 \cdot 10^{-3} (\Omega)$			$R_s = 14,35 (\Omega)$		

Enroulement	$C_1 - C_2$	$C_3 - C_4$	$C_5 - C_6$	$C_7 - C_8$	$C_9 - C_{10}$
V (V)	8	7,2	6,8	6,8	7

Resistances d'enroulements d'induit et de Neutralisation :

Enroulement	induit ($X_{A_1} - X_{A_2}$)			Induit ($A_1 - A_2$)			NEUTRA LISATI		
	V(V)	I (A)	R	V(V)	I (A)	R	V(V)	I (A)	R
	4	5,8	5,8	2,5	3	2,8	4,2	5	
	7,4	9	10	10	11,5	11	11	10	
	$R_e = 0,57 (\Omega)$			$R_a = 0,255 (\Omega)$			$R_n = 0,43 (\Omega)$		

2-3-2 / : Mesures des inductances :

- Les inductances de chaque enroulement de l'amplidyne sont mesurées à l'aide de la methode de Joubert, dont le principe de calcul a été décrit au paragraphe (II.2)

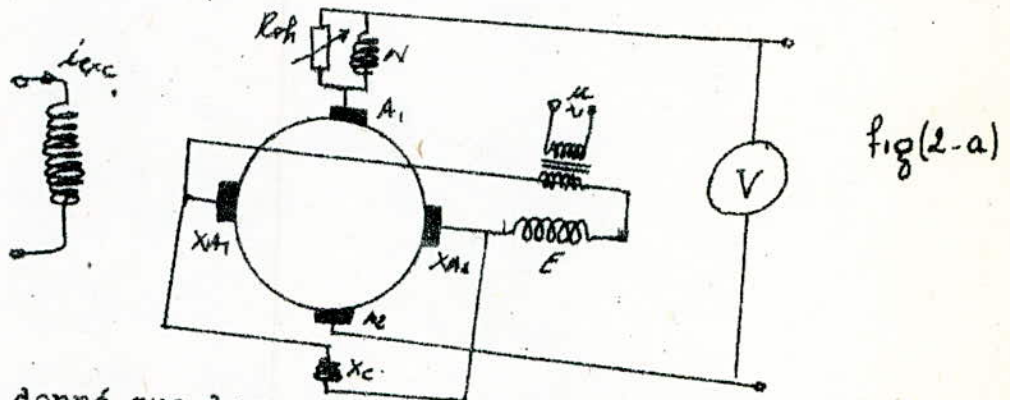
enroulement	V(V)	I (A)	Z (Ω)	L_w (Ω)	L (H)
$C_4 - C_2$	70	0.015	4666.7	4634.86	14.76
$C_3 - C_1$	70	0.015	4666.7	4634.86	14.76
$C_5 - C_6$	7,6	0.14	54.3	54	0.17
$C_7 - C_8$	7,6	0.14	54.3	54	0.17
$C_9 - C_{10}$	15,6	0,07	221.4	221	0.70
$E_1 - E_2$	0,2	3	0.067	0.065	0.0002
$X_{C_1} - X_{C_2}$	130	0.45	293.3	293.3	0.934
$X_{A_1} - X_{A_2}$	60	3	20	20,0	0,064
$A_1 - A_2$	60	3	20	20,0	0,064
$N_1 - N_2$	85	3	28,3	28,3	0,09

2-4 / - Caractéristiques de l'amplidyne

2-4-I / : - Caractéristique à vide :

$E = f(i_{exc})$

- Lors des essais, on a constaté que l'amplidyne présente un cycle d'hysteresis très large, pour le limiter ma introduit une source de tension alternative (methode de balayage) entre les balais auxilliaires voir fig (2.a)



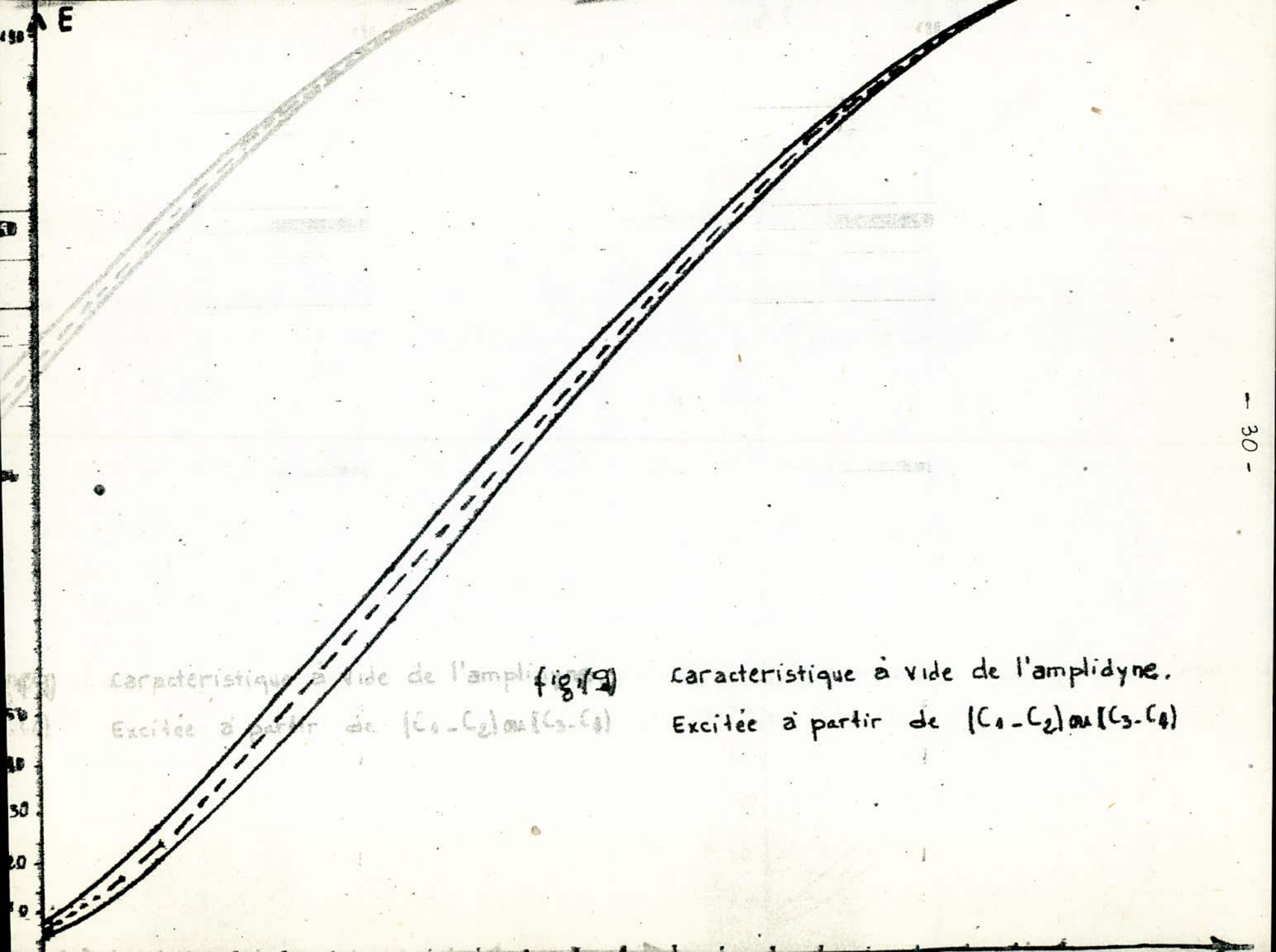
- Etant donné que les enroulements $C_1 - C_2$ - et $C_3 - C_4$ sont identiques, ainsi que $C_5 - C_6$ et $C_7 - C_8$, nous relevons que les caractéristiques de $C_1 - C_2$ et $C_5 - C_6$.

a) Excitation à partir $C_1 - C_2$

$E = f(i_{exc})$: voir fig (9)

b) Excitation à partir $C_5 - C_6$

$E = f(i_{exc})$: Voir fig (10)



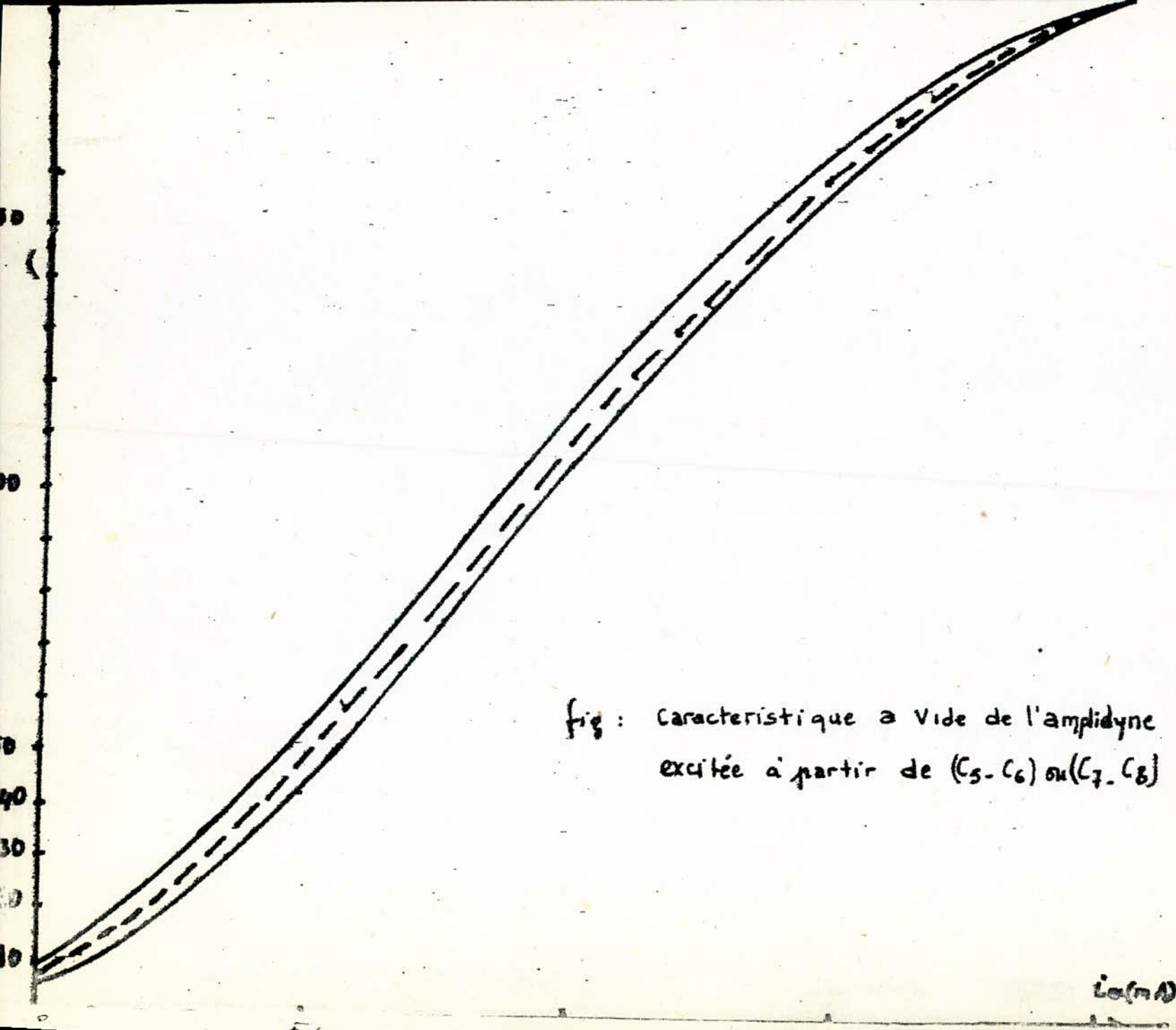


fig : caractéristique a vide de l'amplidyne
excitée a partir de (C5-C6) ou (C7-C8)

c) Excitation à partir de $C_9 - C_{10}$

$E = f ()$ voir fig (11)

2-4-2 / : - Caractéristiques externes de l'amplidyne :

$U = f (I)$ à vitesse constante ($N = 3000$ trs/mn)

et $i_{exc} = cte$

voir fig (12)

- La courbe 1 : représente le cas légèrement sous compensée
- La courbe 4 : " " " sous compensée
- les courbes 2 et 3 : " " moyennement sous-compensée.

150

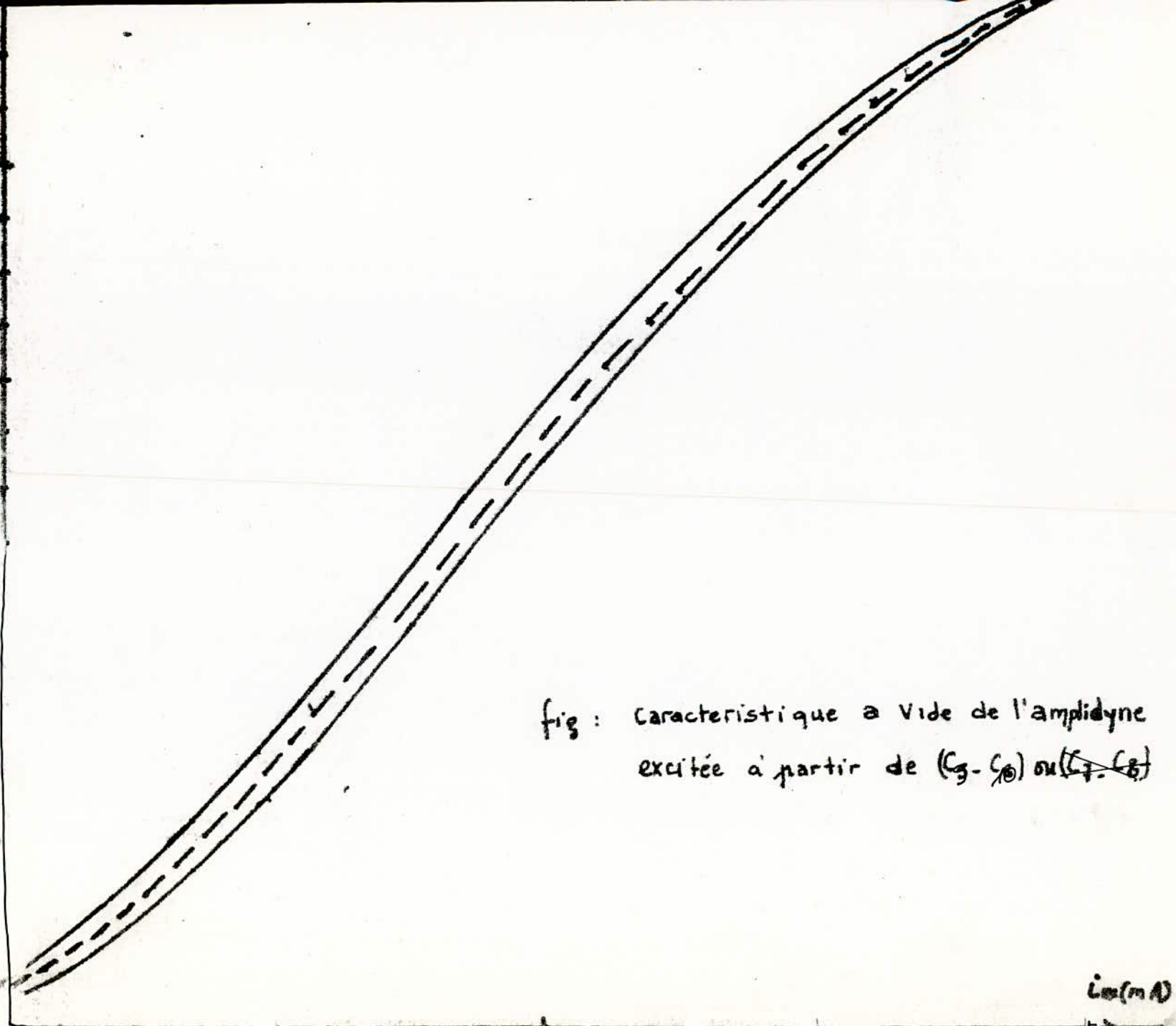
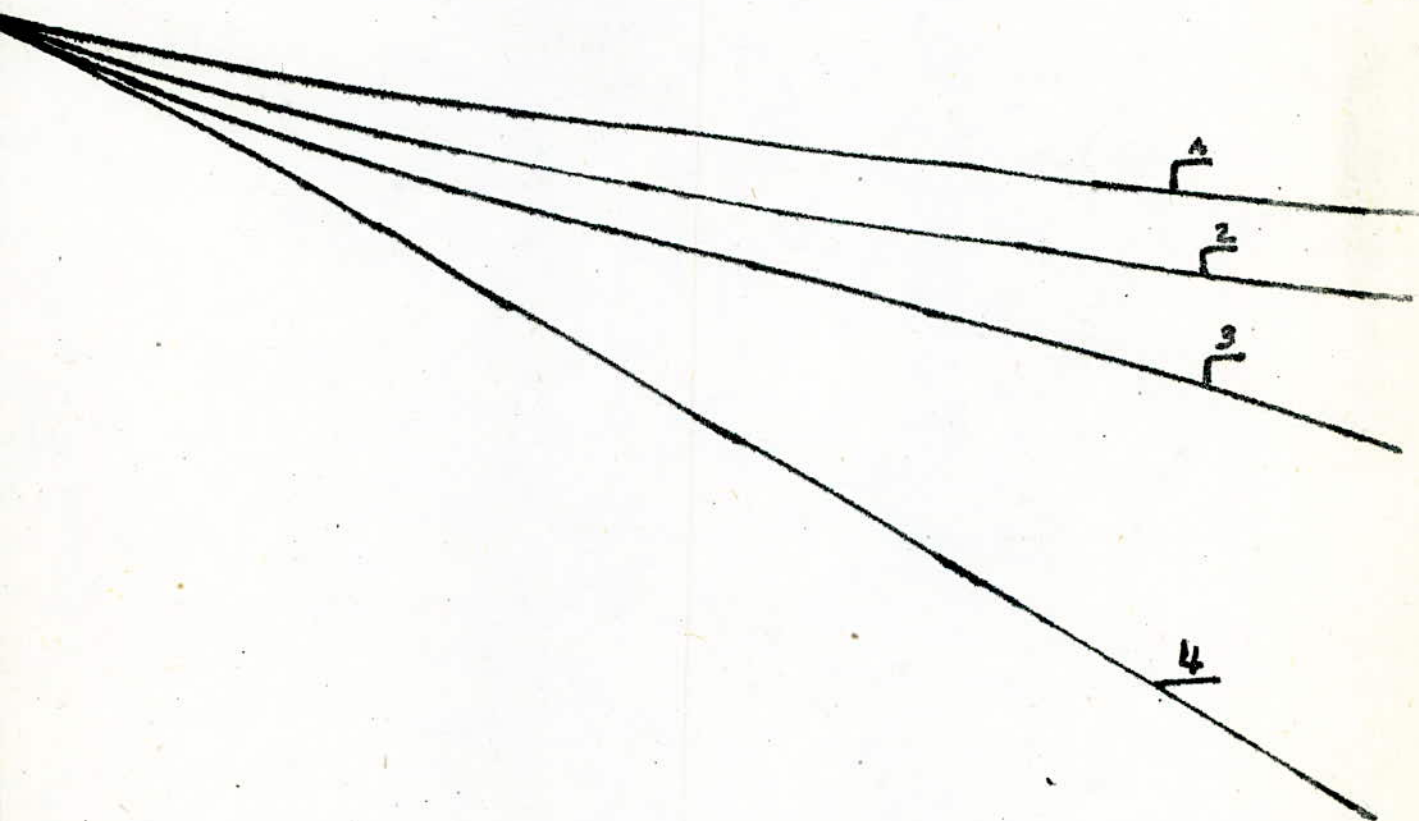


fig : Caractéristique à vide de l'amplidyne
excitée à partir de $(C_3 - C_0)$ ou $(C_1 - C_2)$

$I_m (mA)$

100

$U(v)$



1 2 3 4 5 6 7 8 $I(A)$

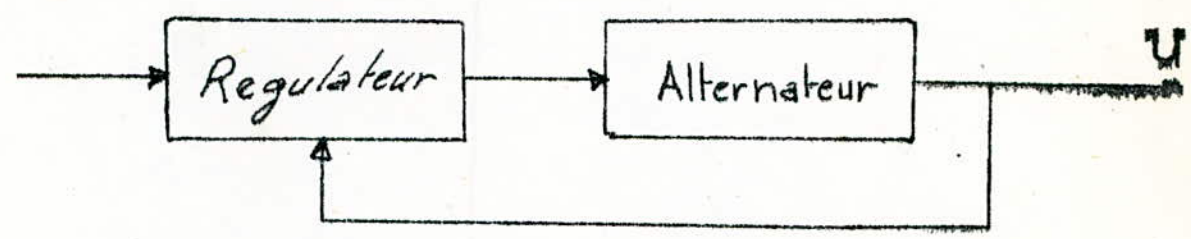
fig: Caractéristique externe de l'amplidyne

- REGULATION -

3-I / - Principe de la régulation de tension :

- De part sa définition, un système régulé est un système asservi travaillant à entrées de commande constantes (ou variant par palier de réglage) ; destiné à réaliser l'égalité de la commande et de la sortie, i.e à maintenir la sortie constante quelles que soient les perturbations ressenties par le système en question.
- Notre travail consiste à réguler la tension d'un alternateur pour cela, nous allons agir sur son excitation donc sur la f.e.m E de l'alternateur sachant que $\bar{V} = \bar{E} - JX\bar{I}$ avec X : reactance synchrone de la machine.

Le schema de régulation est le suivant :



- Le régulateur utilisé dans notre cas est une amplidyne debitant dans l'enroulement inducteur de l'alternateur, dont la tache fondamentale est de fournir le courant d'excitation nécessaire à chaque régime de fonctionnement de l'alternateur, tout en tenant compte de la stabilité du système. La Structure de régulation choisie doit, avec les parametres du système, satisfaire a toutes les conditions de fonctionnement possibles, et la tenue en service de la tension de l'alternateur doit- être satisfaisante dans tous les cas de figure.

- Parmi les objectifs à atteindre dans cette régulation, on peut citer :
- En régime statique : stabilité statique satisfaisante, i e faible erreur.
- En régime dynamique : court temps de stabilisation et haute qualité de régulation de la tension
- En ce qui concerne notre mode opératoire on procédera par étape, pour cela on conçoit dans un premier temps la structure de régulation, on teste ensuite cette structure.
- Pour différentes charges et à $\cos \varphi$ constant la structure retenue sera celle qui donnera les évidemment les meilleurs résultats tant en régime permanent qu'en régime dynamique.

3-2 / : - Premier système de régulation

3-2-1 / : - Schéma de principe

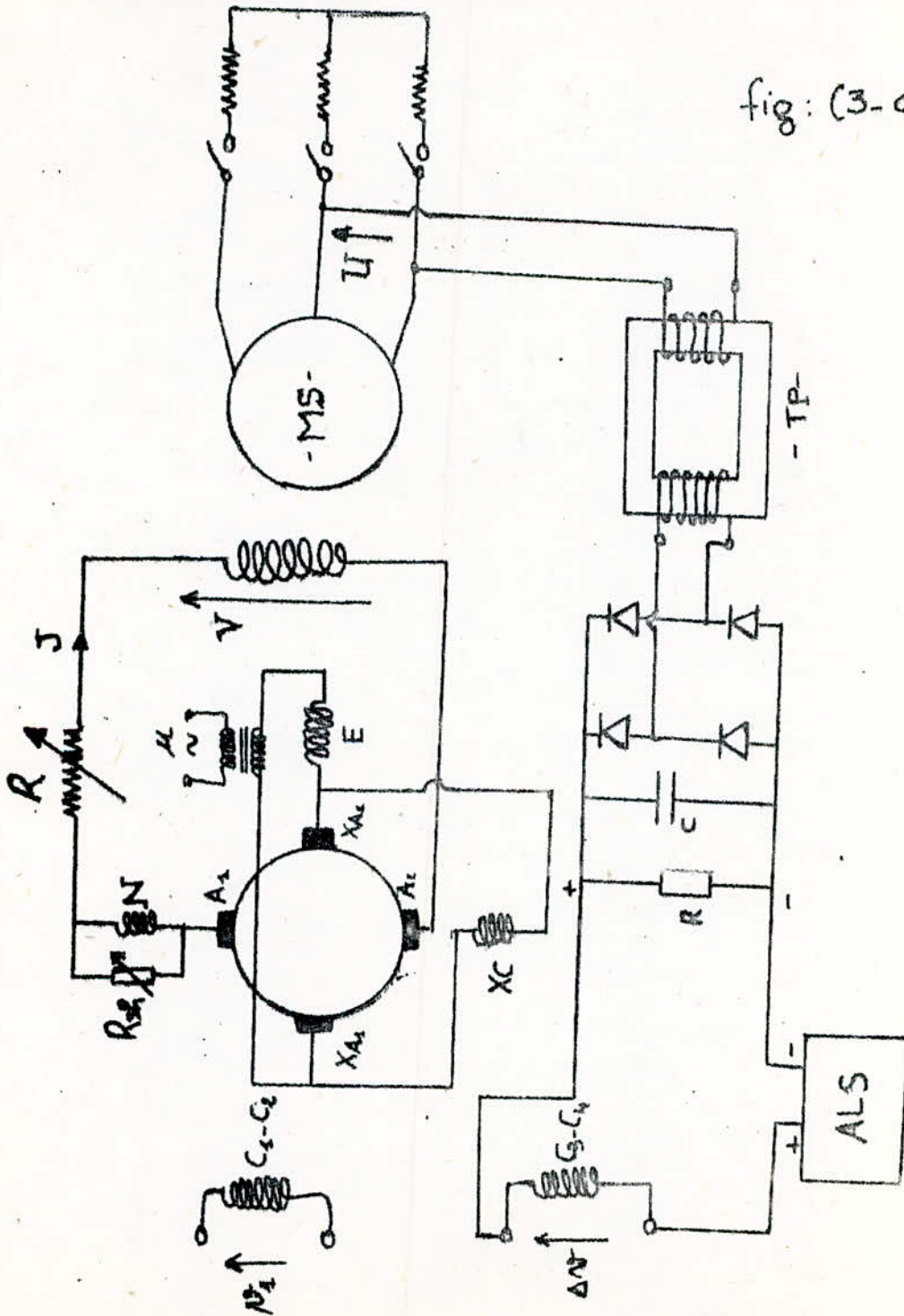


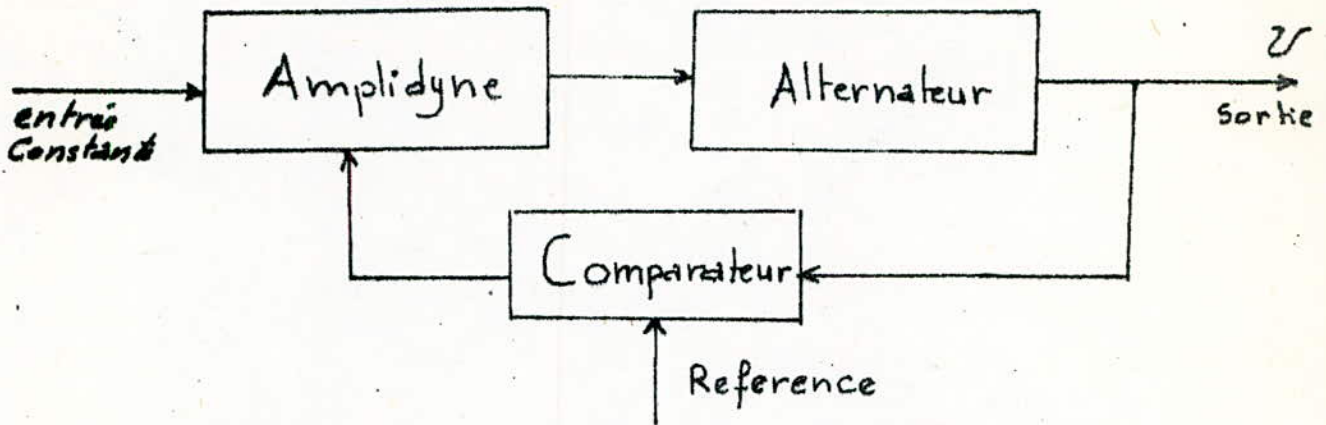
fig: (3-a)

3 - 2 - 2 / - Principe de fonctionnement :

- On alimente l'enroulement $C_1 - C_2$ de l'amplidyne à la tension V_1 , le courant i_1 circulant dans cet enroulement sera à l'origine de la tension V aux bornes de l'enroulement d'excitation de l'alternateur, le courant J circulant dans cet enroulement sera à son tour à l'origine de la tension U aux bornes de l'induit de l'alternateur. L'image de cette tension est recueillie à l'aide d'un transformateur de tension (abaisseur), celle-ci est redressée puis ensuite filtrée pour obtenir ensuite une tension continue.
- A Cette tension continue, on superpose en serie dans ce circuit, une autre tension continue de référence délivrée par une alimentation stabilisée, avec ce circuit on alimente l'enroulement de control $C_3 - C_4$ de l'amplidyne.
- Le courant i_1 dans l'enroulement $C_1 - C_2$ est fixé de façon qu'vide l'alternateur affiche une tension $U = 220(V)$ par le même biais la tension de référence est fixée de telle façon qu'on ait dans l'enroulement $C_3 - C_4$ un courant nul, $i_2 = 0$.
- Ainsi une fois ces parametres fixés, le principe de fonction du système est relativement simple.
- La moindre variation de la tension U est ressentie au niveau du secondaire du transformateur, cette variation fera desequilibrer l'équilibre préalablement établit pour la tension $U = 220(V)$ et preveque la circulation d'un courant i_2 dans l'enroulement $C_3 - C_4$.
- Si la tension venait à baisser, le flux crée par le courant de desequilibre i_2 agira dans le même sens que celui crée par le courant i_1 par contre si la tension venait à augmenter, ce flux agira dans le sens inverse de celui crée par le courant i_1 .
- agissant dans un sens ou dans un autre, le flux crée par le courant i_2 fera augmenter ou diminuer la tension V aux bornes de l'enroulement inducteur de l'alternateur, donc il y aura augmentation ou diminution du courant J , celui-ci agira sur la fem E créée

dans l'induit de l'alternateur donc sur la tension U de l'alternateur pour éventuellement l'augmenter ou la diminuer.

- Le schéma bloc de ce système de régulation est le suivant : fig(3.b)



3-2-2-I / Calcul des paramètres du circuit redresseur :

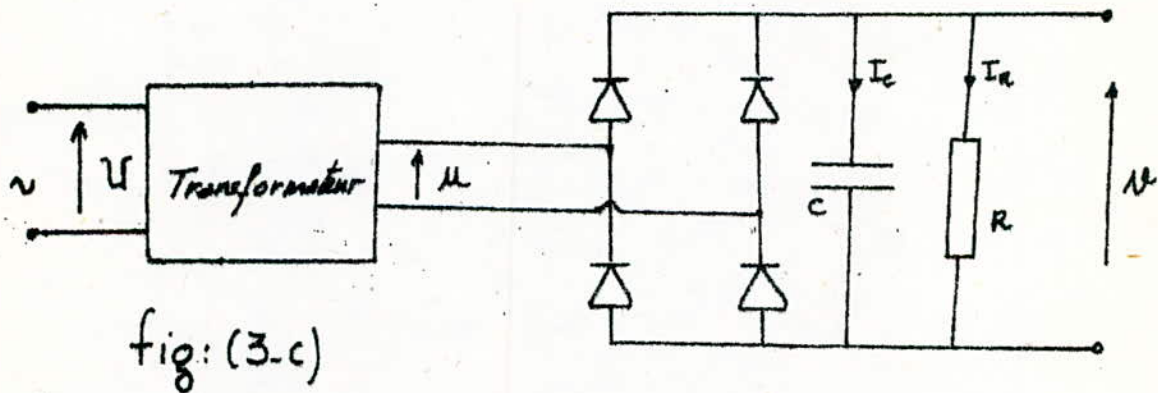


fig: (3.c)

U : est la tension a la sortie du transformateur et vaut :

$$u = 22\sqrt{2} \sin 100\pi t$$

- Quant le condensateur se decharge dans R on aura a tout instant :

$$I_R + I_C = 0 \quad \Rightarrow \quad I_R = -I_C$$

$$\text{avec } I_R = \frac{u}{R} \quad \text{et} \quad I_C = C \cdot \frac{du}{dt}$$

$$\text{donc : } I_R = \frac{22\sqrt{2} \sin 100\pi t}{22 \cdot 10^3} \quad \text{et} \quad I_C = 216 \cdot 10^{-3} \cdot 22\sqrt{2} \cos 100\pi t$$

$$I_R = -I_c \Rightarrow \frac{22\sqrt{2} \sin 100\pi t}{2,2 \cdot 10^3} = -314 \cdot 10^{-3} \times 22\sqrt{2} \cos 100\pi t$$

$$\tan \theta_1 = -690,08$$

$$\theta_1 = 90,08^\circ$$

Quand le condensateur "C" se recharge, la tension à la sortie vaut :

$$V = V_m e^{-t/RC}$$

A l'instant où la tension de recharge du condensateur est égale à celle du redresseur, nous aurons :

$$V_m \sin \omega t_2 = -V_m e^{-\left(\frac{t_2 - t_1}{RC}\right)}$$

$$\sin \theta_2 = -e^{-\frac{(\theta_2 - \theta_1)}{RC\omega}}$$

La résolution de cette équation nous donne :

$$\theta_2 = 235^\circ$$

$$V_{\max} = 22\sqrt{2} = 31,11 \text{ (V)} \quad ; \quad V_{\min} = 22\sqrt{2} / \sin \theta_2 = 25,48 \text{ (V)}$$

$$V_{\text{moy}} = \frac{V_{\max} + V_{\min}}{2} = \frac{31,11 + 25,48}{2} = 28,3 \text{ (V)}$$

- Le facteur de forme est :

$$F = \frac{V_{\text{eff}}}{V_{\text{moy}}} = \frac{22}{28,3} = 0,77$$

- Le coefficient d'ondulation est :

$$V_{\text{of}} = \frac{V_{\max} - V_{\min}}{2 \cdot V_{\text{eff}}} = 1,99$$

$$T_{\text{ond}} = \frac{V_{\text{of}}}{V_{\text{moy}}} = \frac{1,99}{28,3} = 0,07 = 7\%$$

$$T_{\text{ond}} = 7\%$$

3-2-3 / - Resultats :

3-2-3-I / - Tableau de mesure à $\cos\varphi = 1$

a) En boucle ouverte :

U (volts)	225	216	210	202	194	192	190	183	180	175
I (ampères)	0	1	2	2,8	3,8	4,8	5,6	6,4	6,6	6,9

b) - En boucle fermée :

U (volts)	225	225	223	221	217	215	213	210	208	207
I (ampères)	0	1	2,9	3,5	4,2	5,4	6,3	7,4	7,6	8

3-2-3-2 / : - Interpretation des resultats :

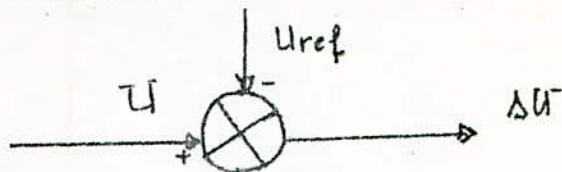
- Au tableau de mesures en boucle ouverte, on constate que la chute de tension entre la marche à vide et la charge nominale est importante et vaut $\Delta U = 50(V)$
- En inserant la boucle de régulation, on obtient alors les valeurs du second tableau et la chute de tension maximale vaut $\Delta U = 18(V)$
- Le facteur de qualité de cette tension est alors donné par le rapport suivant :

$$k = \frac{\Delta U}{U} \times 100 = \frac{18}{220} \times 100 = 8 \%$$

$$k = 8 \%$$

- Une bonne qualité de tension est donné pour un coefficient $k < \pm 5\%$
 Pour $k = 8\%$ ce système de régulation n'est pas tout a fait convenable pour reguler.

- La cause est due au système lui même, car on voudrait maintenir $\Delta U \approx 0$ et par la même occasion attaquer l'amplidyne avec cette même chute de tension qui fera circuler un courant i_2 dans l'enroulement $C_3 - C_4$.



- Comme $\Delta U = R_{C_3-C_4} \times i_2$ on peut alors dire que la boucle de retour ainsi réalisée ne peut réguler car si $\Delta U = 0 \Rightarrow i_2 = 0$ comme $\Delta U \neq 0$ en charge il y a un courant i_2 dans l'enroulement $C_3 - C_4$.
- Ainsi il y a toujours un compromis entre la chute de tension et le courant injecté dans l'enroulement de contrôle $C_3 - C_4$.

3-2-3-3 / : - Conclusion :

- Le facteur de qualité de la tension ainsi calculé vaut $k = 8\%$, il est supérieur au facteur de qualité admissible qui est $k \leq 5\%$, ceci nous amène à dire qu'avec ce procédé de régulation, on obtient une mauvaise régulation de la tension de l'alternateur.

3 - 3 / : - SECOND SYSTEME DE REGULATION

Les resultats donnés par le premier système de régulation, nous montrent que plus la charge augmente, plus la chute de tension s'accroît et particulièrement en charge inductive.

- En somme il faudrait concevoir un système qui régule cette tension tout en tenant compte des moindres variations de la charge.
- Pour cela nous avons conçu un système qui reflète l'image du courant, cette image agit sur un enroulement en fonction de la charge afin de maintenir la tension U de l'alternateur constante.

3-3-1/ : SCHEMA DE PRINCIPE

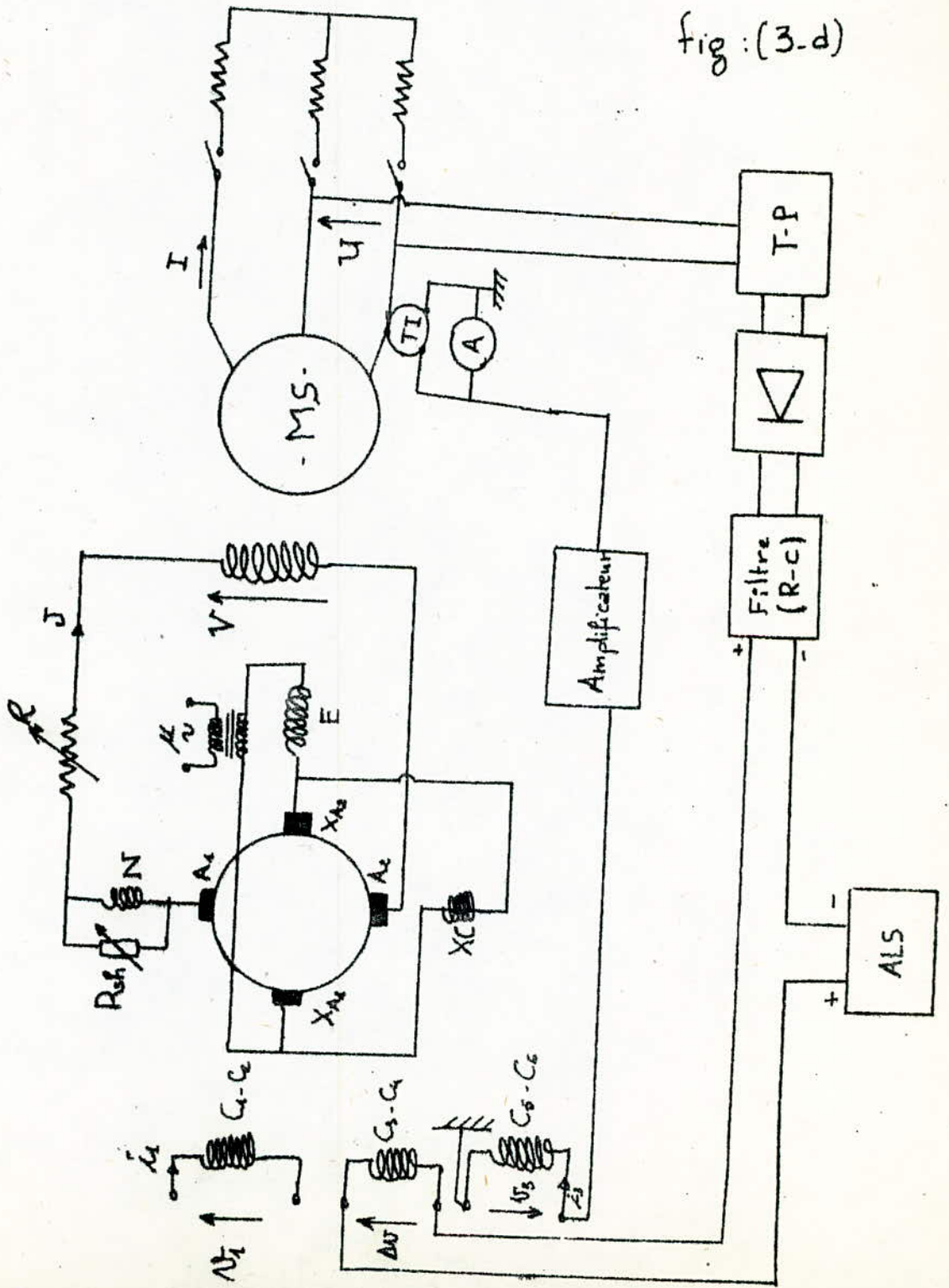


fig: (3-d)

3-3-2 / - Principe de fonctionnement

- L'enroulement $C_1 - C_2$ de l'amplidyne est excité avec le courant i_a de façon à avoir à la sortie de l'alternateur la tension entre phase $U = 220$ (V).
- L'image de cette tension est recueillie à l'aide d'un transformateur de tension (T-P). Redressée et filtrée, cette image de la tension U est comparée à une tension de référence U_{ref} , délivrée par une alimentation stabilisée, la différence de ces deux tensions est injectée dans l'enroulement $C_3 - C_4$ de l'amplidyne. La tension de référence U_{ref} est choisie de sorte qu'à vide, le courant passant dans l'enroulement $C_3 - C_4$ soit nul, i.e. que U_{ref} soit exactement égale à la tension image de U .
- L'image du courant est recueillie par l'intermédiaire du II . Le secondaire du II est court-circuité par un ampèremètre, on recueille une tension aux bornes de cet ampèremètre, celle-ci est amplifiée puis injectée dans l'enroulement $C_5 - C_6$ de l'amplidyne de telle sorte que le courant dans cet enroulement augmente avec celui de la charge de l'alternateur.
- Le circuit amplificateur est dimensionné de telle sorte que le courant injecté dans l'enroulement $C_5 - C_6$ augmente presque linéairement avec le courant de charge I .

3 - 3 - 3 / - Circuit Amplificateur

3 - 3 - 3 - I / - Schema de Principe

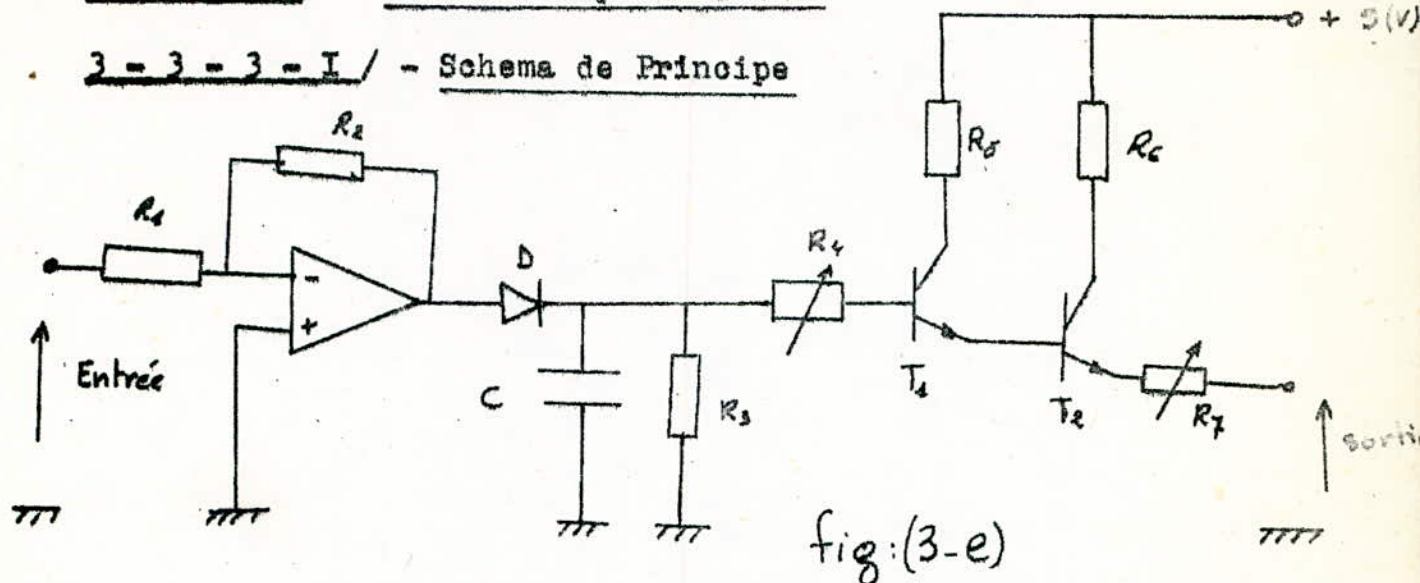


fig:(3-e)

3 - 3 - 3 - 2 / - Principe de fonctionnement :

- Le faible signal recueilli aux bornes de l'ampere metre est amplifié à l'aide du μ 741, redressé puis filtré le signal attaque par la suite la base d'un transistor monté en darlington, afin d'augmenter le gain en courant. Le signal de sortie attaque l'enroulement de contrôle $C_5 - C_6$ de l'amplidyne. La valeur du courant débité pourra être réglée à l'aide de la resistance R7.

3 - 3 - 3 - 3 / - Calcul des parametres du Circuit :

- Le signal d'entrée recueilli sur les bornes de l'ampere metre (variable et sa plage de variation est :

$$0 \leq U_{\text{entrée}} \leq 360 \text{ mV}$$

- A V entrée = 360 mV correspond un courant de charge de l'alternateur égal à $I = 8 \text{ A}$, c'est le courant nominal, on voudrait alors qu'on dela de cette valeur, le circuit amplificateur n'amplifie plus le signal d'entrée. Pour cela nous avons utilisé une des propriétés du transistor qui est la saturation, i, e quand la tension d'entrée est $V \text{ entrée} = 360 \text{ mV}$, le courant debite par le transistor T est $I = I_{\text{saturation}}$. la valeur de ce courant de saturation est variable suivant qu'on augmente ou qu'on diminue la valeur de la resistance R7.

3 - 3 - 4 / - Resultats :

3 - 3 - 4 - I / - A charge resistive ($\cos \varphi = 1$)

a) Tableau de mesure :

$U_{\text{alt}} \text{ (V)}$	220	220	220	220	220	220	217	214
$I_{\text{alt}} \text{ (A)}$	0	1,3	2,8	4,2	5,5	7	8,3	9,5
$I_{\text{trans}} \text{ (mA)}$	0	0,8	5	21	34	36	40	40,5
$I_{\text{induc}} \text{ (A)}$	1,3	1,35	1,45	1,6	1,77	1,9	1,2	2,1
$U_{\text{ampladyne}} \text{ (V)}$	88	92	100	110	122	130	138	144

b) - Interpretation des resultats :

- Les resultats trouvés sont très satisfaisant et le circuit amplificateur agit exactement comme il a été définis auparavant, la tension est parfaitement regulée et est maintenue constante (i e 220 Volts) jusqu'a la charge nominale $I_{Alt} = 8 A$. Au dela de cette valeur, le circuit amplificateur ne suit plus et debite un courant constant (courant de saturation du transistor) ce qui justifie la chute de tension une fois le courant nominal dépassé, ceci pour ne pas faire debiter à l'alternateur une puissance superieure à sa puissance nominale.

3 - 3 - 4 - 2 / A charge inductive $\cos \varphi = 0,8 :$

- L'alternateur est chargé avec une charge R L et on maintient $\cos \varphi = 0,8$.

a) Tableau de Mesure :

$U_{alt}(V)$	220	220	220	220	220	220	217	214
$I_{Alt} (A)$	0	1,3	2,8	4,2	5,5	7	8,3	9,5
$I_{trans.} (M.A)$	0	0,8	5	21	34	36	40	40,5
$I_{induc} (A)$	1,3	1,35	1,45	1,6	1,77	1,9	2	2,1
$U_{amplidyne} (V)$	88	92	100	110	122	130	138	144

b) - Interpretation des resultats :

- Le système régle mais pas tout a fait comme pour la charge resistive pure, et la chute de tension entre la manne à vide et la pleine charge est $\Delta U = 13$ V, le facteur de qualité de cette tension est $k = 6\%$.
- La qualité de cette tension comme on peut le constater n'est pas conforme à celle admissible, ceci est dû essentiellement à l'étage amplificateur qui ne suit pas comme il le faudrait, car il a été dimensionné pour une charge resistive seulement.
- Pour qu'il suive en charge inductive, il faudrait augmenter l'amplification, car on sait et d'après les courbes de MORDEY nous avons différentes valeurs du courant d'excitation pour un même courant de charge I, le courant d'excitation J est alors plus important en charge inductive qu'en charge resistive.
- Pour un $\cos \varphi$ donné notre amplificateur suit si on augmente son gain ainsi que la valeur de son courant de saturation.

3 - 3 - 4 - 3 / : - A charge inductive $\cos \varphi = 0,6$:

- L'alternateur est chargé avec une charge R,L et le facteur de puissance est maintenus constant à $\cos \varphi = 0,6$

) - Tableau de Mesure :

U_{Alt} (V)	220	216	215	196	176
I_{Alt} (A)	0	2,7	5,4	7,6	9
$I_{Amplificateur}$ (mA)	0	8	33	39	41
J_{Alt} (A)	1,3	1,67	2,1	2,3	2,33
$U_{Amplidyne}$ (V)	88	116	146	162	165

b) - Interpretation des resultats :

- Ces resultats viennent confirmer encore une fois nos constatations car plus le $\cos \varphi$ decroit plus il faut augmenter le courant d'excitation J de l'alternateur et ceci pour un courant de charge constant $I = \text{Cst}$.

- La qualité de la tension dans ce cas la est très loin de celle admissible car le facteur de qualité est $k = 11\%$.

- On constate que la tension U décroît encore plus quand le courant de charge nominale est atteint. ceci est essentiellement dû à l'amplificateur qui atteint son courant de saturation à charge nominale.

3 - 3 - 4 / : - CONCLUSION

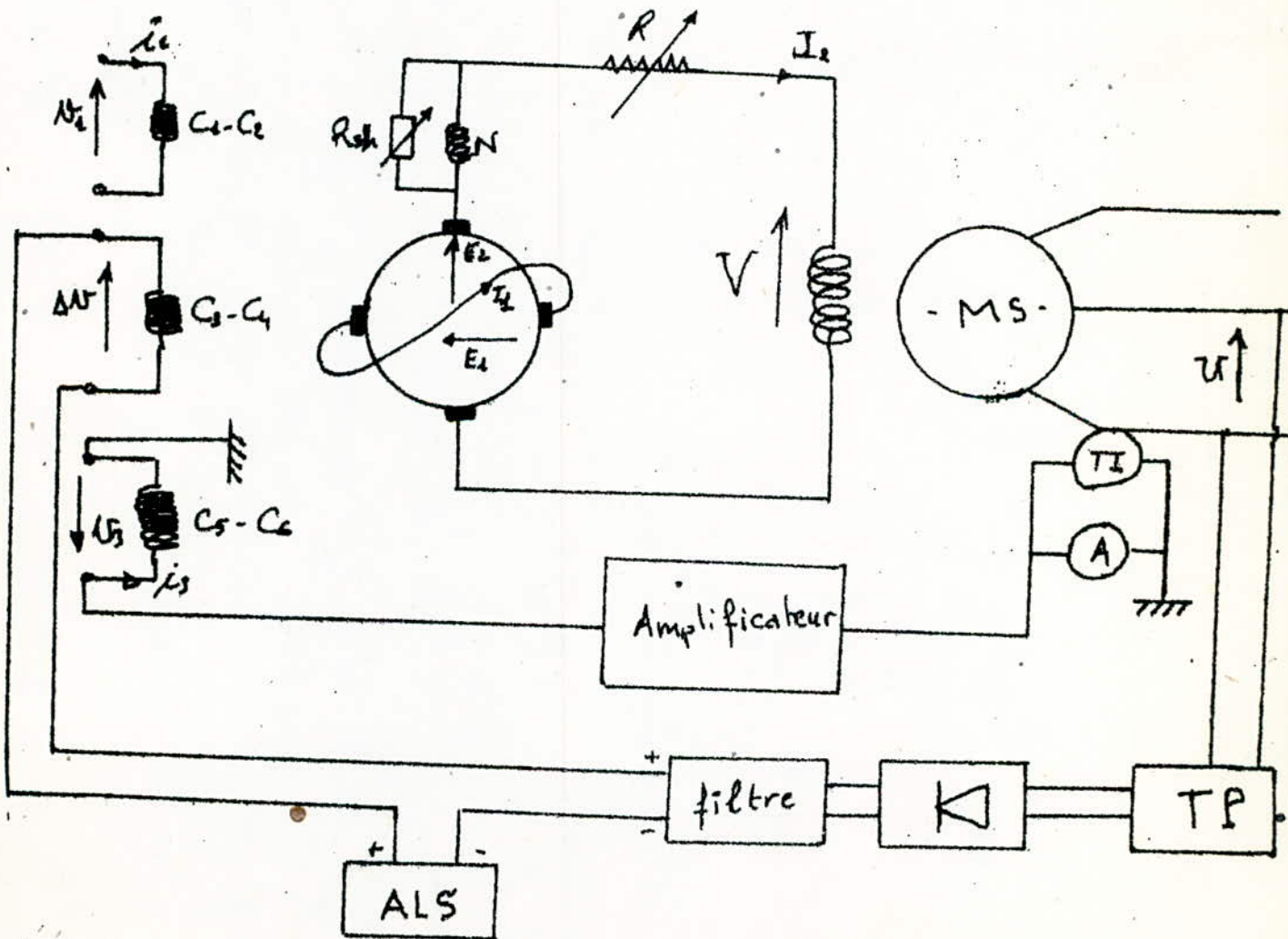
- Le système ainsi élaboré, régule convenablement la tension de de l'alternateur à charge résistive. par contre à charge inductive, on observe une chute de tension, ceci est dû au fait qu'à charge inductive le courant d'excitation de l'alternateur est plus important que celui à charge résistive.
- Pour y remédier, il faudrait augmenter le gain du $\mu A 74I$ et faire remonter la valeur du courant de saturation du transistor en diminuant la résistance $R7$. Et ceci pour un $\cos \varphi = cst.$
- Le système ainsi réalisé régule de tension de l'alternateur à $\cos \varphi$ courant.

CHAPITRE IV

ETUDE DE LA STABILITE DU SYSTEME ET DES
CARACTERISTIQUES STATIQUES ET DYNAMIQUES

4-1 / FONCTION DE TRANSFERT DU SYSTEME :

4-1-1 / Schema du systeme :



-1-2 / Equations de Fonctionnement du systeme :

Dans tous ce qui suit, on neqliigera les mutuelles et ne tiendra pas compte de la saturation des machines.

-Aux bornes de l'enroulement C_1-C_2 nous avons :

$$V_1 = r_1 i_1 + L_1 di_1/dt$$

-Aux bornes de l'enroulement C_3-C_4 :

$$\Delta V = r_2 i_2 + L_2 di_2/dt$$

-Aux bornes de l'enroulement C_5-C_6 :

$$V_3 = r_3 i_3 + L_3 di_3/dt$$

La fem induite sur l'axe transversal est :

$$E = K_1(i_1 + i_3 \pm i_2) = R_{eff} L_2 di/dt$$

R_2 et L_2 sont respectivement la resistance et l'inductance de tout le circuit transversal i.e des enroulements XA_1-XA_2 , E_1-E_2 , et l'enroulement XC_1-XC_2 .

La fem induite sur l'axe longitudinal est :

$$E_2 = K_2 I_d = R_T I_d + L_T di_d/dt$$

R_T et L_T sont respectivement la resistance et l'inductance de tout le circuit longitudinal, i.e des enroulements A_1-A_2 , N_1-N_2 , et l'inducteur de l'alternateur avec la resistance additionnelle R .

La fem induite au niveau de l'alternateur est :

$$E_{AL} = M_w I_d$$

La tension aux bornes de l'induit de l'alternateur est :

$$U = \sqrt{3} (E - Z_s I)$$

La tension aux bornes de $C_3 - C_4$ est :

$$U_3 = R_A \cdot (n_4 / n_2) \cdot I_1 \cdot K_{amp}$$

La tension aux bornes de $C_3 - C_4$ est :

$$\Delta U = U_{ref} - U / (ka) \times k$$

En passant au LAPLACIEN on obtient :

$$U_1 = (r_1 + l_1 p) \cdot i_1$$

$$\Delta U = (r_2 + l_2 p) \cdot i_2$$

$$U_3 = (r_3 + l_3 p) \cdot i_3$$

$$E_1 = K_1 (i_1 + i_3 + i_2) = (R_2 + L_2 p) \cdot i_1$$

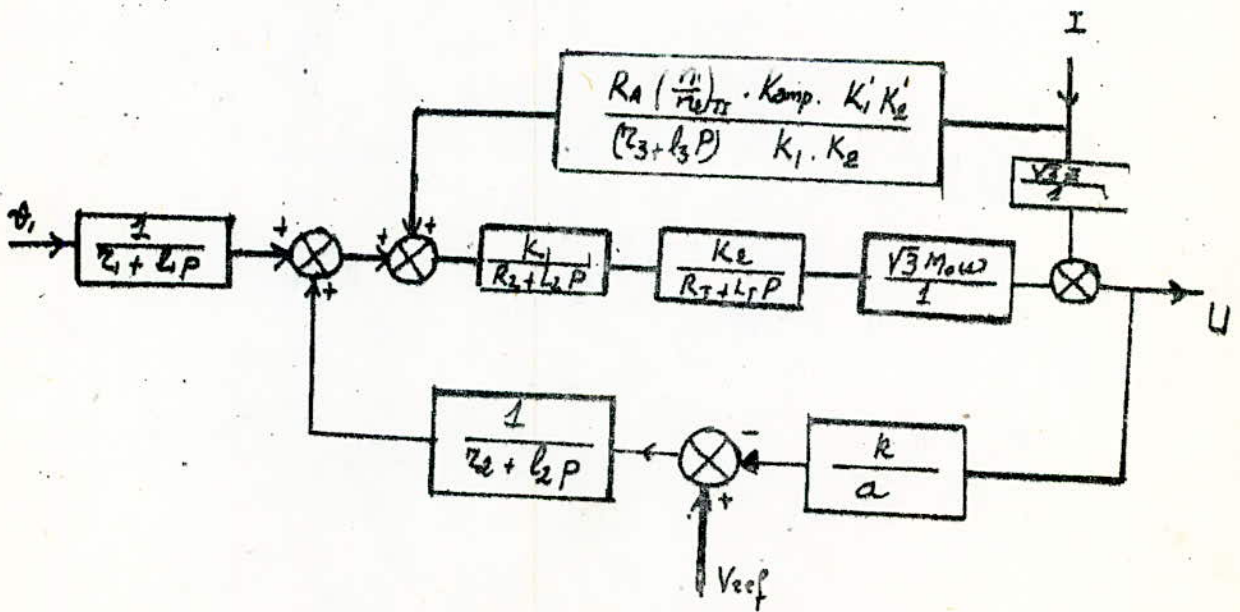
$$E_2 = K_2 i_1 = (R_T + L_T p) \cdot i_1$$

$$U = \sqrt{3} (E - Z \cdot I)$$

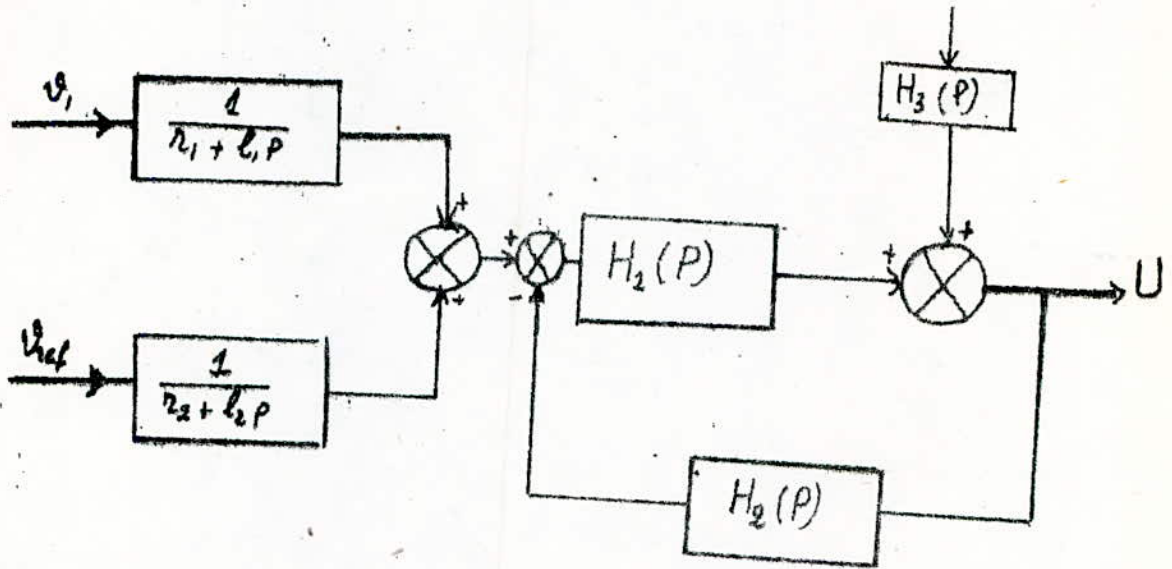
$$U_3 = R_A \cdot (n_4 / n_2) \cdot I_1 \cdot K_{amp}$$

$$\Delta U = U_{ref} - U \cdot k / a$$

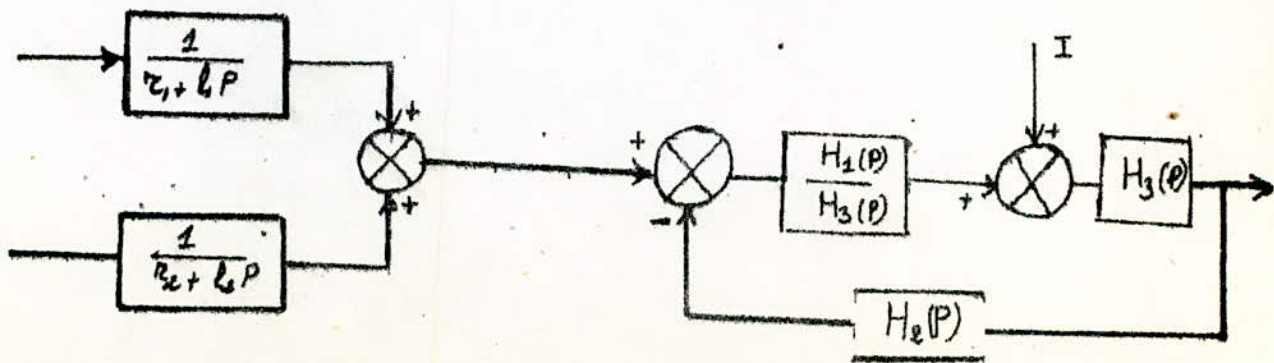
4-1-3 / Schéma bloc du system



Après simplification on obtient :



Finalement on obtient le schéma suivant :



$$E_2 = e - H_2 \cdot U \quad \text{et} \quad E_2 = I + E_2 H_4 / H_3$$

$$\text{or } U = E_2 \cdot H_3 = (I + E_2 H_4 / H_3) \cdot H_3 = H_3 \cdot (I + (e - H_2 \cdot U) \cdot H_4 / H_3)$$

$$U \cdot (1 + H_4 \cdot H_2) = H_4 e + H_3 I$$

enfin :

$$U(p) = \frac{H_4(p)}{1 + H_2 \cdot H_4(p)} \cdot e + \frac{H_3(p)}{1 + H_2 \cdot H_4(p)} \cdot I(p)$$

$$\text{avec } H_4(p) = \frac{\sqrt{3} \cdot M_w K_2 K_2}{(R_2 + L_2 p)(R_T + L_T p)} = \frac{\alpha_4}{(R_2 + L_2 p)(R_T + L_T p)}$$

$$H_3(p) = \frac{\sqrt{3} \left(R_A \left(\frac{n_2}{n_2} \right)_{\pi} \cdot K_{amp} \cdot M_w \cdot K'_2 \cdot K'_2 - X(r_3 + l_3 p)(R_2 + L_2 p)(R_T + L_T p) \right)}{(r_3 + l_3 p)(R_2 + L_2 p)(R_T + L_T p)}$$

$$\alpha_4 = R_A \cdot \left(\frac{n_2}{n_2} \right)_{\pi} \cdot K_{amp} \cdot M_w \cdot K'_2 \cdot K'_2$$

$$H_2(p) = \frac{k}{a(r_2 + l_2 p)}$$

4-1-4 / Calcul de la fonction de transfert :

$$U(p) = \frac{U_2 + U_{ref}}{\frac{r R R}{\alpha_4} (1 + l/r p)(1 + L/R p)(1 + L/R p) + k/a + 3 \cdot (r_2 + l_2 p)(\alpha_4 - X(r_3 + l_3 p)(R_2 + L_2 p)(R_T + L_T p))} \cdot I$$

$$\alpha_4 (r_3 + l_3 p) \frac{r_2 R_2 R_T}{\alpha_4} (1 + l_2/r_2 p)(1 + L_2/R_2 p)(1 + L_T/R_T p) + k/a$$

L'application numérique donne :

$$\frac{r + 1 p}{r + 1 p} = \frac{94(1 + 0.028)}{1 + 0.029} \approx 94$$

La fonction de transfert est alors :

$$U(p) = \frac{26.7 + (0.13 - 0.49 p - 0.03 p^2 - 5.2 \cdot 10^{-3} p^3) \cdot 1}{3.3 \cdot 10^{-5} p^5 + 2.2 \cdot 10^{-3} p^4 + 0.0331 p^3 + 0.1213}$$

En négligeant les termes en P on aura :

$$U(p) = \frac{26.7}{2.1 \cdot 10^{-3} P^2 + 0.0331 P + 0.1213} + \frac{0.13 - 0.49P - 0.03 P^2}{2.1 \cdot 10^{-3} P + 0.0331P + 0.1213}$$

4-2 / ETUDE DE LA STABILITE :

4-2-1 / Equation caracteristique du systeme :

Connaissant la fonction de transfert du systeme, on peut etudier la stabilite en etudiant l'equation caracteristique du systeme.

L'equation caracteristique est :

$$1 + KG(p) = 2.1 \cdot 10^{-3} p^2 + 0.0331 p + 0.1213$$

La resolution de cette equation donne les racines suivantes : $p_1 = -5.6$ et $p_2 = -9.96$

Les deux racines de l'equation caracteristique du systeme sont a partie reelle negative, donc le systeme est parfaitement stable.

La constante de temps du systeme est alors :

$$T = 1/5.6 + 1/9.96 = 0,279$$

$$T = 0,279 \text{ s}$$

4-2-2 / Etude de la fonction de transfert dans le lieu de Nyquist :

$$U(j\omega) = \frac{26.7}{(0.1213 - 2.1 \cdot 10^{-3} \omega^2) + j0.0331\omega} + \frac{0.13 - j0.49\omega + 0.03\omega^2}{(0.1213 - 2.1 \cdot 10^{-3} \omega^2) + j0.0331\omega} \cdot I$$

Sachant que $V_{entree} = U_1 + U_{ref} = 26.7 (V) = Cst$, on etudiera d'abord la fonction $U(j\omega)$ $V_{entree} = 1=0$, ensuite celle qui correspond a $V_{entree} = 0$ i.e $U(j\omega)/I(j\omega)$

On aura finalement :

$$\left(\frac{U(j\omega)}{V_{entree}} \right)_{a I=0} = \frac{(0.1213 - 2.1 \cdot 10^{-3} \omega^2)}{(0.1213 - 2.1 \cdot 10^{-3} \omega^2)^2 + 1.1 \cdot 10^{-3} \omega^2} - j \frac{0.0331 \cdot \omega}{(0.1213 - 2.1 \cdot 10^{-3} \omega^2)^2 + 1.1 \cdot 10^{-3} \omega^2}$$

et

$$\left(\frac{U(j\omega)}{I(j\omega)} \right)_{a V_{entree}=0} = \frac{-63 \cdot 10^{-5} \omega^4 + 0.196 \omega^2 + 0.1577}{(0.1213 - 2.1 \cdot 10^{-3} \omega^2)^2 + 1.1 \cdot 10^{-3} \omega^2} - j \frac{(-3 \cdot 10^{-5} \omega^3 + 0.063 \omega)}{(0.1213 - 2.1 \cdot 10^{-3} \omega^2)^2 + 1.1 \cdot 10^{-3} \omega^2}$$

4-3 / Etude des caractéristiques statiques et dynamiques :

4-3-1 / -Pour I = 0 :

$$U(p) = \frac{26.7}{2.1.10 p + 0.0331 p + 0.1213}$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} U(t) = \lim_{p \rightarrow 0} U(p) = 26.7/0.1213 = 220.09 \text{ (v)}$$

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

Donc en régime établi la valeur efficace de la tension est de 220 volts.

4-3-2 / Pour U = 0 :

$$\frac{U(p)}{I(p)} = \frac{0.13 - 0.49 p - 0.03 p}{2.1.10 p + 0.0331 p + 0.1213}$$

$$\lim_{p \rightarrow 0} \frac{U(p)}{I(p)} = \lim_{p \rightarrow 0} \frac{0.13 - 0.49 p - 0.03 p}{2.1.10 p + 0.0331 p + 0.1213} = 1.07$$

$$\lim_{p \rightarrow \infty} \frac{U(p)}{I(p)} = \lim_{p \rightarrow \infty} \frac{0.03 p}{2.1.10 p} = 14.3$$

Enumeration des differents parametres intervenant dans la fonction de transfert .

- r : resistance de l'enroulement $C_2 C_3 = 525 \ \Omega$
 r : " " " $C_3 C_4 = 525 \ \Omega$
 R : " " " $X_A X_{A_2} / (E + X_C) = .6 \ \Omega$
 R : " " " $A_1 A_2 + N + A_{12} = 50 \ \Omega$
 r : " " " $C_2 C_3 = 5.6 \ \Omega$
 R : " l'ampere metre $= 70.10^{-3} \ \Omega$
 l : Inductance de l'enroulement $C_2 C_3 = 14.76 \ H$
 l : " " " $C_3 C_4 = 14.46 \ H$
 l : " " " $C_2 C_3 = 0.176 \ H$
 L : " " " $X_A X_{A_2} / (E + X_C) = 1 \ H$
 L : " " " $A_1 A_2 + N + A_{12} = 2.663 \ H$
 $K K$: coefficient d'amplification $C_2 C_3 \& C_3 C_4 = 6429$
 $K K$: " " " $C_2 C_3 \& C_3 C_4 = 642.9$
 V : tension d'alimentation de $C_2 C_3 = 4.2 \ (v)$
 V : " de reference $= 22.5 \ (v)$
 K_{amp} : coefficient d'amplification de l'amplificateur $= 1.25$
 n / n : rapport de transformation du TI $= 0.5$
 a : " " " TP $= 12.78$
 k : coefficient tenant compte du filtre $= 1.305$
 x : réactance de l'induit de l'Alternateur $= 8.25 \ \Omega$

CONCLUSION

Le But que nous nous sommes fixé au départ à été atteint et avec succès , car les résultats données par le système qu'on a réalisé , sont très satisfaisants que ce soit en régime statique ou en régime dynamique . Le système de régulation ainsi réalisé , est un système qui régule la tension d'un Alternateur à $\cos(\phi)$ constant .

Il est à noter , que pour un amplificateur statique , qu'il soit magnétique , à semi-conducteurs , ou à Transistors , le principe de régulation de la tension de l'Alternateur reste inchangé .

Ce modeste travail que nous présentons , nous a permis d'avoir une idée générale sur l'asservissement et une idée bien particulière sur la régulation .

BIBLIOGRAPHIE

LIURES :

- Asservissements Lineaires- F. Milsant - Edition:Eyrolles
- Les Bases de l'Automatisme Industriel - S. Wegrzyn-Dunod
- Cours d'Electrotechnique- A. Kassatkine & M. Perekaline-Moscou
- Machines Electriques-Ivanov & Smolenski-Tome II-Moscou
- Manuel Technique des Procedes de Regulation
W. Oppelt -Eyrolles
- Micromachines Electriques-E. Armenski & G. Falk-Moscou
- Technologie et Calcul Pratique des Systemes Asservis
P. Haplin -Dunod-
- Theorie et Calcul des Asservissements Lineaires
J.Ch. GILLE-Dunod-

eriodiques :

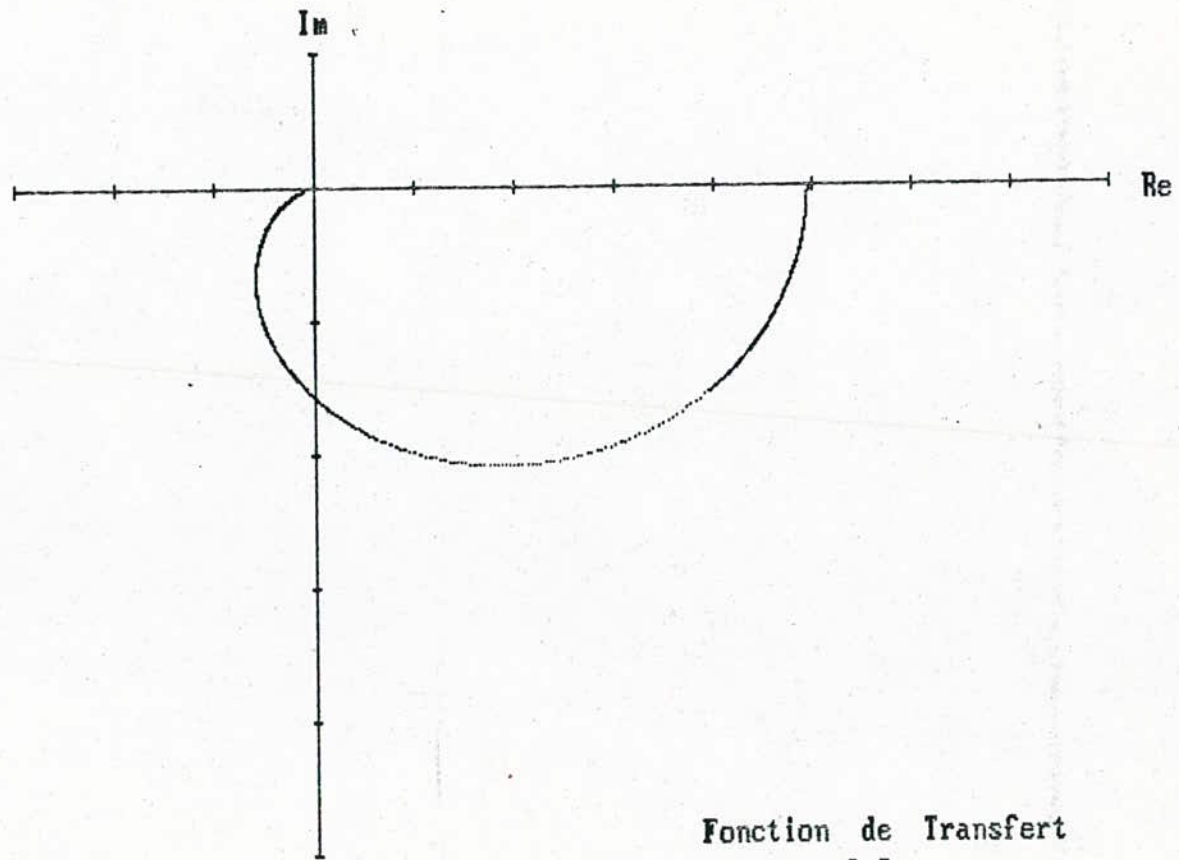
Bulletin de la Societe Francaise des Electriciens

Article :AMPLIDYNE

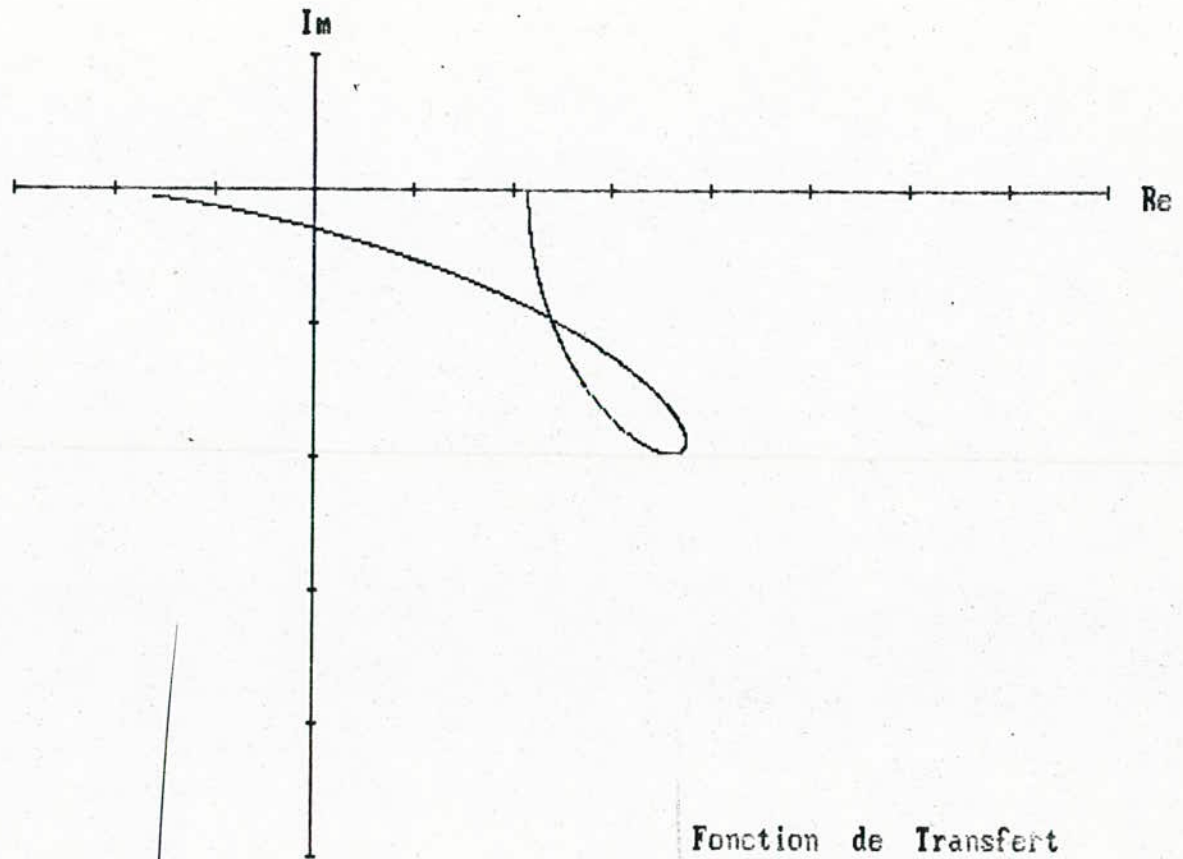
Auteur :A. Valentin

page:304 à 328

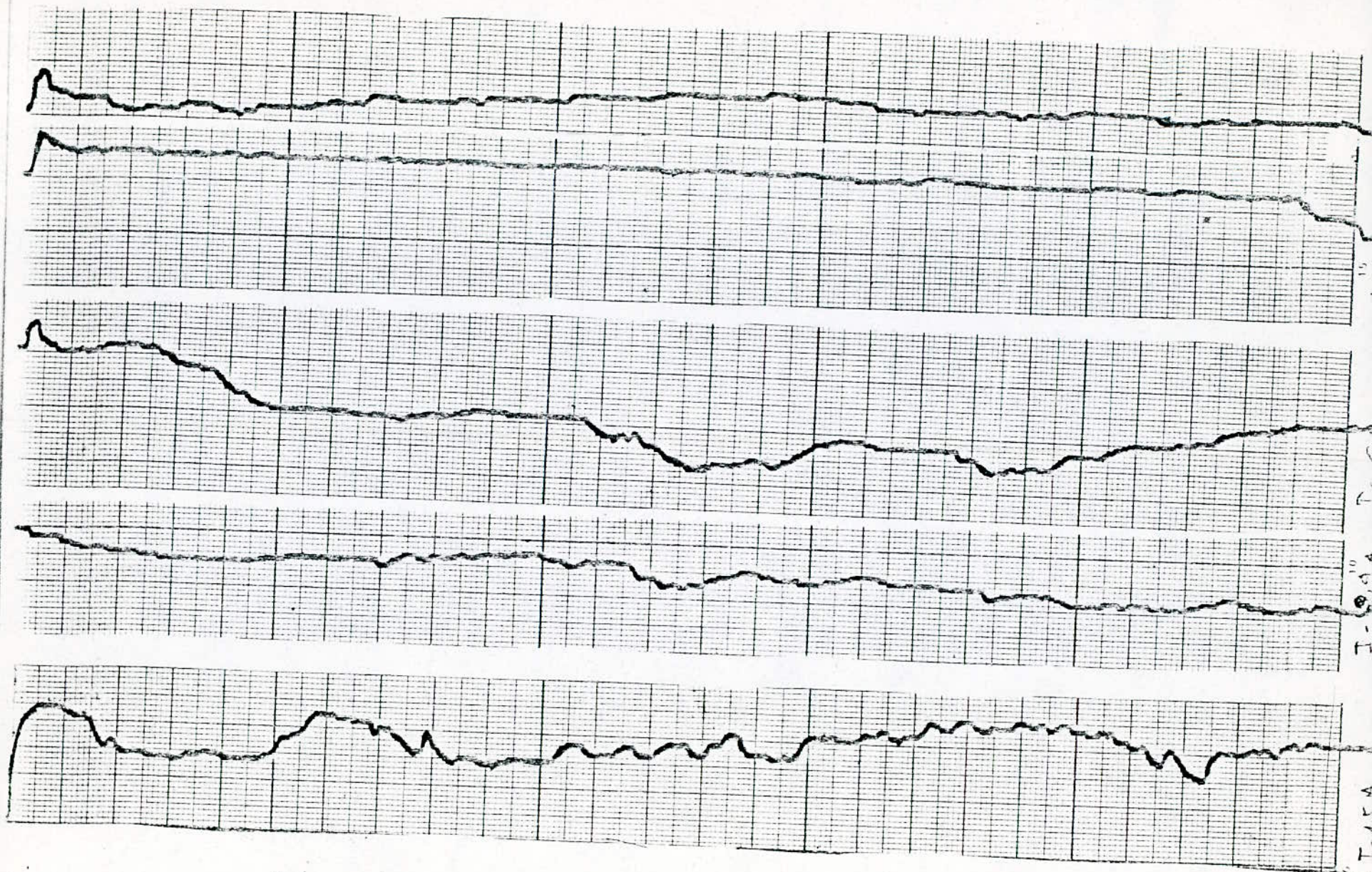
Annexe



Fonction de Transfert
pour $l=0$

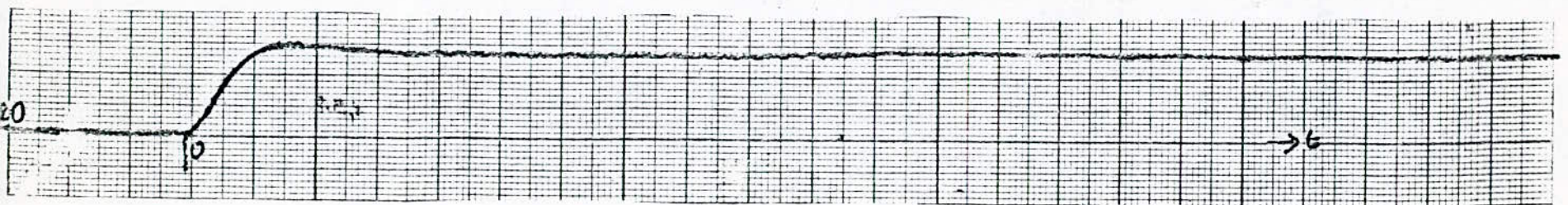
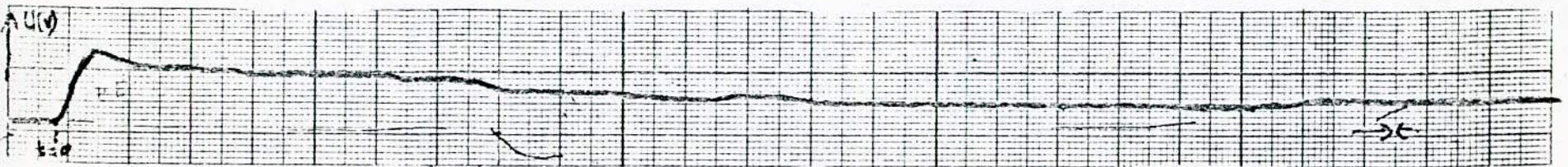
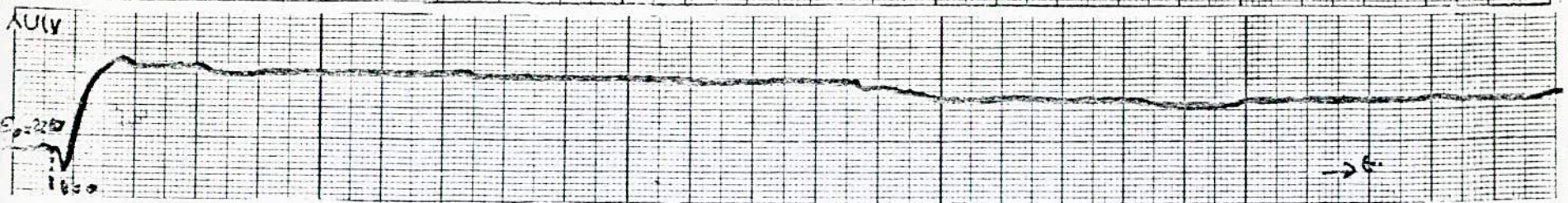
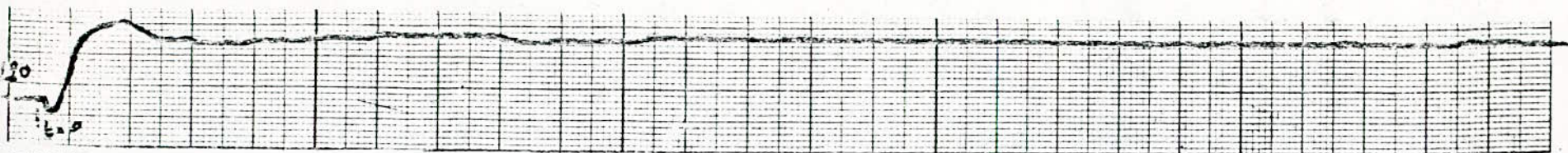


Fonction de Transfert
pour $U=0$



Releve du signal de sortie (tension)

Echelle: $t: 0,2\text{ s/cm}$



Relevé du signal de sortie (tension)
sur table traçante en régime dynamique

Echelle : $t : 0,25/cm.$
tension $3 \times 1\text{mv}/cm.$