

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

13/90  
2/2

وزارة التعليم و البحث العلمي  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

المدرسة الوطنية للتكنولوجيا  
BIBLIOTHEQUE  
Ecole Nationale Polytechnique

DEPARTEMENT : Génie Electrique

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

ASSOCIATION SERIE  
DE REDRESSEURS  
A TNYRISTORS

Proposé Par :

Mr:R.Tahmi

Etudié par :

M.Ramoul.O  
M.Tinkicht.F

Dirigé par :

Mr:R.Tahmi

PROMOTION : Juin - 1990







S O M M A I R E

- NOMENCLATURE	
- Introduction	1
Chapitre I : Etude theorique	2
1- Generalites sur les convertisseurs alternatif/continu	4
1-1-Commande asymetrique d'un pont monophasé tout thyristors	4
1-1-a- Etude des tensions	
1-1-b- Valeur moyenne de la tension redressée	
1-1-c- Allure de la tension $U_d$ en fonction de l'angle d'allumage $\alpha_1$	
1-1-d- Diagramme des puissances	
1-2- Cammande successive de deux ponts monophasés en serie	9
1-2-a- Cammande successive de deux convertisseurs en serie ( $\alpha_1$ et $\alpha_2$ )	
a- Etude des tensions	
b- Diagramme des puissances	
1-2-b- Cammande successive de quatre (04) etages en serie	
a- Etude des tensions	
1-3- GENERALISATION	18
Chapitre II : Realisation pratique	19
Conception de la commande electronique	20
circuit de commande et son dimensionnement	
A- Schema synoptique	20
1- Circuit de synchronisation	
1-a- filtre d'entree	
1-b- dephaseur	
2- Generateur de rampe	
2-a- comparateur	
2-b- derivateur	
2-c- redresseur à ampli-operationnel	
3- Comparaison	
4- Multivibrateur ASTABLE	
5- Multiplicateur	
6- Amplificateur de courant	
7- Transformateur d'impulsion	

B- Essais experimentaux ----- 30

- 1- Un pont avec  $\alpha_1 = \alpha$  (variable)
  - 1-a- Caracteristique P (I) pour differents  $\alpha$
  - 1-b- Caracteristique Q (I) pour differents  $\alpha$
  - 1-c- Caracteristique N (I) pour differents  $\alpha$
  - 1-d Caracteristique Ud (I) pour differents  $\alpha$ 
    - 1-d \*- Chute de tension ohmique :  $\Delta U_r$
    - 1-d \*- \* Chute de tension directe :  $\Delta U_d$
  
- 2- Un pont avec  $\alpha_1 \neq \alpha_2$ ,  $\alpha_1 =$  variable
  - 2-a- Caracteristique P(I) pour differents  $\alpha_1$
  - 2-b- Caracteristique Q(I) pour differents  $\alpha_1$
  - 2-c- Caracteristique N(I) pour differents  $\alpha_1$
  - 2-d- Caracteristique Ud(I) pour differents  $\alpha_1$
  
- 3- Deux (02) ponts mis en serie avec  $\alpha_1 \neq \alpha_2$ 
  - 3-a- Caracteristique P(I) pour differents  $\alpha_1$
  - 3-b- Caracteristique Q(I) pour differents  $\alpha_1$
  - 3-c- Caracteristique Ud(I) pour differents  $\alpha_1$
  - 3-d- Caracteristique N(I) pour differents  $\alpha_1$
  
- 4- Deux (02) ponts en serie avec  $\alpha_1 \neq \alpha_2 \neq \alpha_3 \neq \alpha_4$ 
  - 4-a- Caracteristique P(I) pour differents  $\alpha_1$
  - 4-b- Caracteristique Q(I) pour differents  $\alpha_1$
  - 4-c- Caracteristique Ud(I) pour differents  $\alpha_1$
  - 4-d- Caracteristique N(I) pour differents  $\alpha_1$

C- Etude comparee des fonctionnements des quatres convertisseurs ----- 46

- 1- Caracteristique de tension Ud (I)
- 2- Caracteristique de vitesse N(I)
- 3- Caracteristique de la puissance reactive Q(I)
- 4- Caracteristique de la puissance active P (I)

-III Conclusion ----- 50

-Annexe

- Bibliographie

## NOMENCLATURE

<u>SYMBOLE</u>	<u>UNITE</u>	<u>DESIGNATION</u>
E	( V )	Force contre electromotrice du moteur
N	( Tr/Mn )	vitesse de rotation
P	( W )	puissance active
Q	( Var )	puissance reactive
So	( Va )	puissance apparete
T	( Ms )	periode
Ud	( V )	tension moyenne redressée
Udo	( V )	tension redressée obtenue pour $\alpha = 0$
Um	( V )	tension maximale
$\Delta u_d$	( V )	chute de tension directe
$\Delta u_r$	( V )	chute de tension ohmique
$\ddagger v$	( V )	tension d'alimentation des circuits integres
Vcc	( V )	tension d'alimentation des amplifica- teus de courant
f	( Hz )	frequence
Uc	( V )	tension de commande
W	( rd/S )	pulsation
$\tau$	( Ms )	constante de temps
$d_i$	( rd )	angle de retard a l'allumage de l'etage "i"
$\varphi$	( rd )	dephasage entre la tension et le courant
$\phi$	( Wb )	flux dans l'inducteur du moteur

Les thyristors utilisés sont des S K T 100 ayant pour caractéristiques :

- Tension crête inverse .....  $V_{mr} = 1,2$  kV
- Courant nominal continu .....  $I = 100$  A a  $85^{\circ}\text{C}$
- Courant de maintien .....  $I_h = 170$  mA a  $25^{\circ}\text{C}$
- Variation de tension .....  $dv/dt = 1,5$  kV/ $\mu$ s
- Temperature maximale de la jonction .....  $\theta = 130$   $^{\circ}\text{C}$
- Chute de tension .....  $V_f = 1,6$  V à  $I = 70\text{A}$
- Temps d'extinction .....  $t_{off} = 150$   $\mu$ s
- Circuit de Gachette .....  $P_{max} = 1$  W  
 $V_g = 3$  à  $5$  V  
 $I_g = 170$  mA

Plaque signalitique du moteur utilise :

- $P_n = 2,2$  kW
- $U_n = 110$  V
- $I_n = 24$  A
- $J_n = 0,95$  A
- $N_n = 1800$  tr/mn
- Excitation  
 Independante

INTRODUCTION

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

Un redresseur à thyristors raccordé à un réseau électrique, se comporte vis à vis de celui-ci de manière différente des autres récepteurs conventionnels, comme les moteurs ou les dispositifs d'éclairage. La différence est due, principalement, aux deux propriétés suivantes du convertisseur :

1- Consommation importante d'énergie réactive lorsque la tension continue qu'il délivre est faible. Cela entraîne, entre autres, des chutes de tension au niveau du point de raccordement.

2- Production des courants harmoniques dus à la caractéristique non linéaire du convertisseur.

Il est souvent nécessaire de réaliser une compensation sous une forme ou sous une autre afin de décharger le réseau d'alimentation de la puissance réactive absorbée par les convertisseurs. Cette compensation peut être réalisée de diverses manières ; aussi est-il indispensable de prendre connaissance du genre de fonctionnement dont-il s'agit et du résultat que nous recherchons .

Si le courant et la tension continue fournis par le convertisseur sont à peu près constants, la consommation d'énergie réactive reste constante. Dans ces conditions, la façon la plus simple et la moins onéreuse de réaliser la compensation, consiste à raccorder une batterie de condensateurs fixes aux bornes alternatives du convertisseur. La batterie fournit de la puissance réactive, ce qui décharge le réseau d'une partie du courant réactif.

Dans notre travail, nous présentons une autre méthode qui permet d'améliorer les performances du système [ convertisseur + charge ] en agissant directement sur l'association des convertisseurs. Nous connectons alors, deux convertisseurs en série avec un système de commande en cascade.

Les groupements en série de convertisseurs à thyristors sont utilisés :

- Soit pour obtenir de hautes ou très hautes tensions continues variables, à partir d'une même tension alternative.
- Soit pour réduire les perturbations du réseau d'alimentation par réduction de la consommation de la puissance réactive.

Pour son élaboration, notre travail a été divisé en trois parties : I/ - Etude théorique :

Elle consiste en l'étude du fonctionnement des différents ponts.

II/ - Réalisation pratique : \*) Essais expérimentaux.

Une partie principale est détaillée concernant la commande des thyristors ( Générateur d'Impulsion ). Nous terminons par des essais expérimentaux que nous comparerons aux résultats théoriques.

III/ - Conclusion

Nous essayons de tirer une conclusion sur le travail effectué.

CHAPITRE I

ETUDE THEORIQUE

## I - ETUDE THEORIQUE

Cette partie portera sur l'étude des tensions redres- sées et l'élaboration du diagramme de puissance, en considé- rant deux cas :

- 1) Un seul pont tous thyristors.
- 2) Deux ponts tous thyristors mis en serie.

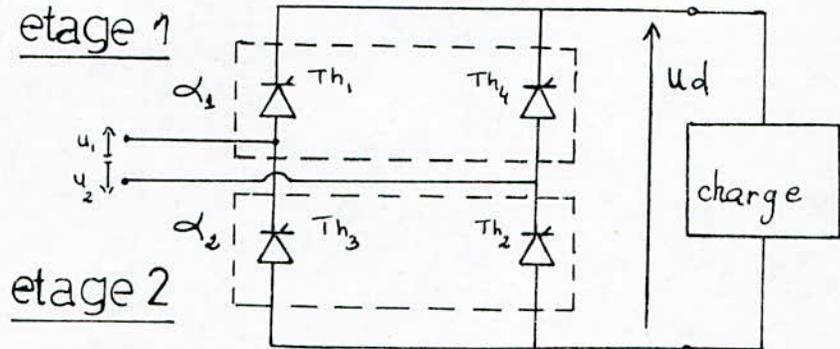
1) Généralités sur les convertisseurs Alternatif/Continu

Ces convertisseurs sont des dispositifs qui transforment une tension alternative en une tension continue.

La tension de sortie est constante, sauf dans le cas où un signal de commande permet de la faire varier, de manière continue, dans ce cas ils sont appelés REDRESSEURS COMMANDES.

1-1) Commande asymétrique d'un pont monophasé tous thyristors :  
(voir montage)

1-1-a) Etude des tensions



Montage 1 : Commande asymétrique d'un pont monophasé à deux étages à angle d'amorçage  $\alpha_1 \neq \alpha_2$

Nous supposons que le convertisseur débite sur une charge résistive. Le convertisseur est subdivisé en deux (02) étages : l'étage 1 sera commandé par un angle de retard à l'amorçage  $\alpha_1$ , par contre l'étage 2 sera commandé par un angle de retard à l'amorçage  $\alpha_2$ .

Le pont absorbe une puissance apparente S du réseau. A courant constant, si la puissance active augmente, c'est-à-dire lorsque la tension continue augmente, la puissance réactive absorbée diminue.

La figure 1-1 montre l'allure de la tension redressée du convertisseur ( pour  $\alpha_1 \neq \alpha_2$  ), les durées de conduction des thyristors et la forme du courant qui traverse la charge (voir figure 1-1).

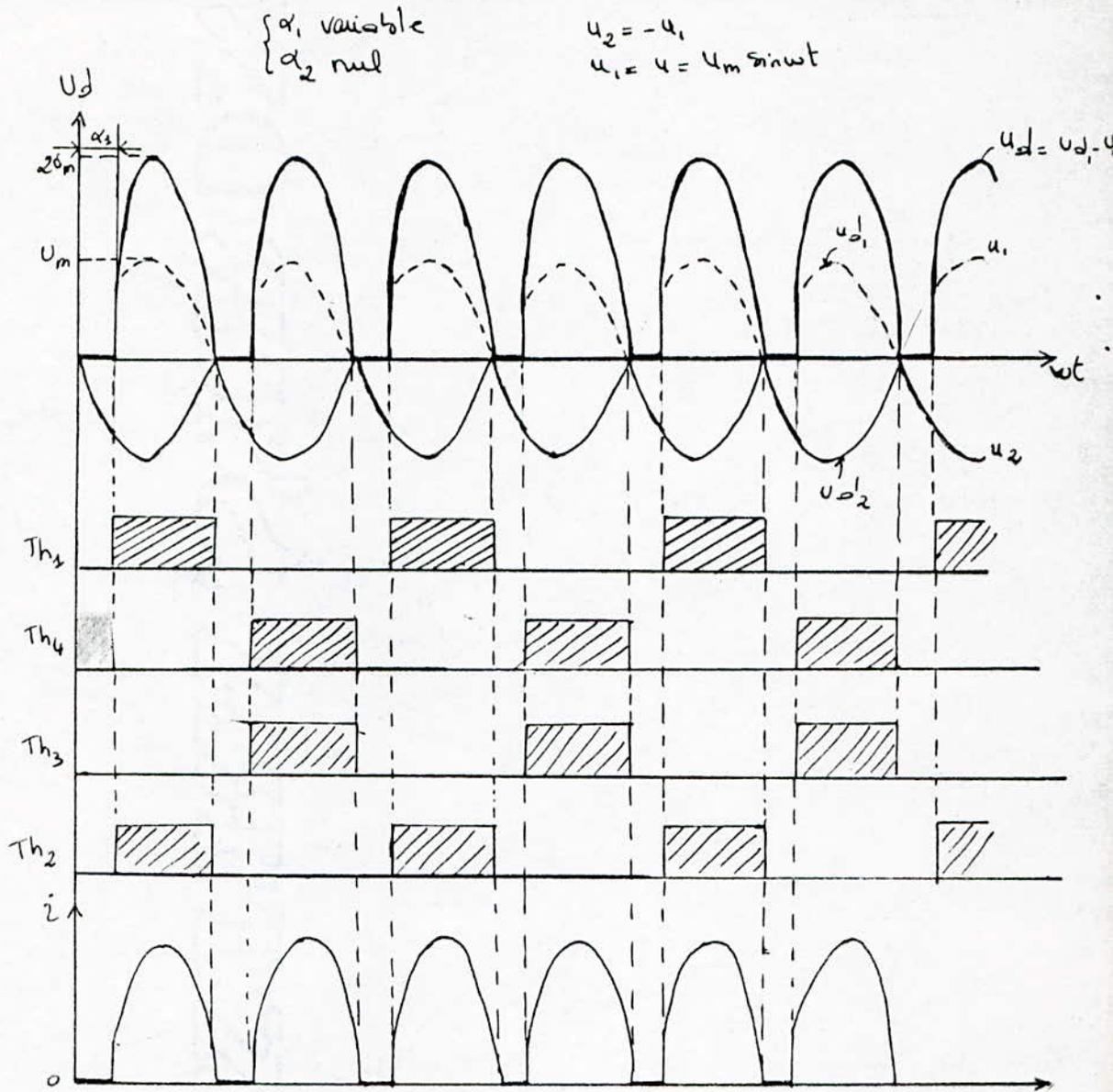


figure 1-1 : Allure de la tension redressée

1-1-b) Valeur moyenne de la tension redressée

$$U_d = \frac{1}{\pi} \left[ \int_{\alpha_2}^{\alpha_1} (-u_1 - u_2) \, dwt + \int_{\alpha_2}^{\pi} (u_1 - u_2) \, dwt \right]$$

$$U_d = \frac{1}{\pi} \left[ \int_{\alpha_2}^{\alpha_1} 0 \, dwt + \int_{\alpha_1}^{\pi} (u_1 - u_2) \, dwt \right]$$

$$U_d = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha_1}^{\pi} (u_1 - u_2) \, dwt$$

$$U_d = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha_1}^{\pi} U_m \sin wt \, dwt$$

$$U_d = \frac{U_m}{\pi} \int_{\alpha_1}^{\pi} \sin wt \, dwt$$

$$U_d = \frac{U_m}{\pi} \left[ -\cos wt \right]_{\alpha_1}^{\pi}$$

$$U_d = \frac{U_m}{\pi} \left[ -\cos \pi + \cos \alpha_1 \right]$$

$$U_d = \frac{U_m}{\pi} \left[ 1 + \cos \alpha_1 \right]$$

d'où

$$U_d = \frac{U_m}{\pi} (1 + \cos \alpha_1)$$

$$U_d = 2 \frac{U_m}{\pi} \frac{(1 + \cos \alpha_1)}{2}$$

$$U_d = U_{d_0} \frac{(1 + \cos \alpha_1)}{2}$$

1-1- c) Allure de la tension  $U_d$  en fonction de l'angle d'allumage  $\alpha_1$  : (voir figure 1-2)

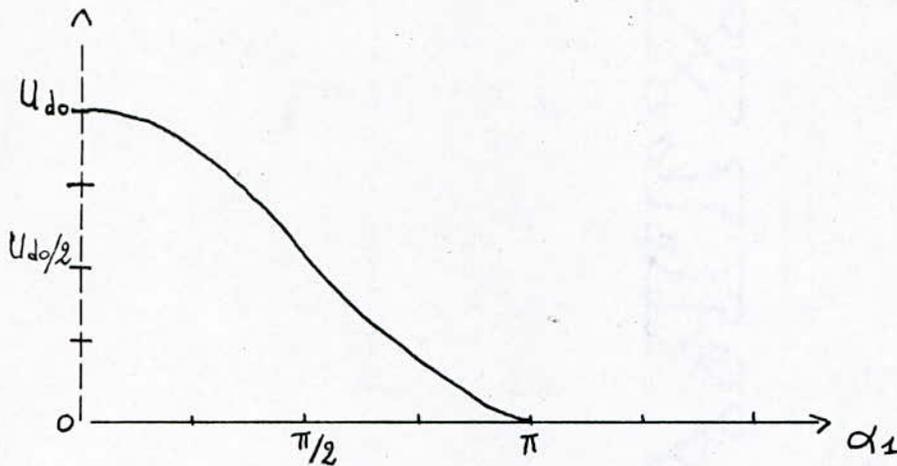


Figure 1-2 : Allure de la tension redressée en fonction de  $\alpha_1$

Remarque :

La tension restant tout le temps positive, le convertisseur fonctionne donc en redresseur ( voir figure 1-2 )

1-1-d) Diagramme des puissances : (voir figure 1-3 )

La figure 2 montre la puissance active et la puissance réactive qui transitent à travers un convertisseur en fonction de la tension continue .

En pratique,  $U_d < U_{d0}$  , du fait, d'une part, de la chute de tension à travers l'impédance interne du réseau, d'autre part, de la limite pratique de l'angle  $\alpha_1$ . Il en résulte que la puissance réactive ne peut jamais être nulle, ce qui est montré par la zone hachurée de la figure (voir figure 1-3 ).

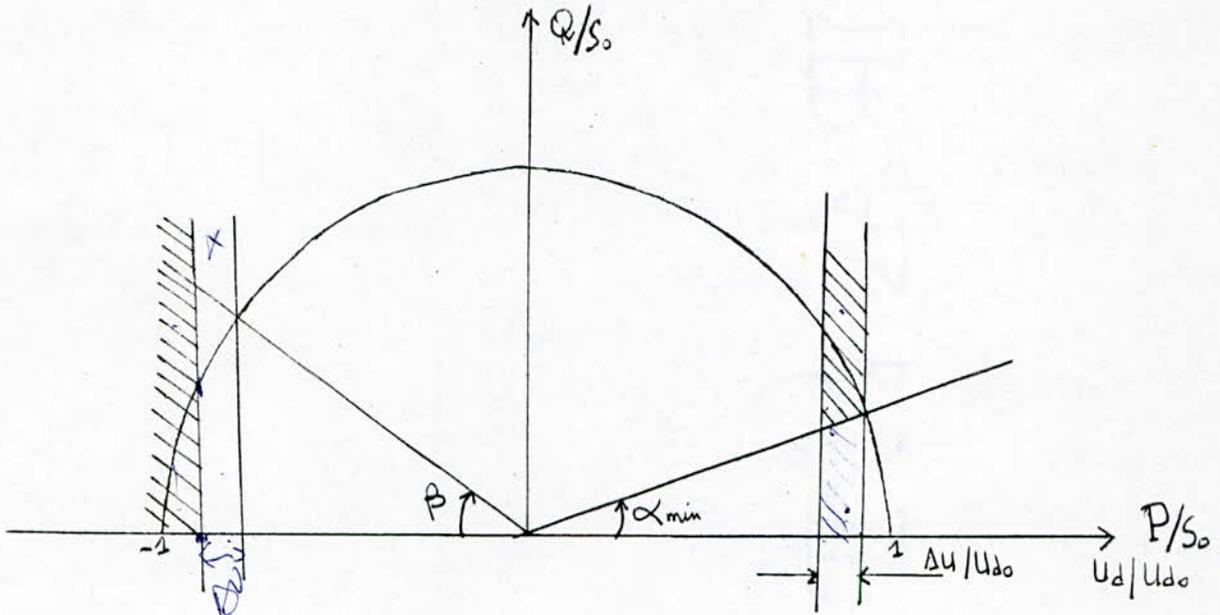


Figure 1-3 : Diagramme des puissances pour un pont monophasé

$\beta$  : Butée côté onduleur

$\alpha_{min}$  : Valeur minimale de l'angle  $\alpha$  d'allumage ( Butée côté redresseur ).

La puissance réactive appelée en fonction de la puissance active est un demi-cercle centré à l'origine.

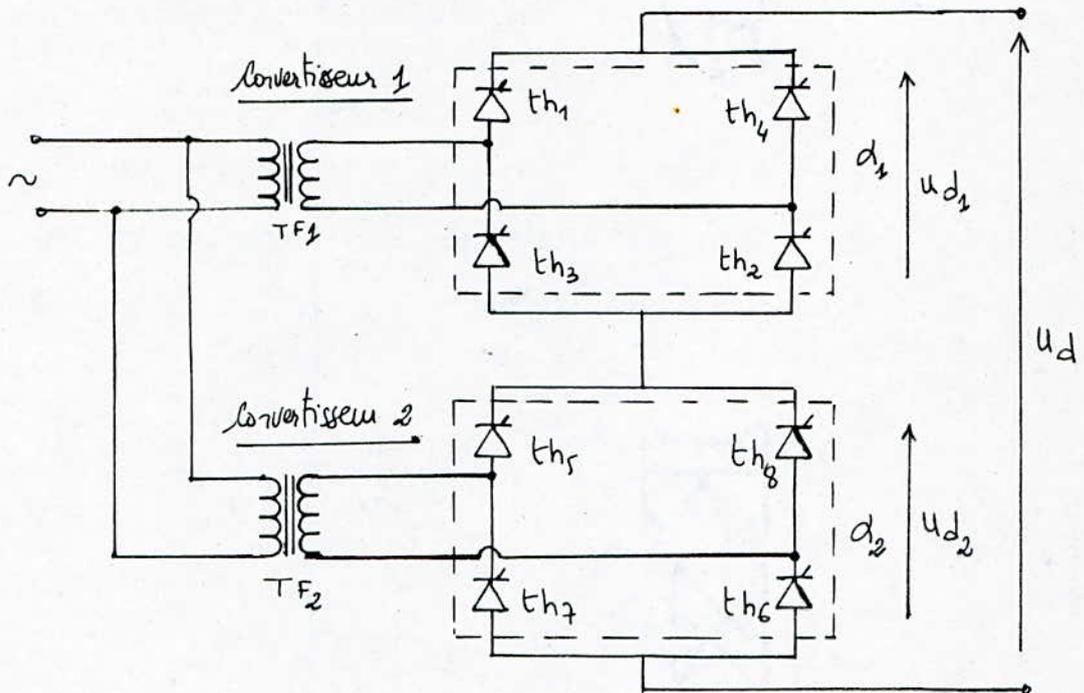
### 1-2) Commande successive de deux ponts monophasés en serie

Les convertisseurs de courant ( redresseurs à thyristors ) permettent, à partir d'un ensemble de tensions alternatives, d'obtenir une tension continue ou redressée.

Toutefois, nous pouvons faire varier le rapport de transformation alternatif-continu. En outre, les montages deviennent réversibles : ils peuvent prendre de la puissance du côté continu et l'injecter dans le réseau alternatif; ils fonctionnent alors en onduleurs non autonomes.

Dans le but d'améliorer les performances du système, il est préférable d'employer un convertisseur multi-étages et opérer leurs commandes avec des séquences de contrôle appropriées.

1-2-a ) Commande successive de deux convertisseurs en serie ( $\alpha_1$  et  $\alpha_2$ ) : ( voir montage 2 )



Montage 2 : Mise en serie de deux convertisseurs avec un angle d'amorçage différent ( $\alpha_1 \neq \alpha_2$ )

a) Etude des tensions : ( voir figure 2-1 )

Nous supposons que les convertisseurs débitent sur une charge résistive.

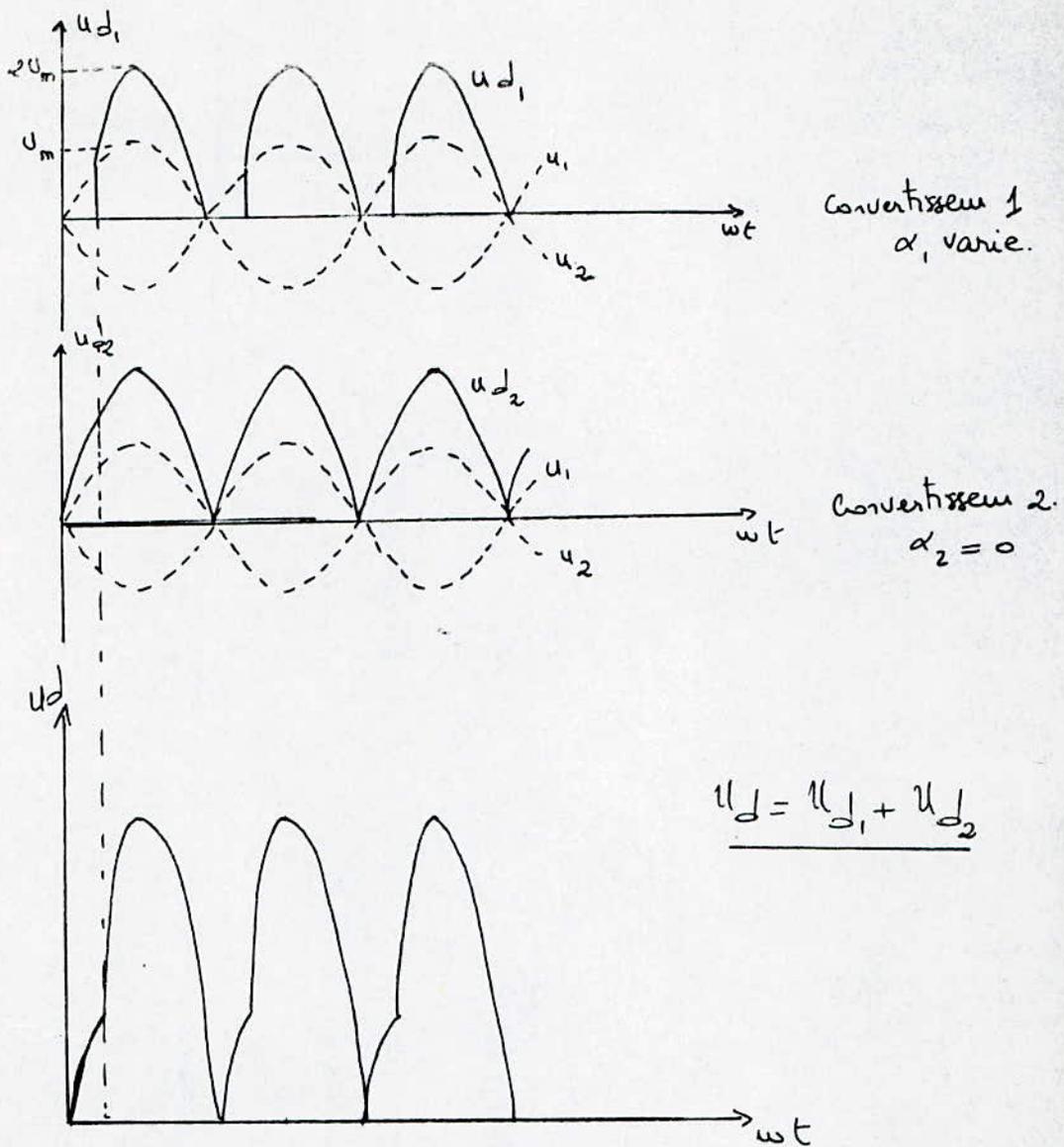


Figure 2-1 : Allure de la tension redressée de deux ponts mis en serie ( $\alpha_1 \neq \alpha_2$ )

b) Diagramme des puissances :

En supposant que nous devons produire la même puissance active totale qu'avec le montage précédent ( Montage 1 ), nous fractionnons cette puissance en deux ponts mis en serie, susceptibles chacun de contrôler la demi-tension  $U_d$ .

Les deux ponts sont alimentés par des tensions alternatives de valeurs identiques, isolées entre elles.

Nous utiliserons deux transformateurs identiques et les angles d'amorçage ~~et~~ sont déphasés non pas simultanément, mais successivement.

- Fonctionnement en Onduleur : (  $U_d < 0$  )

$$\alpha_2 = \pi \implies U_{d2} = - \frac{U_{d0}}{2}$$

$$0 < \alpha_1 < \pi \implies U_{d1} \text{ varie de } - \frac{U_{d0}}{2} \text{ à } + \frac{U_{d0}}{2}$$

D'où une tension  $U_d$  variable entre  $- U_{d0}$  et 0 obtenue en déphasant uniquement  $\alpha_1$ , alors que  $\alpha_2$  reste fixe à  $\pi$  ( convertisseur 2 travaille en onduleur ).

La puissance réactive tracée en fonction de la puissance active s'inscrit comme précédemment dans un demi-cercle, mais cette fois-ci centré sur  $- 0,5 P/So$  et de rayon moitié .

( voir figure 2-2 )

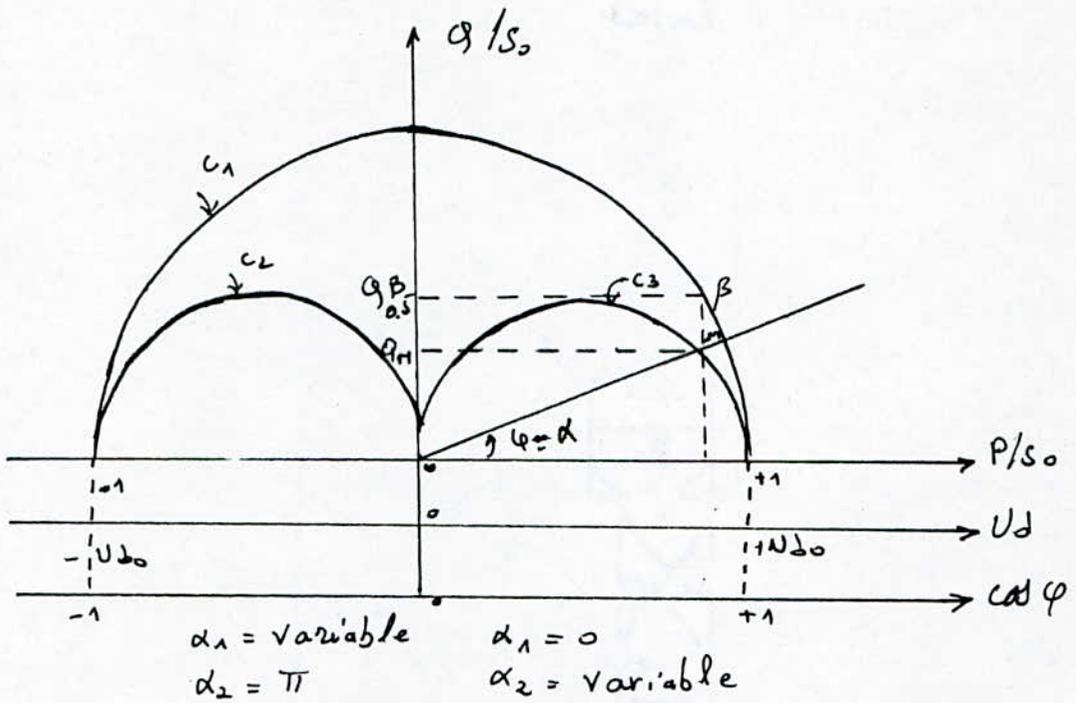


Figure 2-2 : Diagramme de puissance pour deux ponts mis en series.

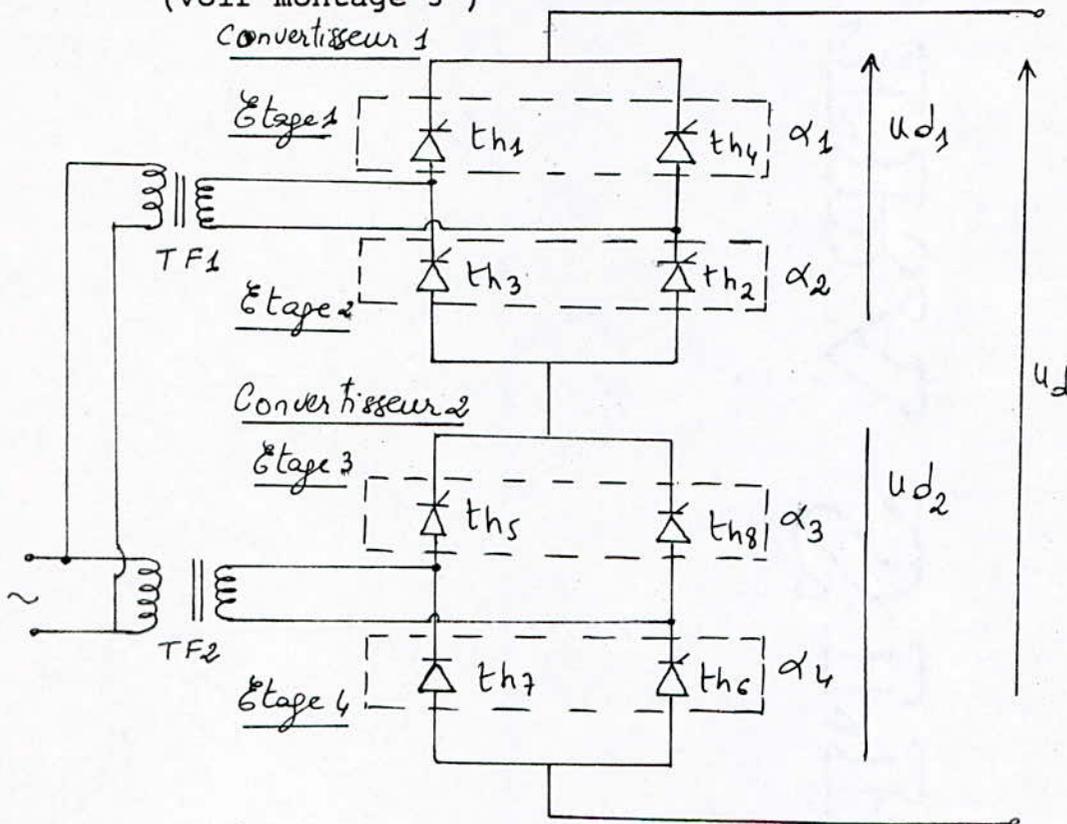
- Fonctionnement en Redresseur : (  $U_d > 0$  )

Le fonctionnement est similaire,  $\alpha_1$  est fixé à zéro (Convertisseur 1 plein redresseur),  $\alpha_2$  varie. La tension  $U_d$  varie alors de 0 à  $+U_{d0}$ .

La puissance réactive s'inscrit sur un autre demi-cercle symétrique au précédent. Nous voyons que pour une même capacité de contrôle de la puissance active, la puissance réactive maximale transitée est divisée par deux ( voir figure 2-2 ).

Remarque : A un angle  $\alpha$  donné, le point m se trouve sur le cercle C3, correspondant à une puissance réactive  $Q_m$ . En projetant ce point sur le cercle C1 nous obtenons le point b qui correspond à une énergie réactive  $Q_b$ . Nous concluons donc que  $Q_m < Q_b$ .

1-2-b) Commande successive de quatre (04) étages en série :  
(voir montage 3)



Montage 3 : Mise en série de deux (02) convertisseurs avec des angles d'amorçage différents ( $\alpha_1 \neq \alpha_2 \neq \alpha_3 \neq \alpha_4$ ).

Nous supposons que le convertisseur débite sur une charge active ( Machine à courant continu ). Le convertisseur est subdivisé cette fois-ci en quatre (04) étages :

l'étage 1 sera commandé par un angle de retard à l'amorçage  $\alpha_1$ , l'étage 2 par  $\alpha_2$ , l'étage 3 par  $\alpha_3$  et enfin l'étage 4 par  $\alpha_4$ .

Quand la valeur de la tension de sortie dépasse la moitié  $U_{d0}/2 < U_d < U_{d0}$ . les deux convertisseurs deviennent actifs.

Cependant, le système de fonctionnement est largement divisé en quatre catégories dépendant du nombre de convertisseurs activés ( voir tableau suivant ).

TABLEAU DES CATEGORIES

Catég	Fonctionn. du recept.	Tension de sortie	Convert. actif	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$	$\alpha_4$
I	Moteur	$0,5 < \frac{U_d}{U_{d0}} < 1$	I, II	var.	0	0	0
II	Moteur	$0 < \frac{U_d}{U_{d0}} < 0,5$	I	$\pi$	var.	0	0
III	Générateur	$-0,5 < \frac{U_d}{U_{d0}} < 0$	I	$\pi$	$\pi$	var.	0
IV	Générateur	$-1 < \frac{U_d}{U_{d0}} < -0,5$	I, II	$\pi$	$\pi$	$\pi$	var

Dans le cas où la charge est un moteur à courant continu , si le courant d'induit est discontinu, la forme d'onde de la tension de sortie du convertisseur dépend non seulement de l'angle d'amorçage, mais aussi, de la  $F_{cem}$  du moteur.

Quand le courant de la charge est continu, la forme d'onde est déterminée seulement par la tension d'alimentation.

Le montage 3 représente les quatre (04) étages du système convertisseur.

Les modes de fonctionnement du convertisseur sont faits en supposant que les thyristors possèdent un allumage et une extinction idéals, et l'inductance de la source négligeable, aussi, deux transformateurs d'alimentation identiques.

Les deux ponts sont susceptibles de commander chacun la demi-tension.

Dans le mode II, la tension redressée totale ne dépasse pas  $U_{do}/2$  ce qui signifie qu'un seul convertisseur est activé (voir tableau des catégories).

Dans le mode I, la tension redressée totale dépasse  $U_{do} / 2$ , les deux convertisseurs sont activés.  
(voir tableau des catégories) .

Ces deux modes correspondent à un fonctionnement redresseur.

Dans le mode III, la tension de sortie ne dépasse pas également la demi-tension  $U_{do} / 2$ , donc un seul convertisseur est activé ( voir tableau des catégories ) .

Dans le mode IV, la tension de sortie a dépassé la moitié de  $U_{do}$  , les deux convertisseurs sont activés.  
( voir tableau des catégories )

La tension de sortie pour les deux modes est négative, le pont fonctionne donc en onduleur.

Quand la tension de sortie est comprise entre :

-  $U_{do} / 2 < U_d < U_{do} / 2$  un seul convertisseur est activé.

Ainsi, le second convertisseur ne débite aucune puissance à la charge, mais laisse passer le courant de charge à travers l'une des paires de ses thyristors en series.

a) Etude des tensions : ( voir figure 3 )

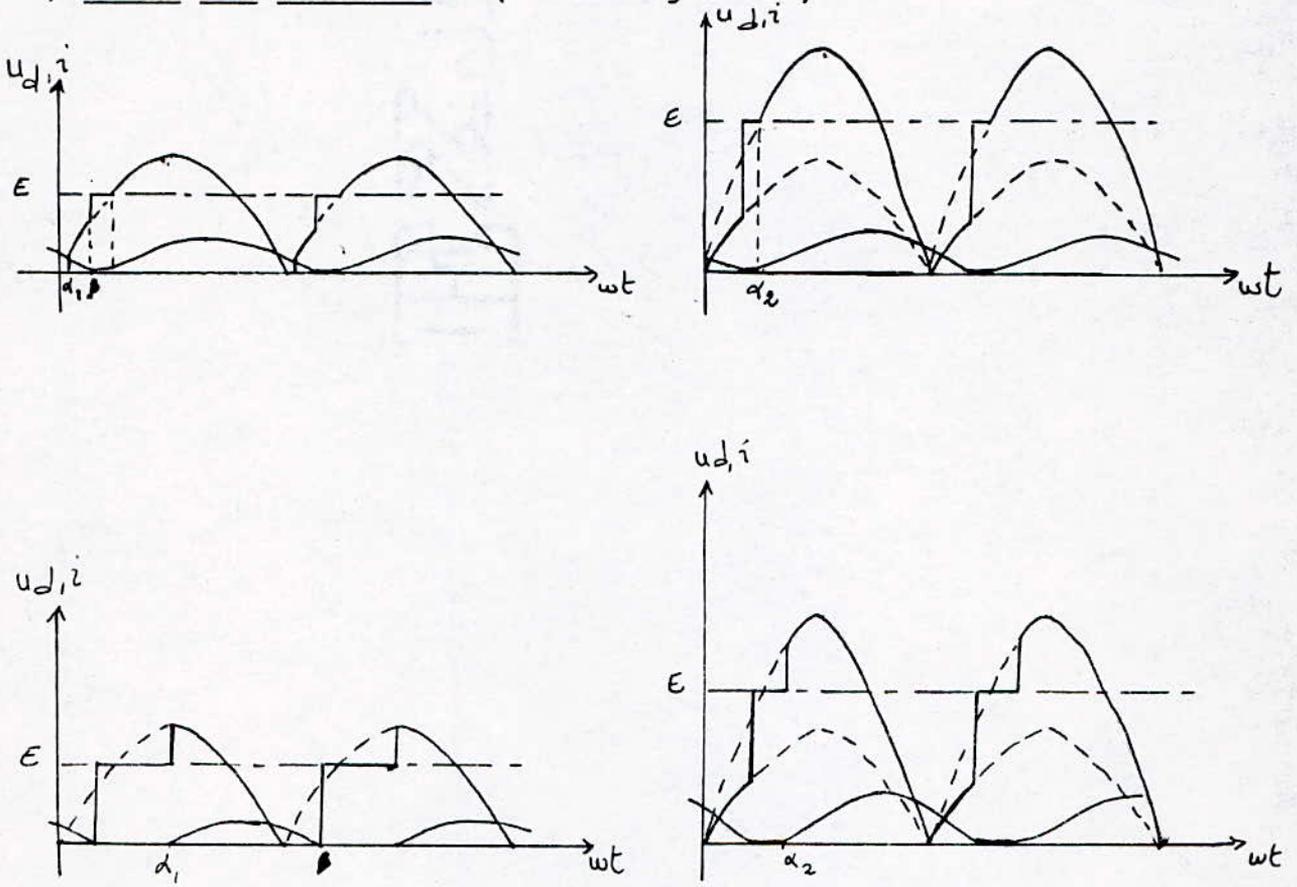


Figure 3 : Allure des tensions

### 1-3) Généralisation

En utilisant ce même principe, nous pouvons fractionner la puissance par "n" en mettant "n" ponts en serie et commandés successivement.

La puissance réactive maximale est alors théoriquement divisée par "n". Mais un tel fractionnement ne pourrait être économique que pour des tensions élevées.

CHAPITRE II

REALISATION PRATIQUE

## II - REALISATION PRATIQUE

Dans ce chapitre, nous avons développé deux grandes parties; l'une concernant la commande et l'autre le montage de puissance. Suivant le nombre d'étages mis en jeu ainsi que le mode d'amorçage de chaque étage, nous avons discerné quatre (04) cas de fonctionnement :

- 1) Un convertisseur à deux étages commandés avec le même angle d'amorçage ( $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$ ).
- 2) Un convertisseur à deux étages commandés graduellement l'un après l'autre ( $\alpha_1 \neq \alpha_2$ ).
- 3) Deux convertisseurs I et II commandés respectivement avec  $\alpha_1$  et  $\alpha_2$ .
- 4) Deux convertisseurs à quatre (04) étages commandés respectivement avec  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ , et  $\alpha_4$ .

## Conception de la commande électronique

### Circuit de commande et son dimensionnement

Un générateur d'impulsion constitué de quatre (04) étages identiques, muni d'une commande appropriée, est nécessaire afin de coordonner l'allumage des thyristors et de faire varier la valeur moyenne de la tension redressée.

Pour le réglage de l'angle d'allumage, il existe plusieurs type de commande. Nous avons adopté la commande verticale linéaire qui consiste à prendre comme porteuse un signal en dent de scie.

Afin d'assurer l'amorçage des thyristors, nous retenons la la solution qui consiste à envoyer un train d'impulsion qui s'étend sur  $180^\circ$  variable de gauche à droite pour  $\alpha$  variable de  $0^\circ$  à  $180^\circ$ .

Dans le cas des montages monophasés, le train d'impulsion est nécessaire afin d'assurer la continuité des conductions des thyristors.

A - SCHEMA SYNOPTIQUE : (voir figure 1 )

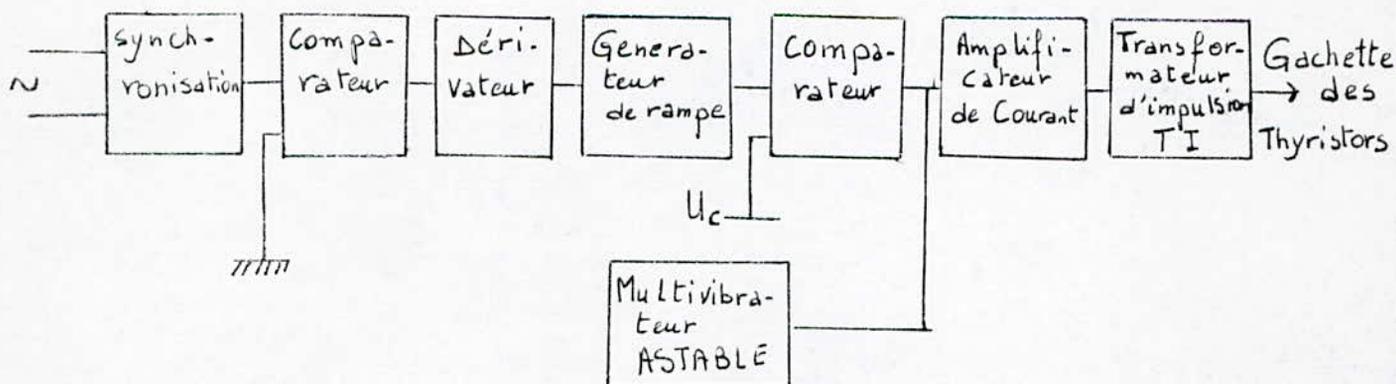


Figure 1 : Schéma synoptique du générateur d'impulsion

## 1 - Circuit de synchronisation

La synchronisation se fait par un transformateur 220 V /  $\pm$  6 V.

### 1-a) Filtre d'entrée

La commutation des thyristors déforme la tension d'alimentation. Nous utilisons donc un filtre passe-bas qui supprime ces parasites ( voir figure 2 ) .

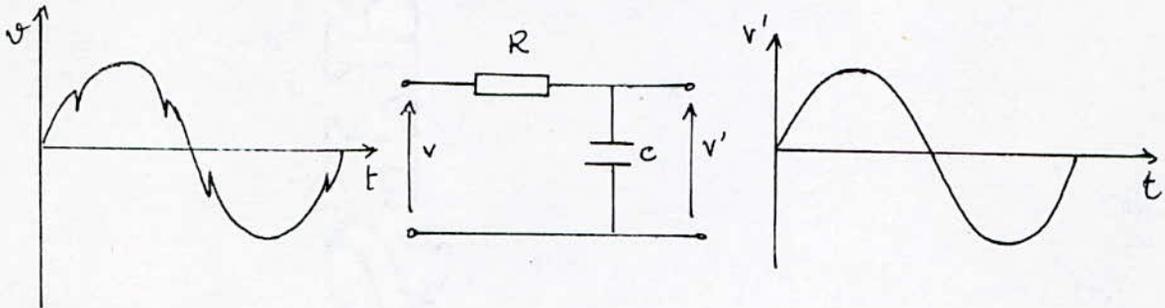


Figure 2 : Schéma du filtre passe-bas R-C

Le filtre est placé à l'entrée du circuit de puissance, la tension ainsi filtrée sera utilisée pour la commande (voir figure 2 ) .

### 1-b) - Déphaseur

Le filtre ainsi que le transformateur provoquent un déphasage entre la tension filtrée et la tension d'alimentation du circuit de puissance qu'il faut compenser. Pour cela, nous utilisons un circuit déphaseur.

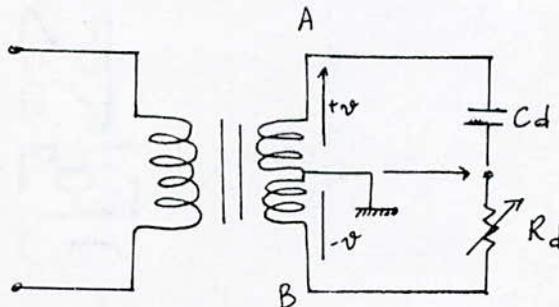


Figure 3 : Schéma du circuit déphaseur

Un transformateur à point milieu alimente un circuit Rd Cd série. Le déphasage de la tension v1 par rapport à la tension d'alimentation est fonction de Rd et Cd, son amplitude est constante et égale à v (voir figure 3 ) .

Le déphaseur compense le déphasage provoqué par le transformateur et le filtre (voir figure 4 ) .

Le dimensionnement du déphaseur se fait tel que :

$$Tg(\varphi/2) = R_d C_d W$$

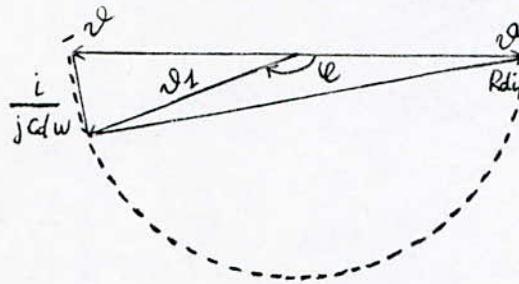


Figure 4 : Diagramme vectoriel du circuit déphaseur

2- Générateur de Rampe : ( voir figure 5 )

L'angle de retard à l'amorçage est obtenu par la superposition de tensions : la première qui sert de référence ( U<sub>r</sub> ) a la forme d'une dent de scie; la seconde est la tension de commande continue ( U<sub>c</sub> ).

L'angle d'amorçage est lié à la tension de commande par la relation :

$$\alpha = K \frac{U_c}{U_{cm}}$$

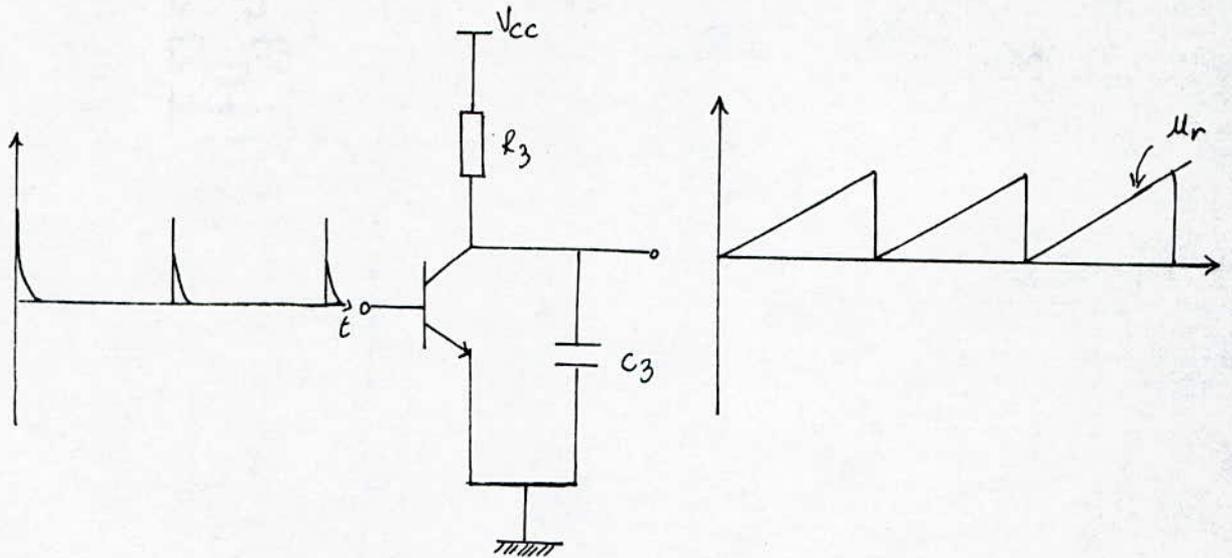


Figure 5 : Schéma de circuit du générateur de Rampe

Le dimensionnement est fait de telle manière à ce que R3 et C3 remplissent la condition suivante :

$$\tau = R3 C3 \quad \text{avec} \quad \tau > T/2$$

$$T = 20 \text{ ms} \implies \tau = R3 C3 > 20/2$$

$$\implies \boxed{\tau = R3 C3 > 10 \text{ ms}}$$

Le transistor utilisé est un 2 N 2222

afin d'aboutir à ce type de signal, il est nécessaire de passer par différentes étapes.

2-a) Comparateur : ( voir figure 6 )

Le signal de sortie du déphaseur est comparé à la masse. Un amplificateur opérationnel "  $\mu$ A741" assure cette fonction et délivre en sortie un signal carré.

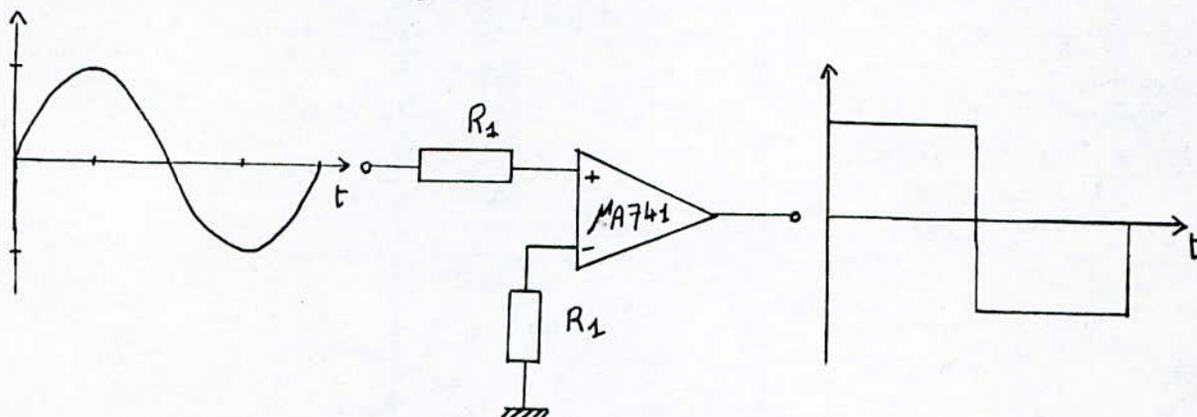


Figure 6 : Schéma du circuit de comparaison

2-b) Dérivateur : ( voir figure 7 )

Ce circuit transforme le crénneau de l'étage précédent en impulsions.

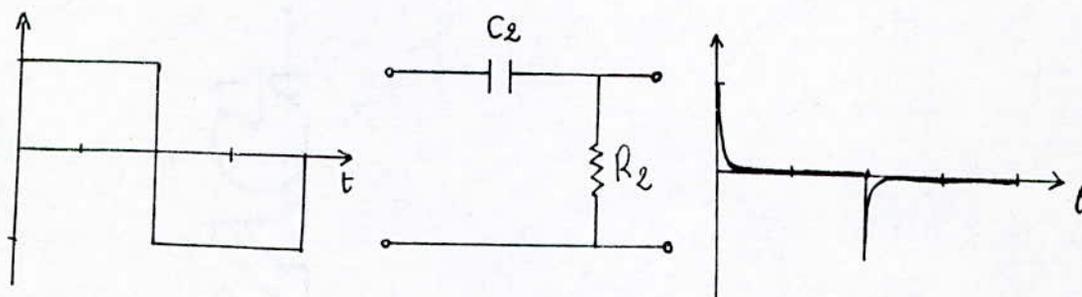


Figure 7 : Schéma du circuit dérivateur

Pour que les impulsions soient suffisamment "pointues", le condensateur C2 doit se décharger complètement. Pour cela, nous choisissons  $\tau \ll T/2$ , avec  $T = 20$  ms.

2-c) Redresseur à Ampli-Opérationnel : ( voir figure 8 )

Afin de commander le thyristor toutes les demi-périodes, nous procédons à un redressement des impulsions qui attaquent la base du transistor constituant le générateur de Rampe.

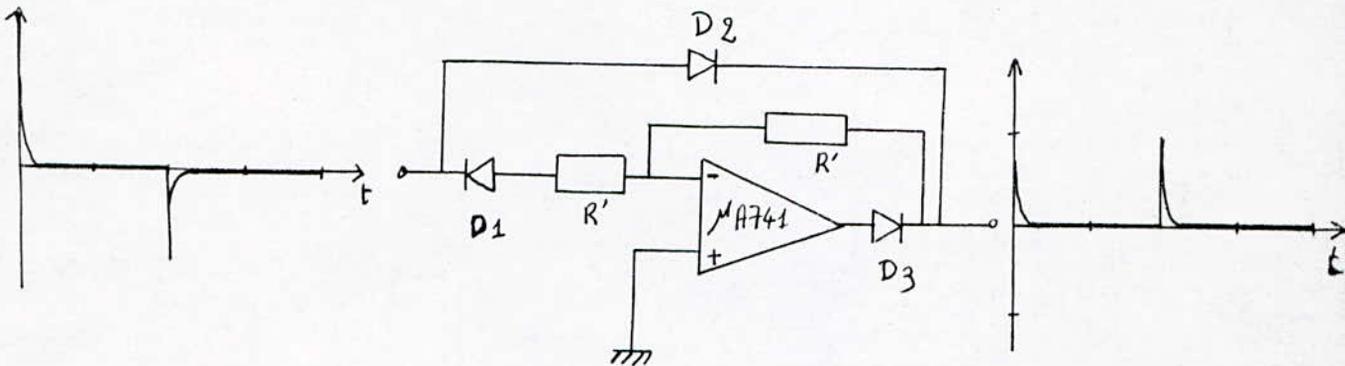


Figure 8 : Schéma du circuit du Redresseur à Ampli-Opérationnel

Les impulsions ainsi obtenues sont prêtes à attaquer la base du transistor du générateur de Rampe .

3- Comparaison : ( voir figure 9 )

Le créneau est obtenu en comparant la dent de scie à un signal de commande continu (  $U_c$  ).

Suivant la variation de  $U_c$ , nous déterminons la largeur du créneau.

A noter que, le rôle essentiel de la comparaison, est de fixer l'angle du retard à l'amorçage  $\alpha$  .

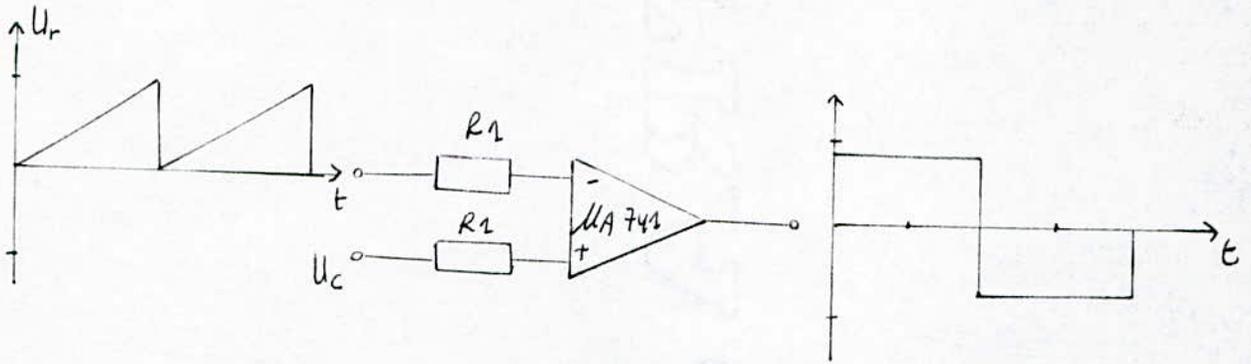


Figure 9 : Schéma du circuit du compareur

4- Multivibrateur ASTABLE : ( voir figure 10 )

Avant d'attaquer l'amplificateur, il nous faut un train d'impulsion de fréquence élevée.

Le multivibrateur ASTABLE nous fournit cette fréquence, le temps de basculement étant très court.

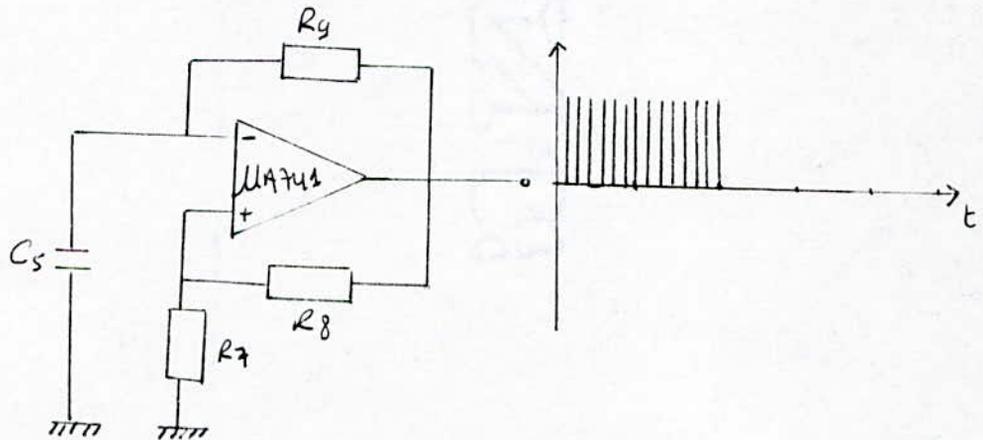


Figure 10 : Schéma du circuit multivibrateur ASTABLE

La fréquence de l'ASTABLE est de 10 K Hz. La formule donnant la période étant :

$$T = 2 R_9 C_5 \text{Lag} [ 1 + 2 R_7/R_8 ]$$

5- Multiplicateur : ( voir figure 11 )

Il permet de multiplier le signal délivré par l'ASTABLE et le crénneau délivré par le comparateur afin d'obtenir un train d'impulsion.

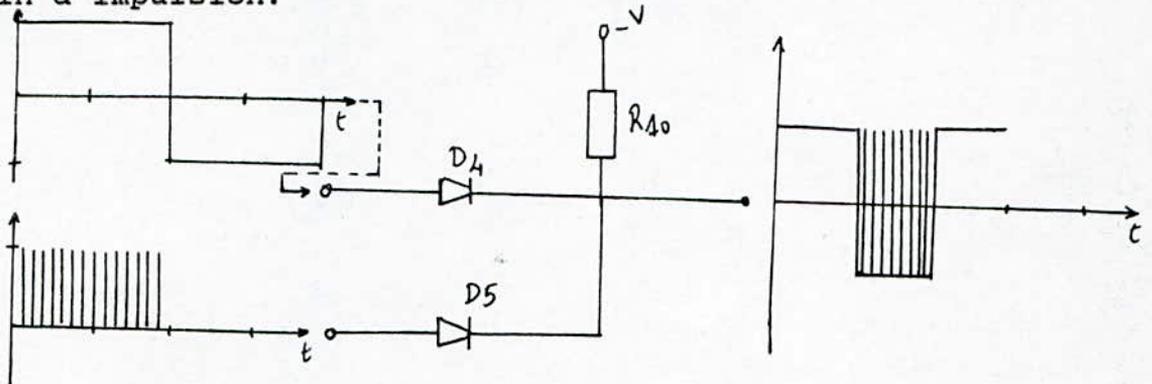


Figure 11 : Schéma du circuit multiplicateur

6- Amplificateur de courant : ( voir figure 12 )

Le signal délivré par le dispositif de multiplication a une amplitude suffisante, mais sa puissance est faible car l'ampli-opérationnel ne peut délivrer un courant d'intensité suffisante pour amorcer le thyristor d'où la nécessité d'amplifier ce courant.

Les transistors, T1 et T2, utilisés sont des 2 N 2219

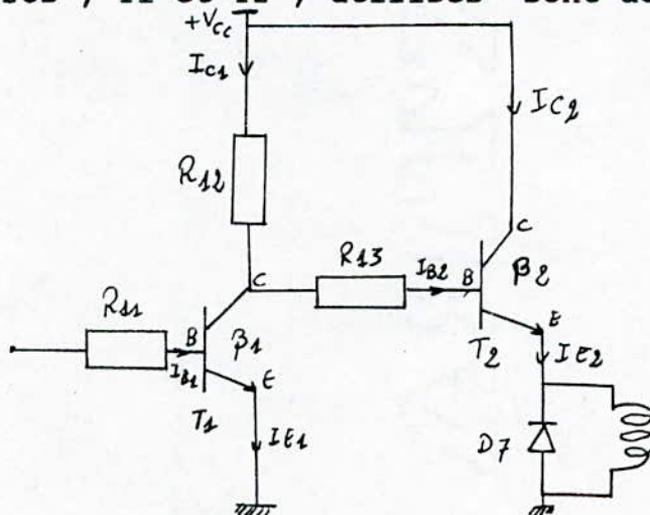


Figure 12 : Schéma du circuit Amplificateur de courant

T2 saturé ----->  $I_{c2} = I_{cmax}$

$$I_{B2} = I_{c2} / \beta_2$$

$$I_{B2} = \frac{V_{cc}}{R_{12} + R_{13}}$$

T2 bloqué -----> T1 saturé ;  $I_{c1} = I_{c1max}$

$$I_{c1} = \frac{V_{cc}}{R_{12}} = \beta_1 I_{B1}$$

$$I_{B1} = V' / R_{11}$$

#### 7- Transformateur d'impulsion : ( voir figure 13 )

Après amplification, l'impulsion devient susceptible d'amorçage le thyristor, cela à travers un transformateur d'impulsion permettant une séparation galvanique entre le circuit de commande et le circuit de puissance.

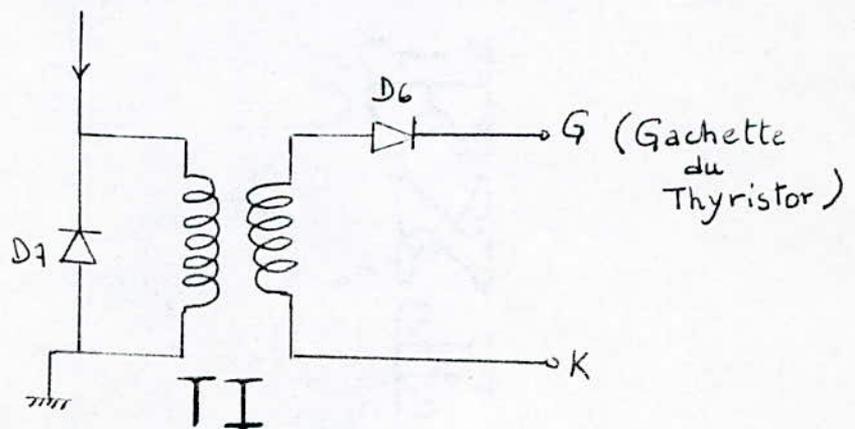
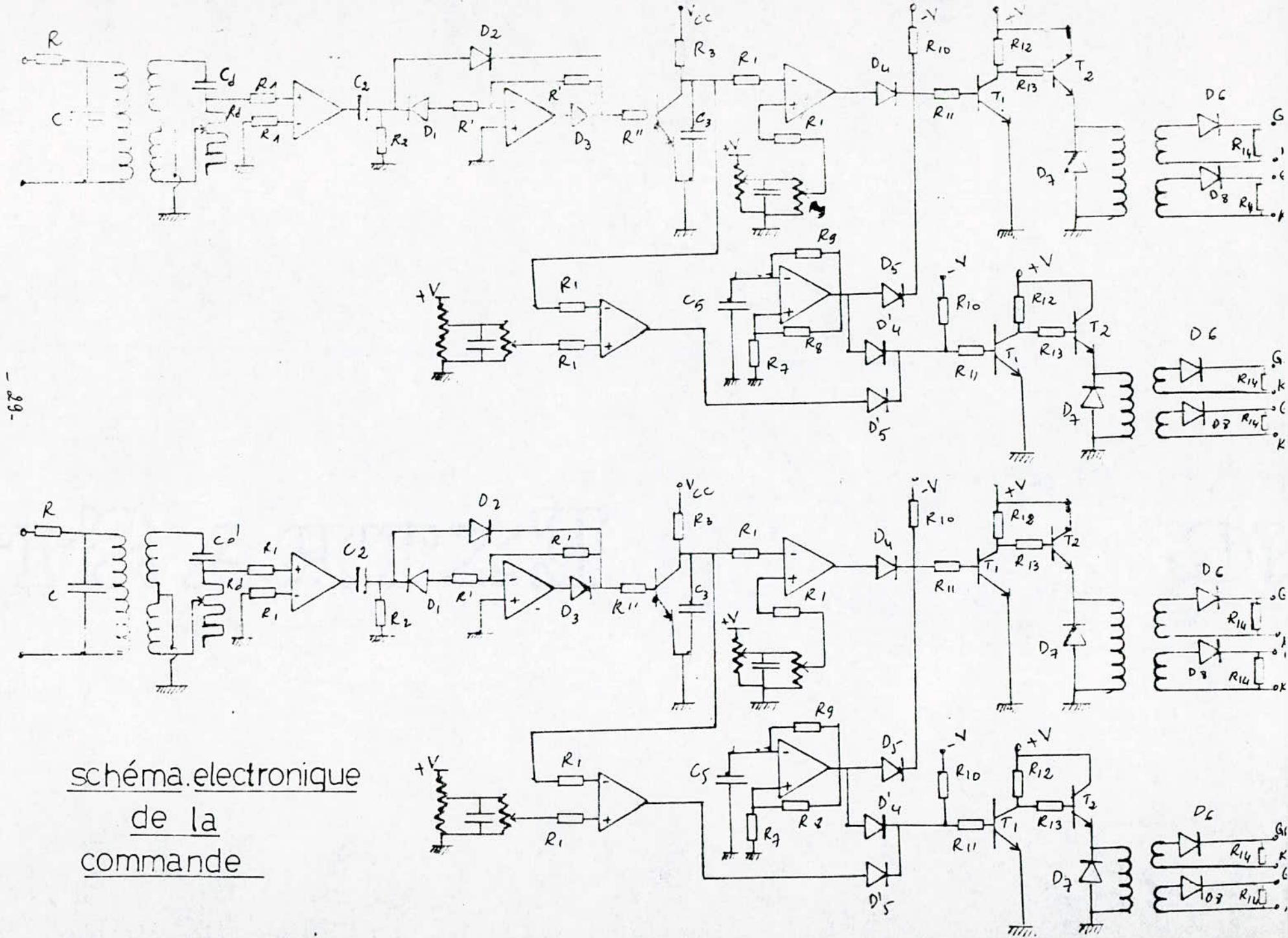


Figure 13 : Schéma du transformateur d'impulsion



- 89 -

schéma électronique  
de la  
commande

## B-ESSAIS EXPERIMENTAUX

Nous avons relevé les variations de P, Q, Ud et N en fonction du courant de charge pour différentes valeurs de  $\alpha$ , et ceci pour une charge active.

Ces essais ont été effectués pour chaque type de convertisseur.

1) Un pont avec  $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha =$  variable ( voir figure 14 )

Le fonctionnement de ce pont se fait pour  $\alpha$  variable. Nous relevons en fonction du courant de charge P, Q, Ud et N .

1-a) Caractéristique P(I) pour différents  $\alpha$  :  
( voir figure 14-1 )

Nous remarquons qu' à courant de charge donné, la puissance active augmente quand  $\alpha$  diminue, ceci peut être justifié par la relation qui lie P à  $\alpha$  :  $P = S_0 \cos \alpha$  .

Pour un angle  $\alpha$  fixé, l'augmentation du courant s'accompagne d'une augmentation de puissance active .

1-b) Caractéristique Q(I) pour différents  $\alpha$  :  
( voir figure 14-2 )

Plus l'angle augmente, plus la puissance réactive augmente à courant de charge constant.

La puissance apparente restant constante :  $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$  .

Si P diminue quand S doit rester constante alors Q augmente pour un courant donné.

Pour un angle  $\alpha$  fixé, l'augmentation du courant de charge entraîne l'augmentation de la puissance réactive.

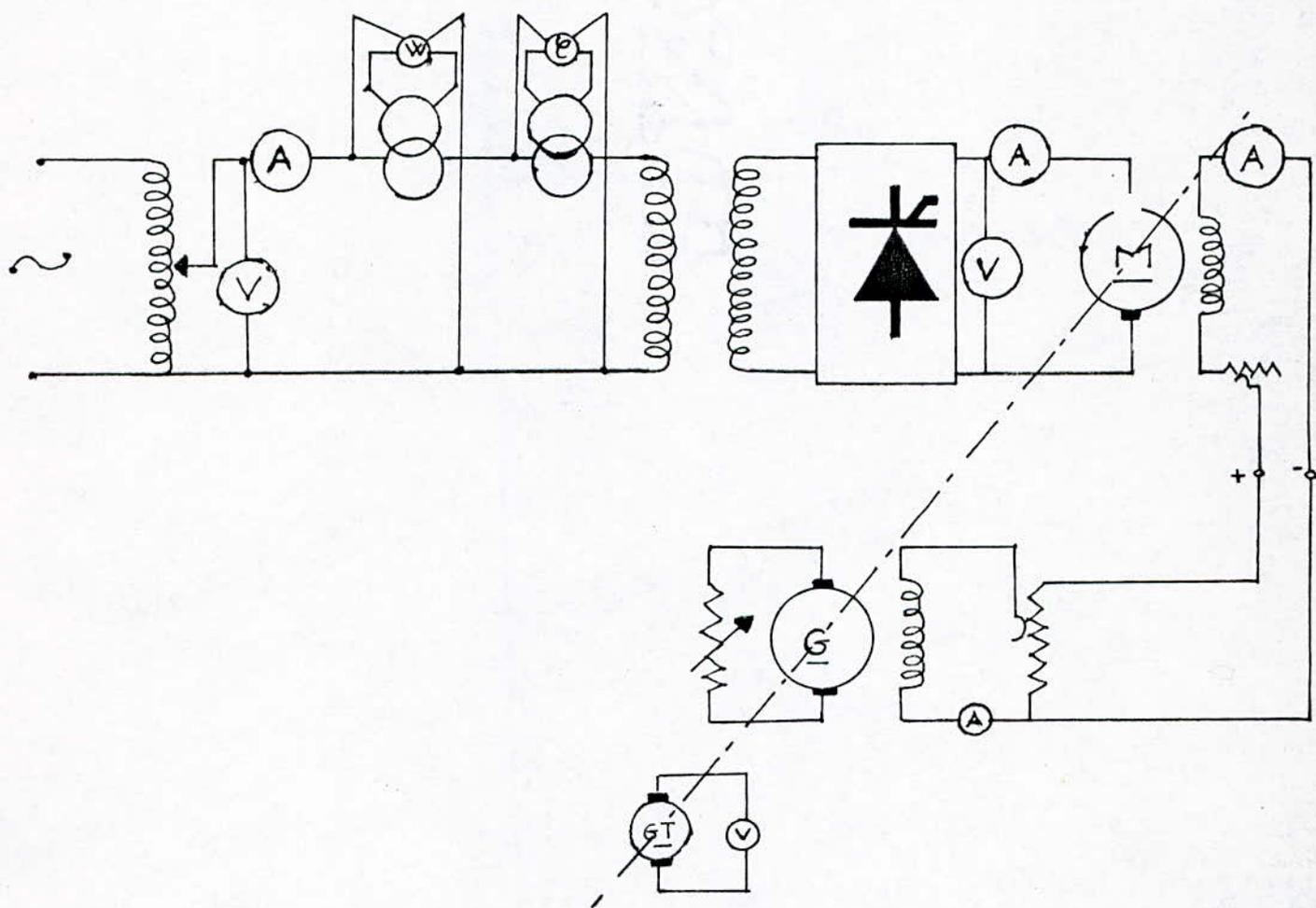


FIG 14

SCHEMA DU MONTAGE

d'un pont sur charge active

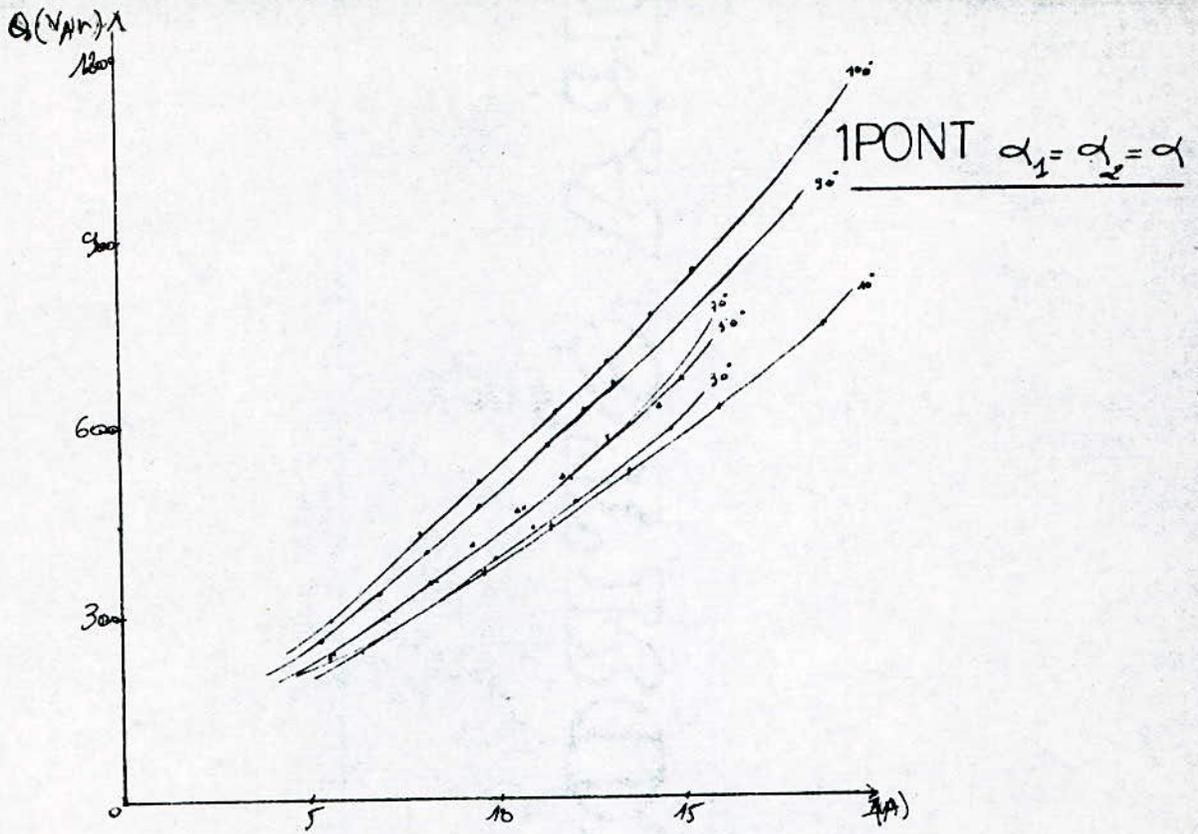


FIG. 14.2. Caracteristici  $Q = f(I)$

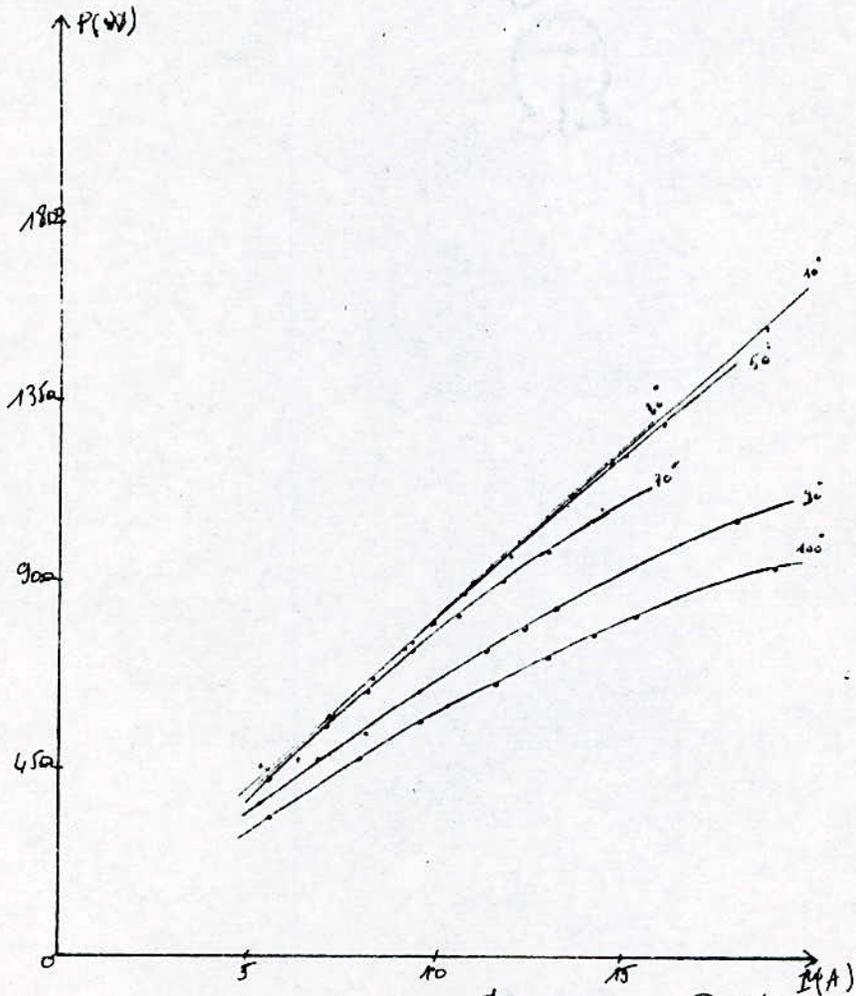


FIG. 14.1. Caracteristici  $P = f(I)$

1-c) Caractéristique N(I) pour différents  $\alpha$  :  
 ( voir figure 14-3 )

A  $\alpha$  donné, la vitesse diminue quand le courant de charge augmente :

$$U_d = E + RI = K N n \dot{\phi} + RI$$

$$N = \frac{U_d - RI}{K n \dot{\phi}}$$

$\dot{\phi}$  : flux constant.

A un courant donné, la vitesse diminue également quand  $\alpha$  augmente .

1-d ) Caractéristique  $U_d(I)$  pour différents  $\alpha$  :  
 ( voir figure 14-4 )

La chute de tension augmente quand  $\alpha$  augmente, à courant donné :  $U_d = U_{d0} \cos \alpha$  .

Si nous fixons  $\alpha$ , en parcourant une courbe, quand le courant augmente la tension diminue.

Les chutes de tension proviennent de :

1-d-\*) Chute de tension ohmique :  $\Delta U_r$

Elle est due à la résistance équivalente du réseau d'alimentation .

1-d-\*\*) Chute de tension :  $\Delta U_d$   
directe

C'est la différence de potentiel aux bornes des thyristors passants. Elle est égale à 1v par thyristor .

En définitive, la tension redressée moyenne a pour expression :

$$U_d = U_{d0} \cos \alpha - \Delta U_r - \Delta U_d$$

$\Delta U_r$  est proportionnelle au courant. Quand I augmente,  $\Delta U_r$  augmente d'où  $U_d$  diminue pour  $\alpha$  fixé .

$N(k/min)$   
1360

1PONT  $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$

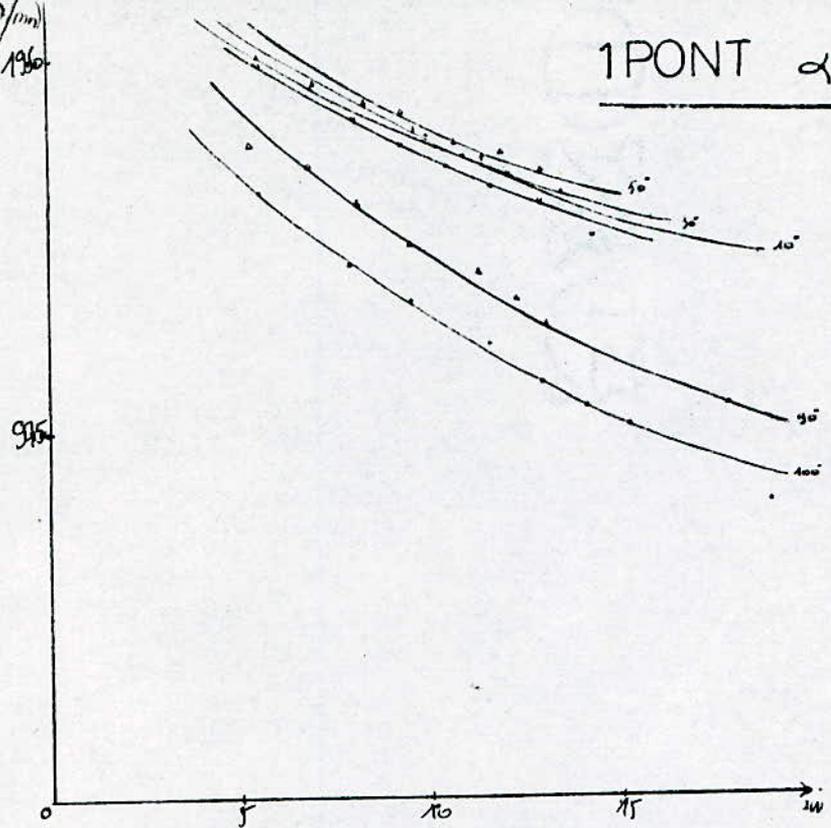


FIG 14-3 caractéristique  $N = f(I)$

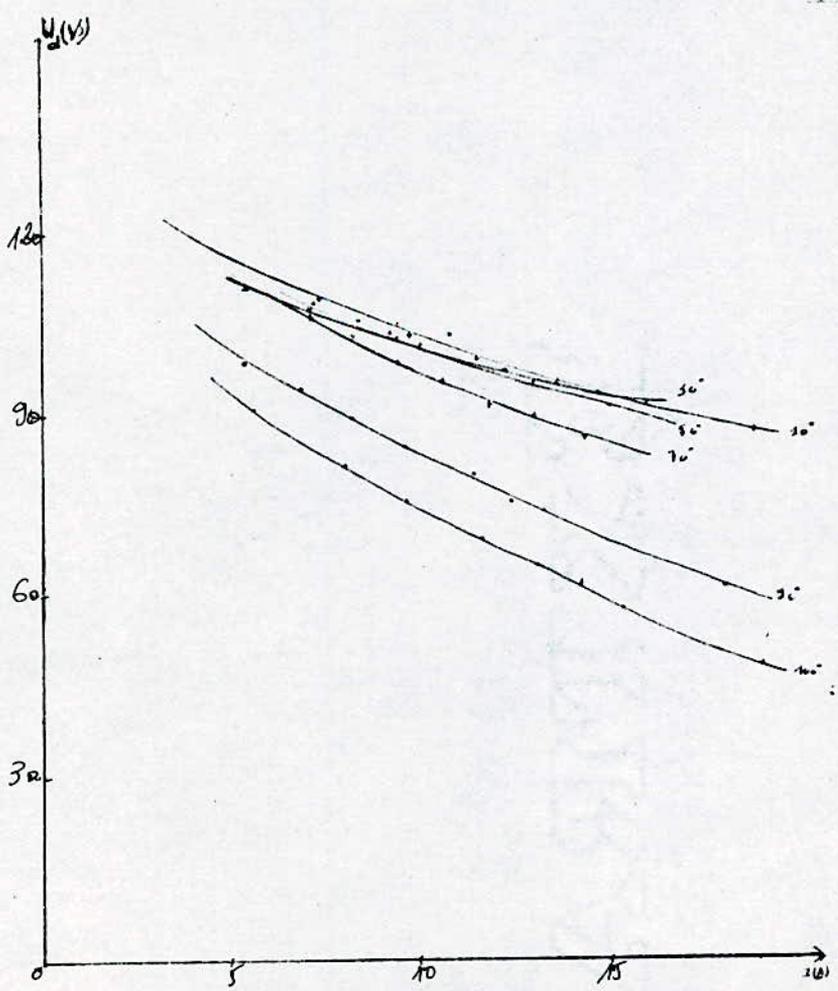


FIG 14-4 caractéristique  $N_d = f(I)$

2) Un pont avec  $\alpha_1 \neq \alpha_2$  ,  $\alpha_1 =$  variable :  
( voir figure 14 )

Pour le fonctionnement de ce pont, nous divisons le pont en deux ( 02 ) étages de telle manière à ce que l'étage 1 sera commandé par l'angle  $\alpha_1$ , et l'étage 2 par l'angle  $\alpha_2$ .

Pour ce faire, nous fixons l'angle  $\alpha_2$  à  $10^\circ$ , alors que  $\alpha_1$  sera variable de  $10^\circ$  à  $100^\circ$ . Nous relevons en fonction du courant de charge P, Q, Ud et N .

2-a) Caractéristique P(I) pour différents  $\alpha_1$  :  
(voir figure 14-5)

La puissance active absorbée par le système est :

$$P = Ud I \cos \varphi$$

$$\text{Or } \varphi = \alpha_1 \implies P = Ud I \cos \alpha_1$$

Pour un même angle  $\alpha_1$ , la puissance active est proportionnelle au produit Ud I, la caractéristique P(I) aura donc l'allure d'un arc de parabole. Pour un même courant, si  $\alpha_1$  augmente, P diminue car  $\cos \alpha_1$  et donc Ud diminuent.

2-b) Caractéristique Q(I) pour différents  $\alpha_1$  :  
(voir figure 14-6)

La puissance réactive absorbée par le système a pour expression :

$$Q = Ud I \sin \alpha_1$$

Elle aura donc la même allure que P(I) pour  $\alpha_1$  donné, mais, en fixant un courant, Q(  $\alpha_1$  ) augmente quand  $\alpha_1$  augmente.

2-c) Caractéristique N(I) pour différents  $\alpha_1$  :  
(voir figure 14-7)

Moteur compensé à excitation séparée .

$$E = K N n \phi = K' N ; K' = K n \phi \text{ avec } \phi = \text{constante}$$

$$Ud = E + R I$$

$$N = ( Ud - R I ) / K'$$

La caractéristique N(I) aura donc une pente négative et pour un même courant, N diminue si  $\alpha_1$  augmente.

1 PONT  $\alpha_1 \neq \alpha_2$

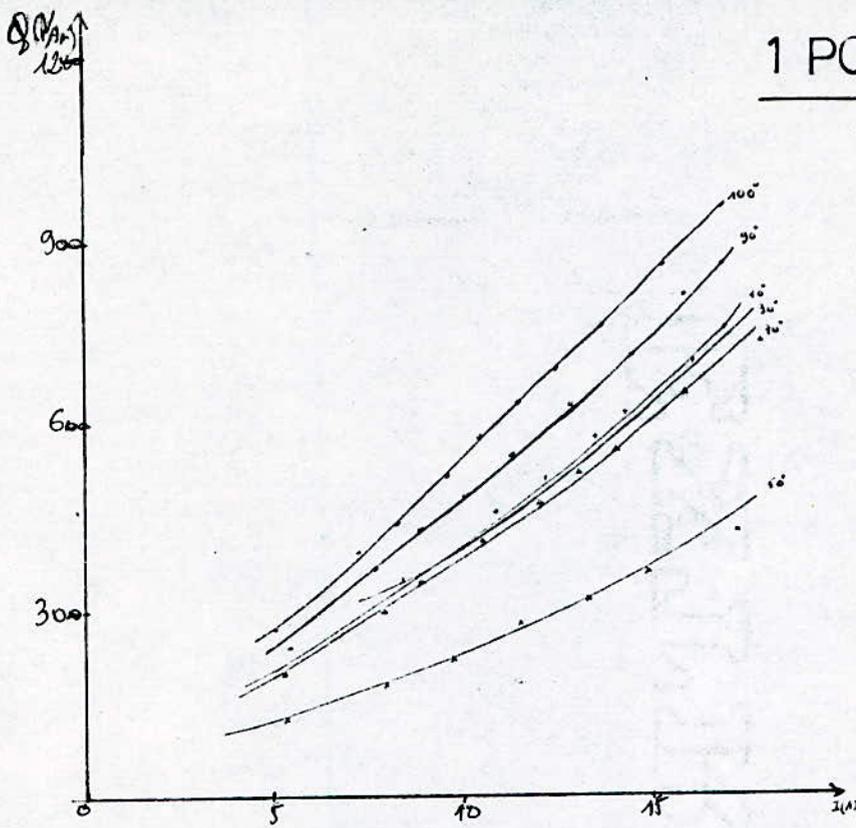


FIG-14.6 caractéristique  $Q = f(I)$

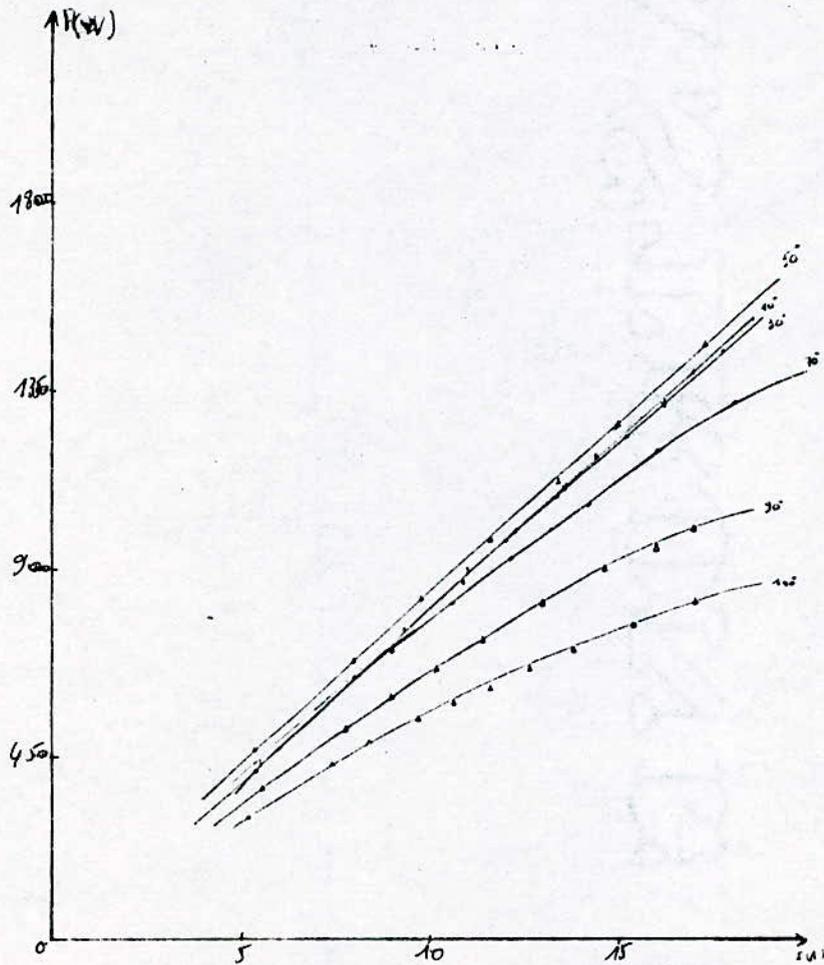


FIG 14.5 caractéristique  $P = f(I)$

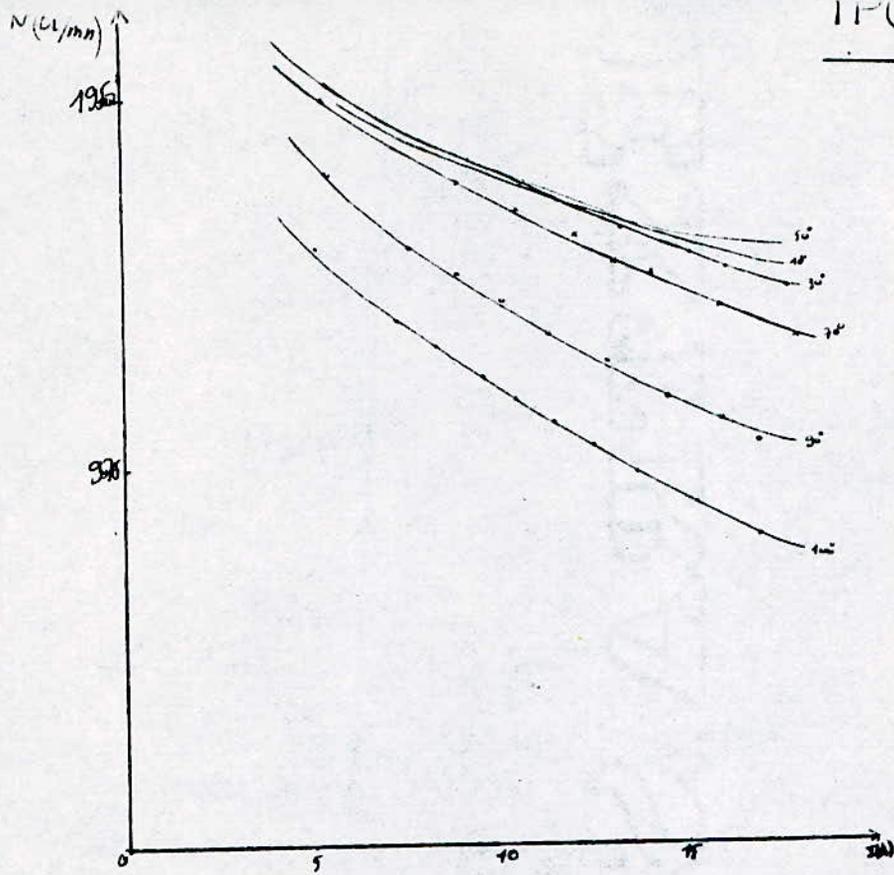


FIG 14-7 caractéristique  $N = f(I)$

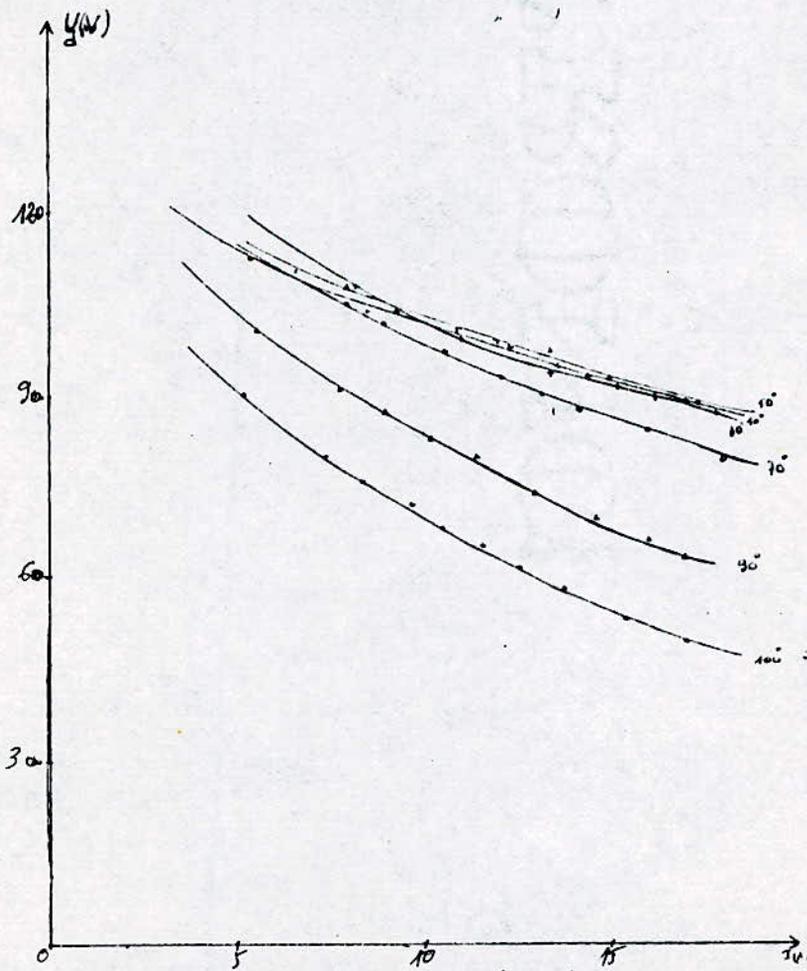


FIG 14-8 caractéristique  $U_2 = f(I)$

2-d) Caractéristique  $U_d(I)$  pour différents  $\alpha_1$  :  
(voir figure 14-8 )

D'après la formule donnant l'expression de  $U_d$  en fonction des différentes chutes de tension :

$$U_d = U_{d0} \cos \alpha_1 - \Delta U_r - \Delta U_d$$

A  $\alpha_1$  donné,  $U_{d0} \cos \alpha_1$  est constant;  $\Delta U_d$  est constant.  
 $U_d$  dépend de  $\Delta U_r$  qui, elle, est proportionnelle au courant.

Si  $I$  augmente,  $\Delta U_r$  augmente aussi et  $U_d$  diminue.

A  $I$  donné :

$\Delta U_r$  est constant;  $\Delta U_d$  est toujours constant.

$U_d$  dépend de  $\cos \alpha_1$  .

Si  $\alpha_1$  augmente, ceci entraîne la diminution de  $\cos \alpha_1$  et donc la tension .

3) Deux ponts mis en série avec  $\alpha_1 \neq \alpha_2$  :  
( voir figure 15 )

Cette fois-ci, en mettant deux (02) ponts en série, l'angle d'amorçage  $\alpha_1$  commande le premier pont alors que l'angle d'amorçage  $\alpha_2$  commande le second pont.

Comme précédemment, l'angle  $\alpha_1$  est variable de  $10^\circ$  à  $100^\circ$  alors que  $\alpha_2$  est maintenu égale à  $10^\circ$  . Nous relevons en fonction du courant de charge  $P, Q, U_d$  et  $N$  .

3-a) Caractéristique  $P(I)$  pour différents  $\alpha_1$  :  
( voir figure 15-1 )

A courant de charge donné, la puissance active diminue quand  $\alpha_1$  augmente, les résultats sont les mêmes que dans le cas où nous avons un seul pont.

Si nous fixons  $\alpha_1$  et en parcourant une courbe, nous voyons que la puissance active augmente en fonction du courant de charge.

Nous remarquons une linéarité pour les faibles valeurs du courant de charge, qui disparaît au fur et à mesure que le courant augmente à  $\alpha_1$  constant, ceci est dû au fait que  $P$  soit proportionnelle au produit  $U_d I$  et quand  $I$  augmente le produit  $U_d I$  augmente mais lentement.

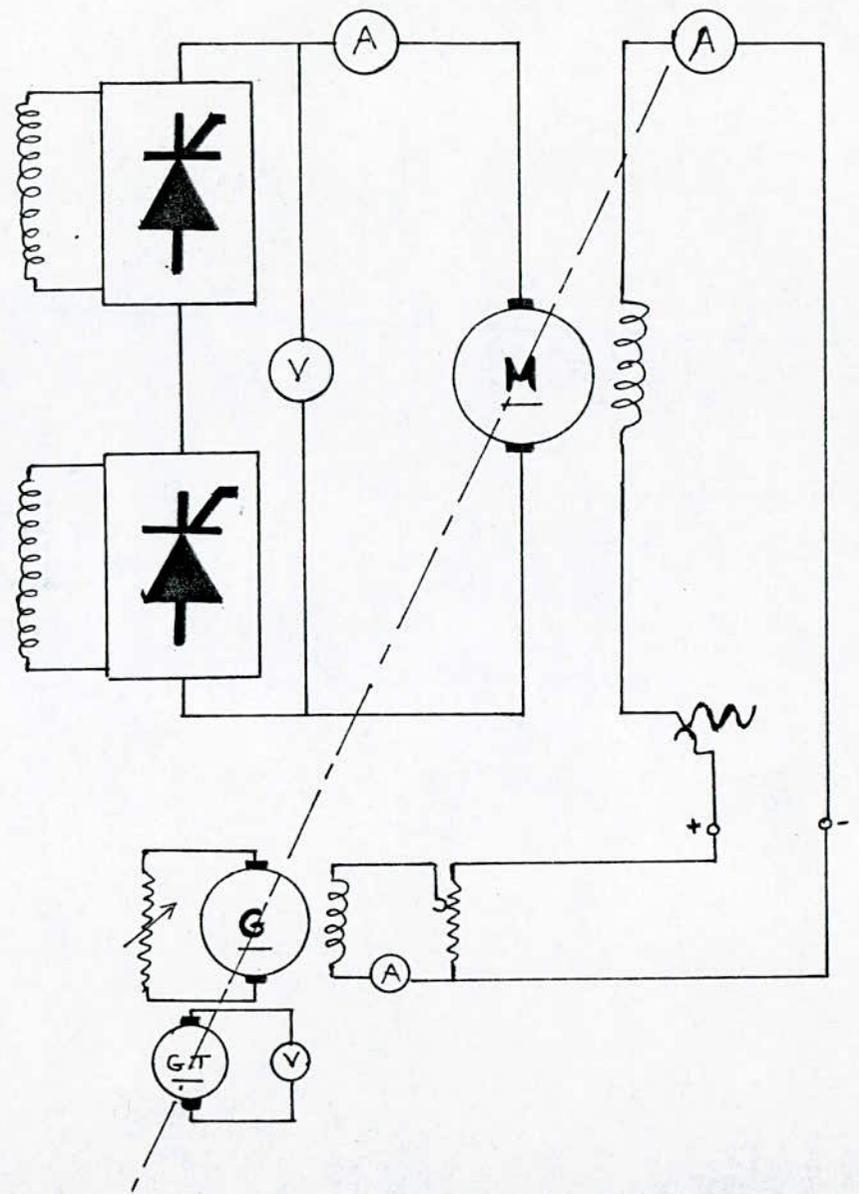
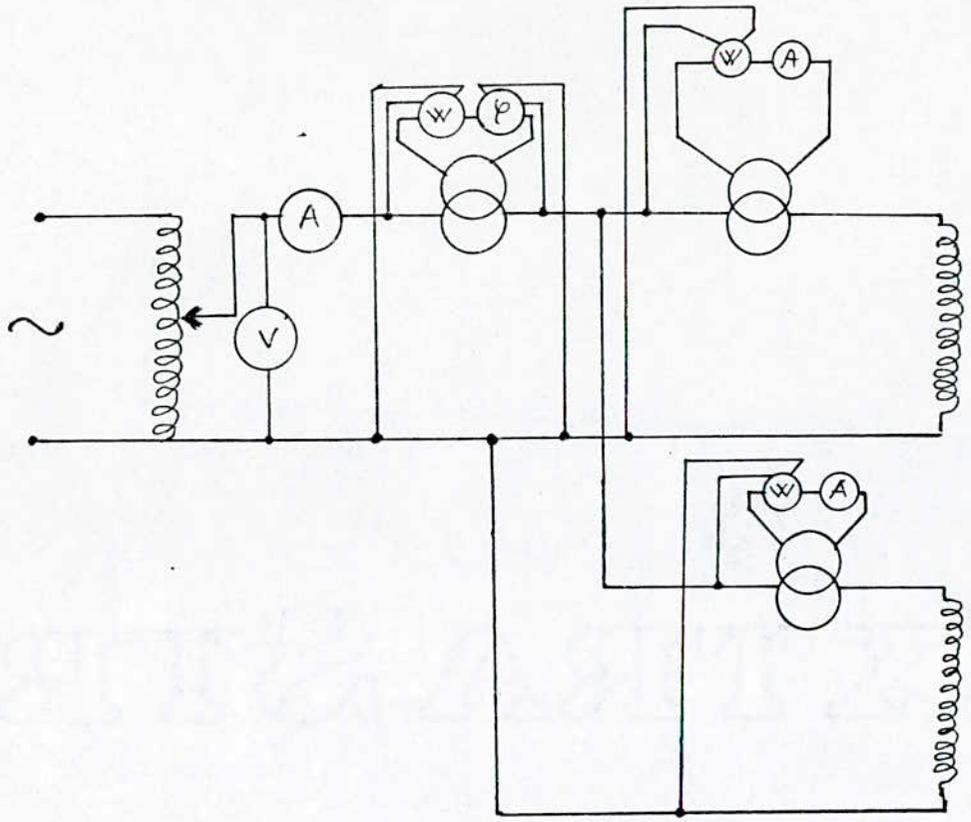


FIG 15

DEUX PONTS EN SERIE

charge active

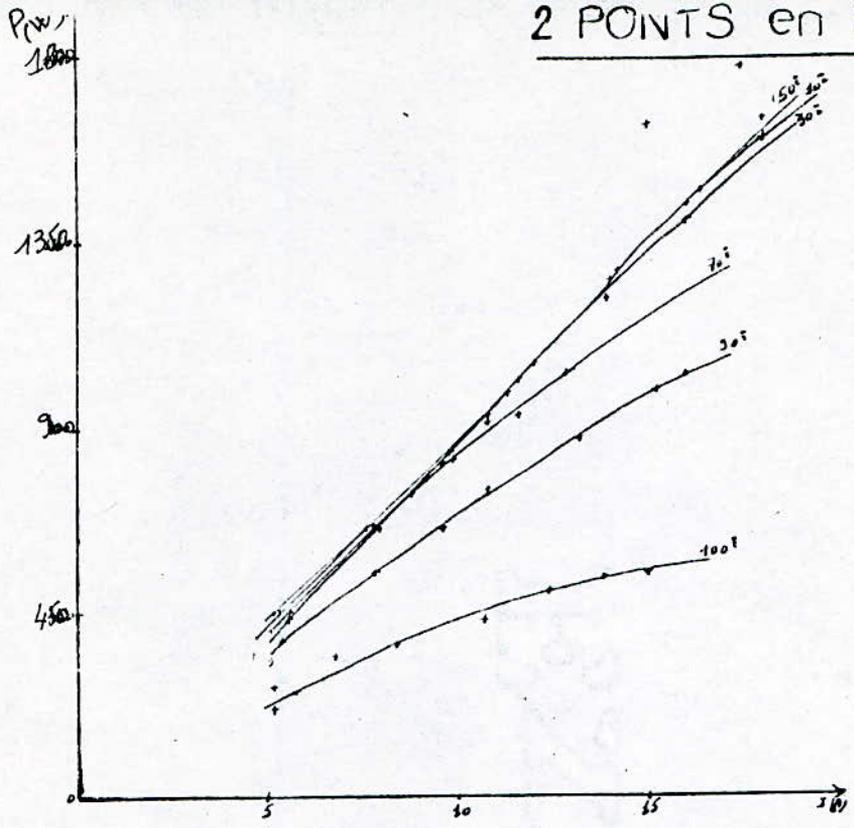


FIG 15.1 caractéristique  $P = f(I)$

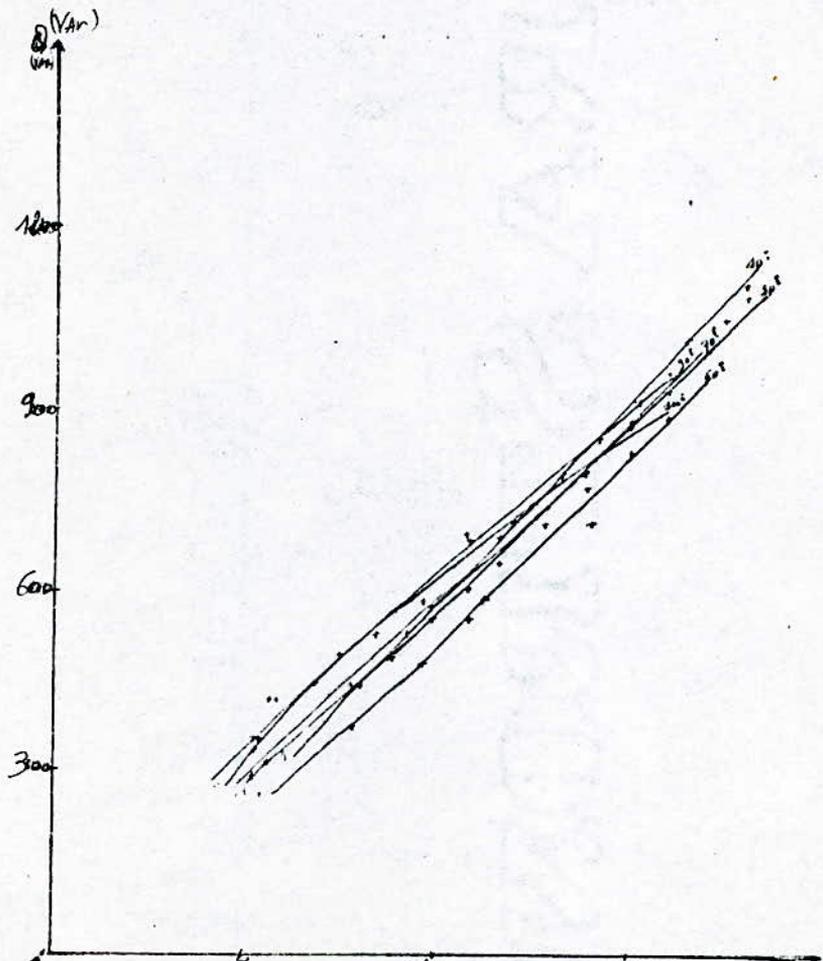


FIG 15.2 caractéristique  $\phi = f(I)$

3-b) Caractéristique Q(I) pour différents  $\alpha_1$  :  
( voir figure 15-2 )

Les courbes de l'énergie réactive en fonction du courant de charge ont la même allure que celles obtenues pour un seul pont.

3-c) Caractéristique Ud(I) pour différents  $\alpha_1$  :  
( voir figure 15-3 )

La tension est liée à l'angle  $\alpha_1$  par un  $\cos \alpha_1$  qui diminue quand  $\alpha_1$  augmente à courant constant.

En tenant compte de toutes les chutes de tension possibles qui augmentent en fonction du courant, pour  $\alpha_1$  fixé, la tension redressée diminue quand le courant augmente.

3-d) Caractéristique N(I) pour différents  $\alpha_1$  :  
(voir figure 15-4 )

En fixant  $\alpha_1$  et en parcourant une courbe, la vitesse N diminue quand le courant de charge augmente.

A courant donné, quand  $\alpha_1$  augmente, la vitesse diminue, car N est proportionnelle à la tension qui, elle, diminue quand  $\alpha_1$  augmente.

$$N = \frac{Ud - RI}{Kn\phi}$$

4) Deux (02) ponts en serie avec  $\alpha_1 \neq \alpha_2 \neq \alpha_3 \neq \alpha_4$  :  
(voir figure 15)

Cette fois-ci, en mettant deux (02) ponts en série, nous divisons chaque pont en deux étages, cela revient à dire que nous avons quatre (04) étages qui seront commandés de la manière suivante :

Nous fixons  $\alpha_2, \alpha_3$  et  $\alpha_4$  à  $10^\circ$  puis nous faisons varier  $\alpha_1$  de  $10^\circ$  à  $100^\circ$ .

Nous relevons en fonction du courant de charge P, Q, Ud et N .

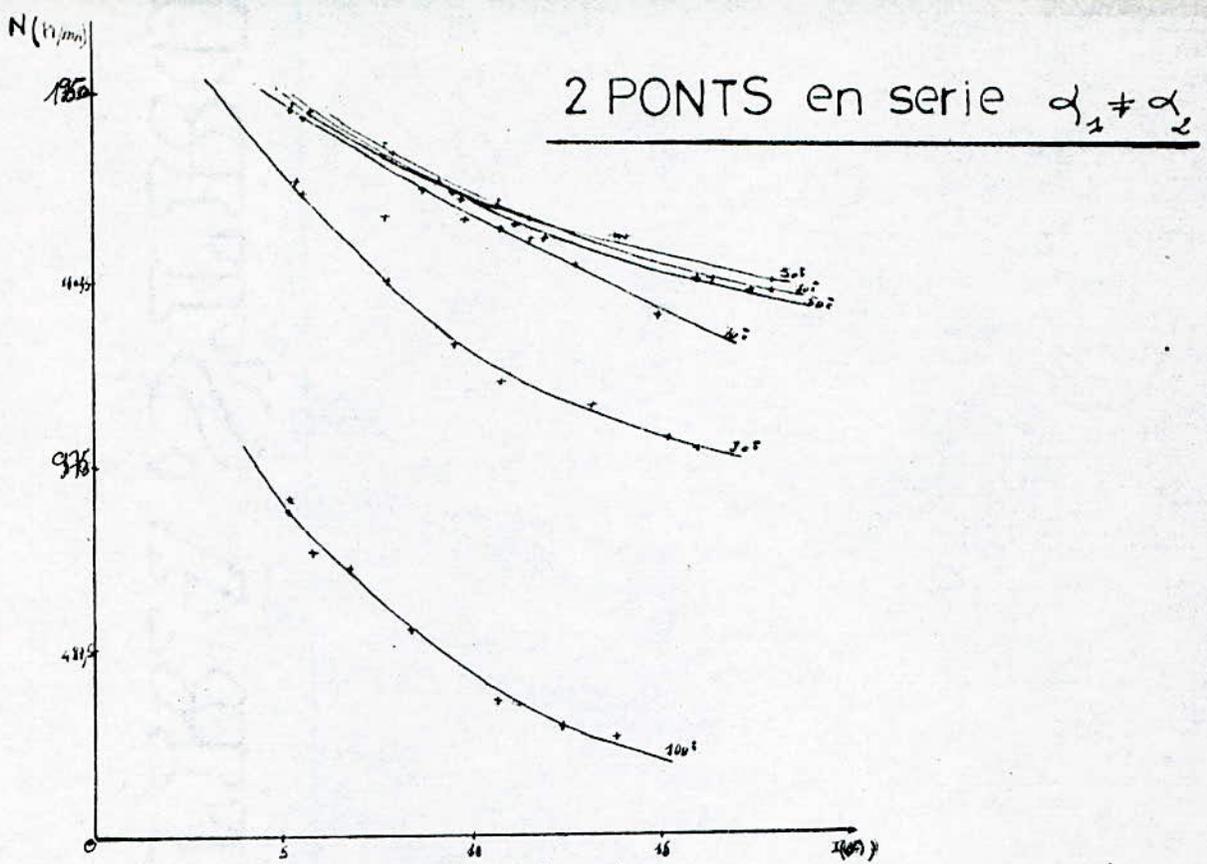


FIG 15.4, caractéristique  $N=f(I)$

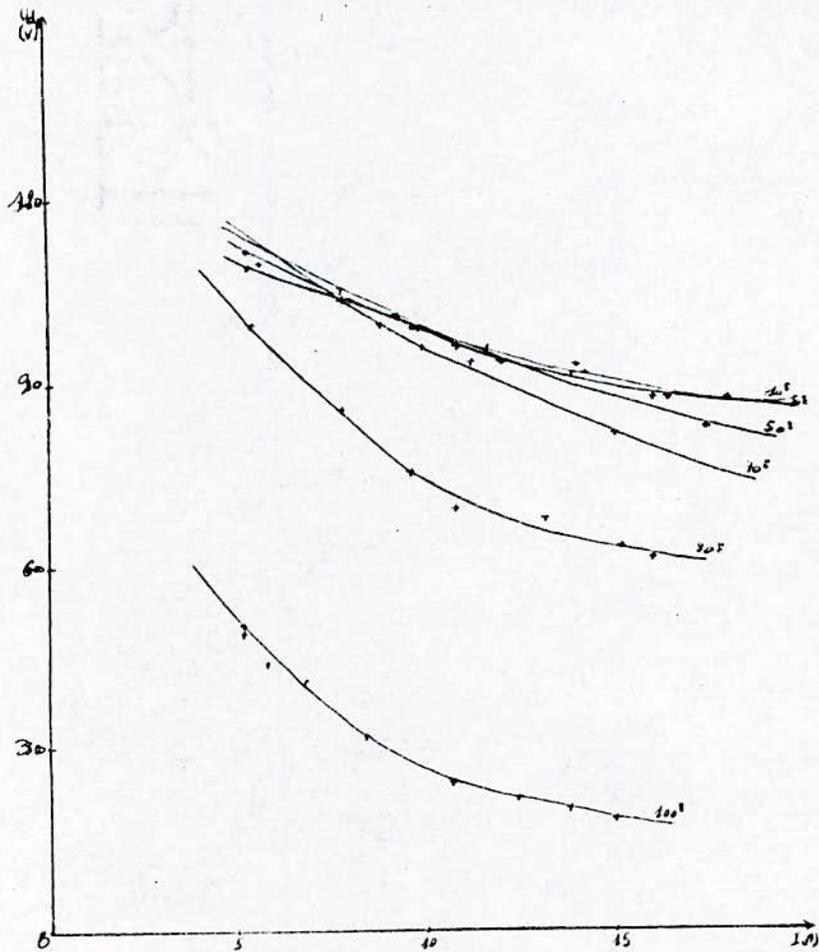


FIG 15.3 caractéristique  $U_d=f(I)$

4-a) Caractéristique P(I) pour différents  $\alpha_1$  :  
( voir figure 15-5 )

A courant fixé, quand  $\alpha_1$  augmente la puissance active appelée diminue, ce qui est vrai puisque la tension diminue.

Si nous fixons  $\alpha_1$ , la courbe décrite montre que la puissance active augmente quand le courant de charge augmente.

4-b) Caractéristique Q(I) pour différents  $\alpha_1$  :  
(voir figure 15-6 )

Nous remarquons que la puissance réactive Q augmente quand  $\alpha_1$  augmente pour un même courant fixé. De même, quand le courant de charge augmente, la puissance réactive augmente également.

4-c) Caractéristique Ud(I) pour différents  $\alpha_1$  :  
( voir figure 15-7 )

L'allure de la tension reste inchangée par rapport au cas précédent. La tension diminue quand  $\alpha_1$  augmente pour un courant fixé. Il en est de même pour le courant quand  $\alpha_1$  est fixé.

4-d) Caractéristique N(I) pour différents  $\alpha_1$  :  
( voir figure 15-8 )

La variation de la vitesse en fonction du courant garde la même allure que celle de la tension en fonction du courant.

En effet, à courant donné, la vitesse est proportionnelle à la tension qui dépend de  $\alpha_1$ .

De même, en fixant  $\alpha_1$ , quand I augmente la vitesse diminue.

$$U_d = E + RI = nKN\dot{\phi} + RI$$

$$N = \frac{U_d - RI}{Kn\dot{\phi}} \quad ; \quad \dot{\phi} = \text{constante}$$

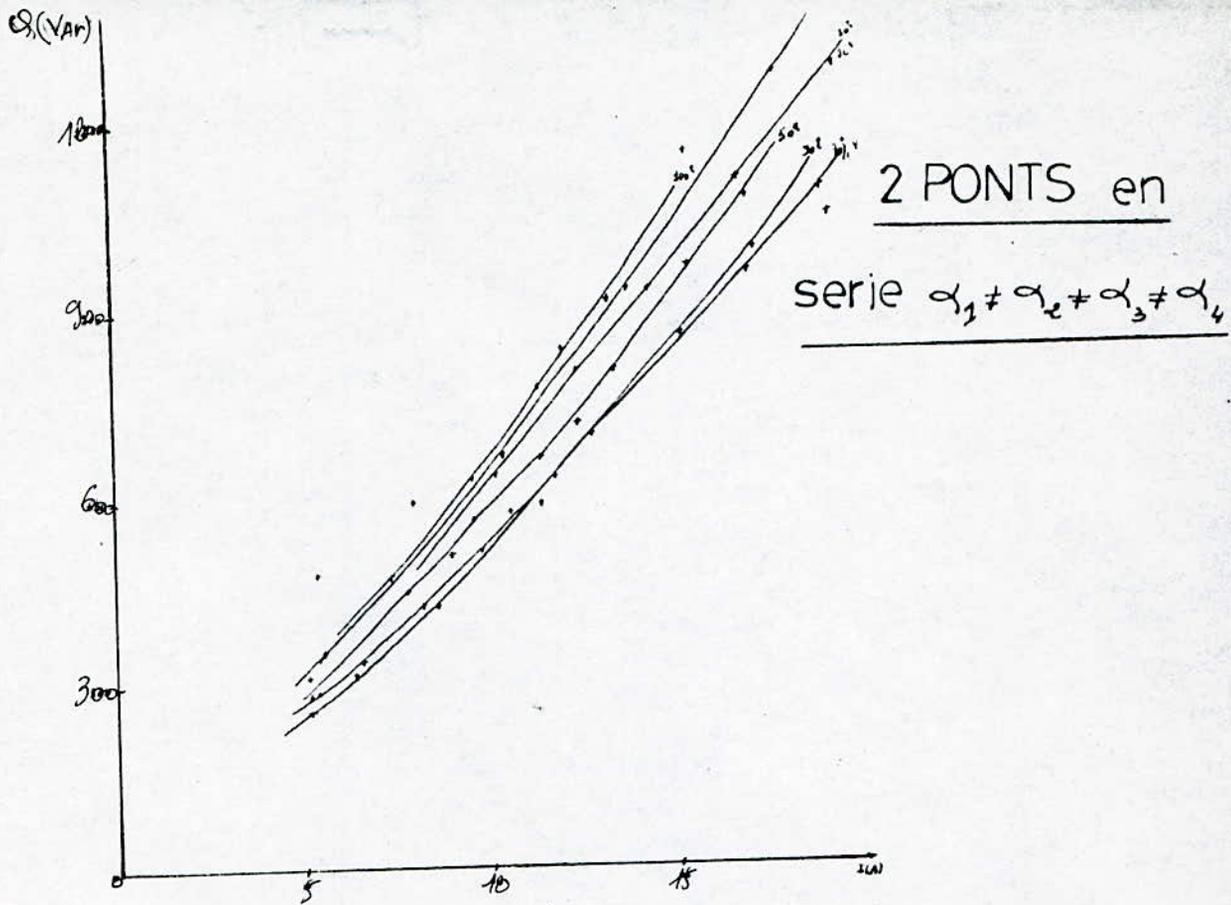
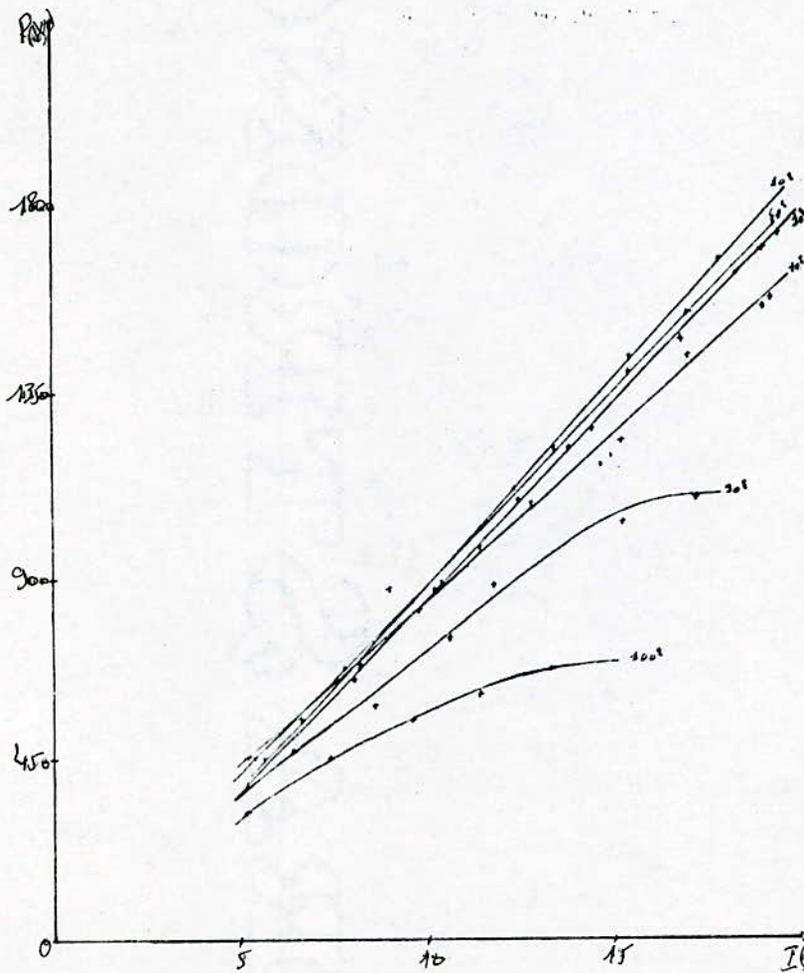


FIG 15-6 caracteristicas  $Q = f(I)$



- 44 -  
FIG 15-5  
caracteristicas  $P = f(I)$

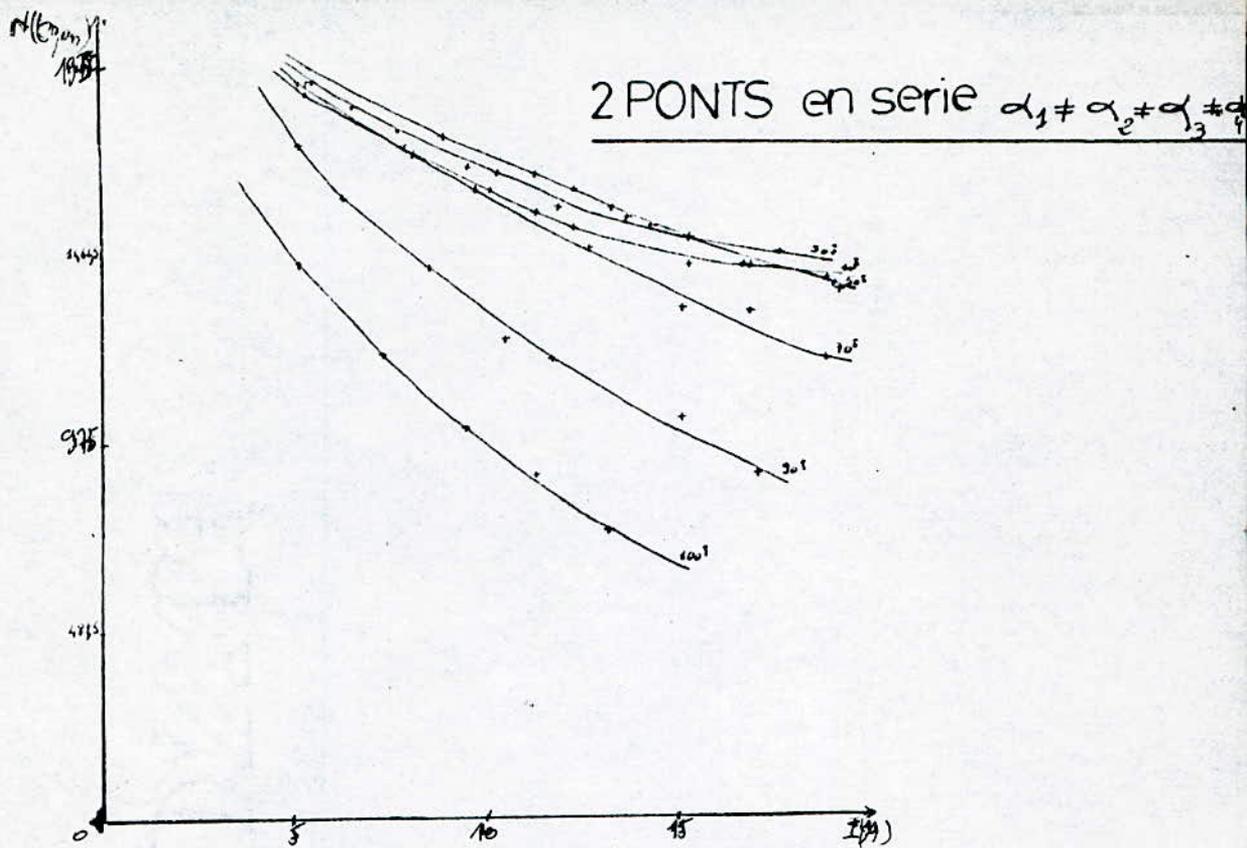


FIG 15-8 - caractéristique  $N = f(I)$

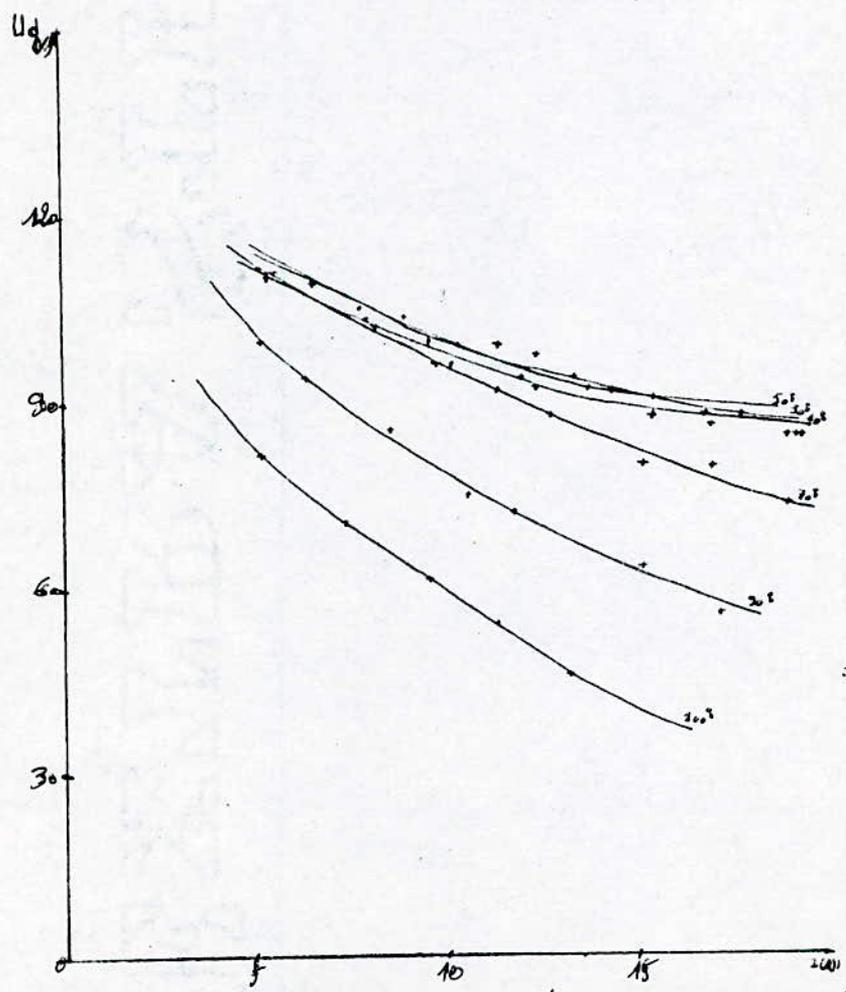


FIG 15-7 - caractéristique  $U_d = f(I)$

C- ETUDE COMPAREE DES FONCTIONNEMENTS  
DES QUATRES CONVERTISSEURS

Etant donné que notre étude porte sur quatre (04) types de montage à commandes différentes, il est donc judicieux de faire une comparaison entre les fonctionnements de ces montages.

Pour cela, nous reportons toutes les courbes, correspondant à un même paramètre ( P, Q, N ou Ud), sur un même graphe en choisissant deux angles  $10^\circ$  et  $90^\circ$  et exploitons ainsi, les résultats obtenus lors de ces essais.

1- Caractéristique de tension Ud(I) : ( voir figure 16 )

Nous remarquons que la chute de tension apparait plus quand l'angle  $\alpha_1$  atteint  $90^\circ$  par rapport à celle obtenue pour  $\alpha_1 = 10^\circ$ .

Si nous fixons  $\alpha_1 = 10^\circ$  ( ou bien  $\alpha_1 = 90^\circ$  ), nous remarquons que la chute de tension augmente avec le nombre de convertisseurs mis en série pour un courant donné ce qui s'explique par l'introduction de chutes de tension directe aux bornes des thyristors supplémentaires.

2- Caractéristique de vitesse N(I) : ( voir figure 17 )

La mise en série de deux ponts entraîne une diminution de la vitesse par rapport au cas où nous avons un seul pont uniquement, ce qui est logique car la tension diminue aussi.

Si nous comparons également les deux cas étudiés pour un pont seul (  $\alpha_1 = \alpha_2$  et  $\alpha_1 \neq \alpha_2$  ) ainsi que deux ponts (  $\alpha_1 \neq \alpha_2$  et  $\alpha_1 \neq \alpha_2 \neq \alpha_3 \neq \alpha_4$  ), nous remarquons qu'une légère différence existe, les courbes tendent à se confondre ceci est d'autant plus vrai que  $\alpha_1 = 90^\circ$ .

3- Caractéristique de la Puissance Réactive Q(I) :  
(voir figure 18 )

Pour un pont à quatre (04) thyristors, en fixant le même angle  $\alpha_1$  pour les deux demi-ponts, nous remarquons que le pont consomme plus de puissance réactive que lorsque nous commandons les deux demi-ponts avec des angles  $\alpha_1$  différents . Cette différence est accentuée quand  $\alpha_1$  augmente (  $90^\circ$  ).

Pour les faibles valeurs de  $\alpha_1$  ( $10^\circ$ ), la commande identique pour les deux demi-ponts montre une moindre consommation de puissance réactive.

Pour deux ponts en serie, la commande des quatres étages séparément pour des valeurs de  $\alpha_1$  élevées est meilleure. nous obtenons la courbe correspondante en dessous de celle obtenue ( pour  $\alpha_1 = 90^\circ$  ) pour deux ponts commandés chacun avec  $\alpha$  différent.

Nous pouvons conclure que pour de grandes valeurs de  $\alpha_1$ , la commande décalée donne des résultats meilleurs du point de vue consommation de puissance réactive.

La mise en série de deux ponts nous a amené à utiliser deux transformateurs, dont les primaires sont mis en parallèle, les secondaires sont branchés chacun sur un pont.

La consommation totale de puissance réactive, c'est-à-dire ponts + transformateurs, est plus importante ceci peut être expliqué par la présence du transformateur qui introduit une consommation supplémentaire.

4- Caractéristique de la puissance active P(I) :  
(voir figure 19 )

La mise en serie de deux ponts introduit l'utilisation d'un transformateur supplémentaire . Ceci se traduit par un fort appel de courant au cote alternatif donc une puissance active plus importante .

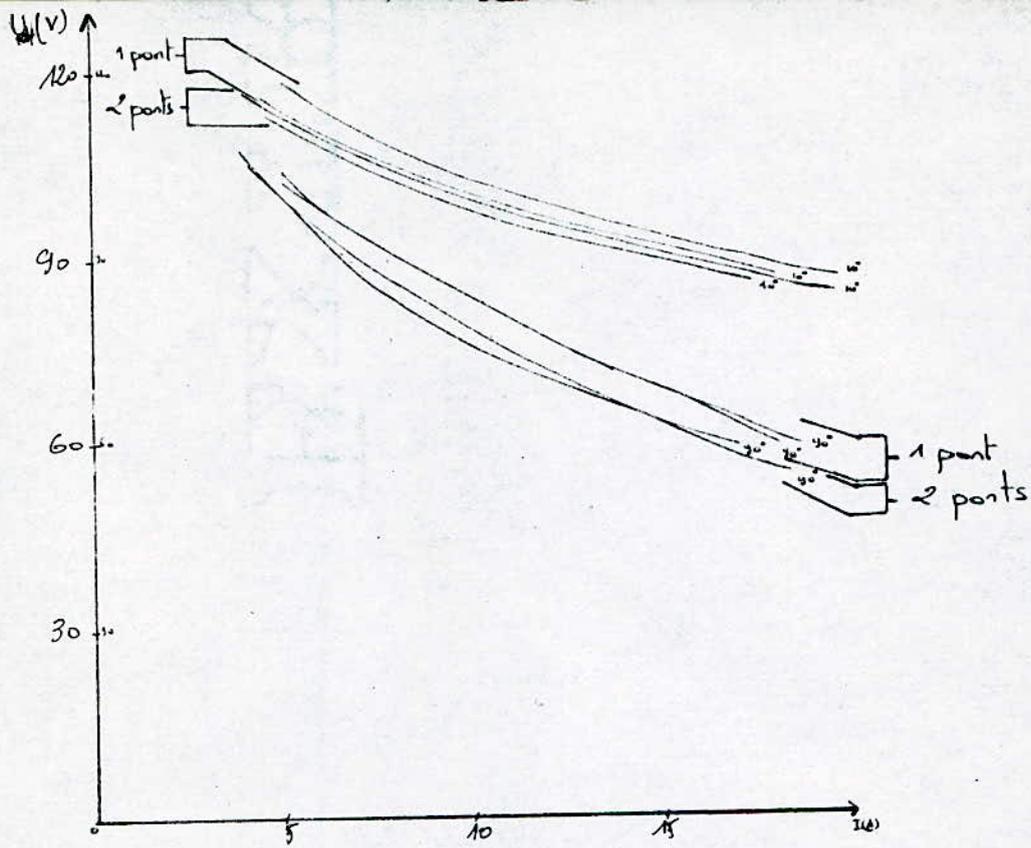


FIG 16 caracteristicas  $U = f(I)$

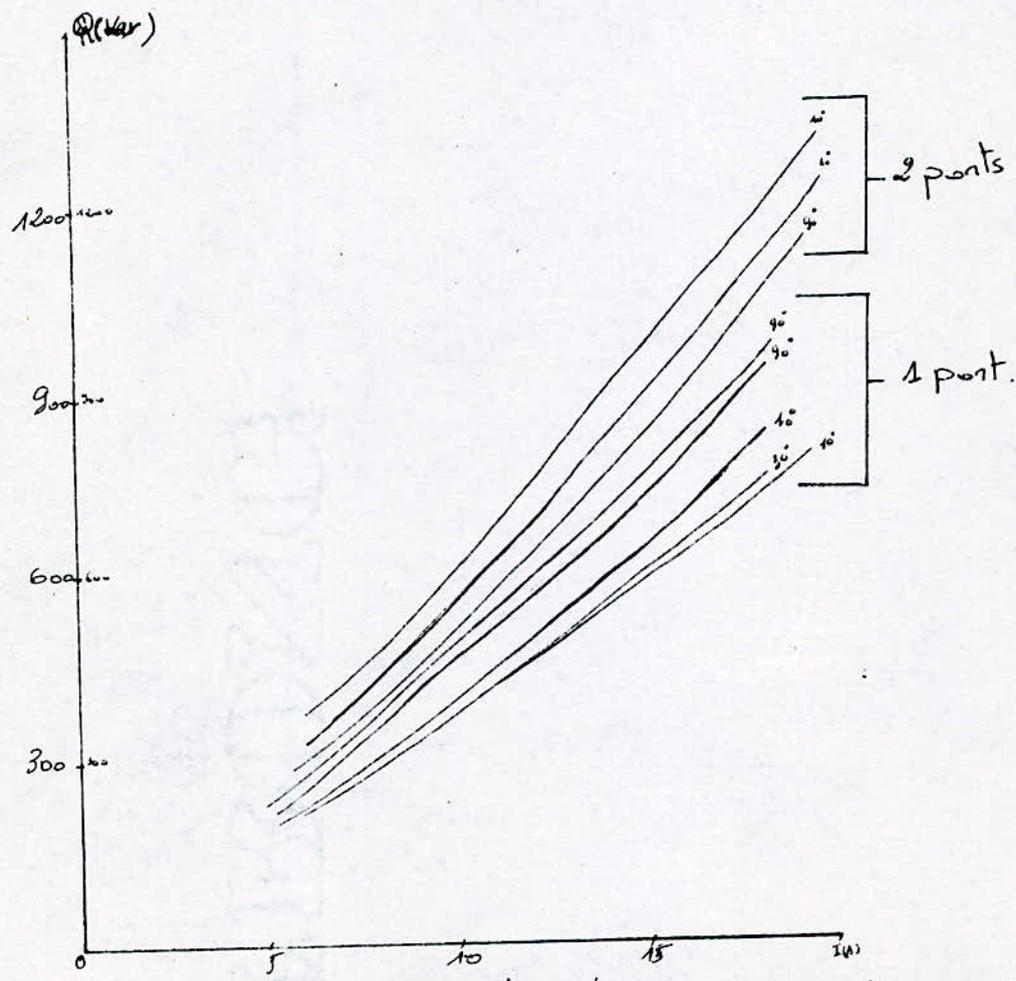


FIG 18 caracteristicas  $P = f(I)$

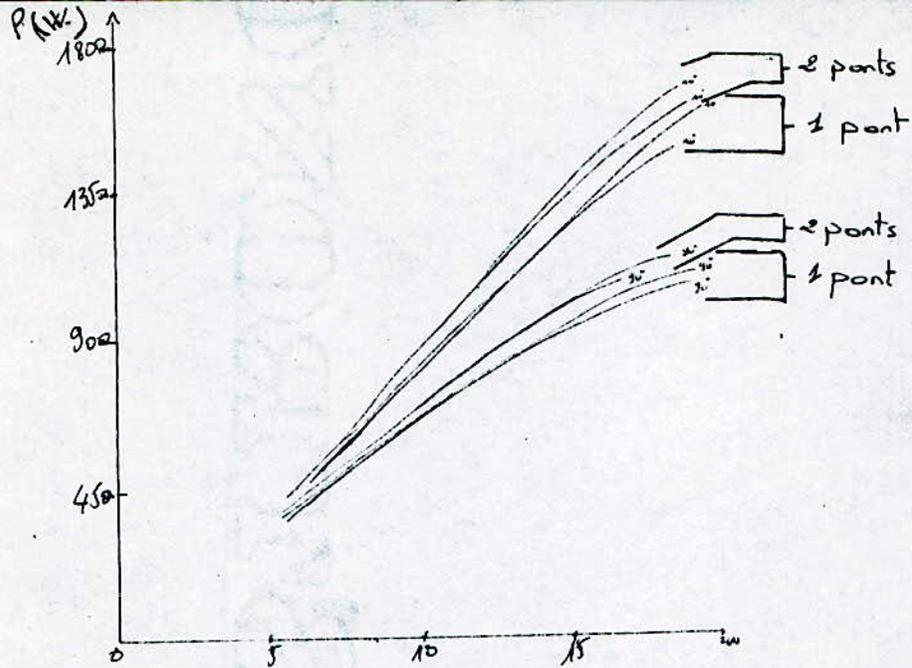


FIG 19 caractéristiques P(I)

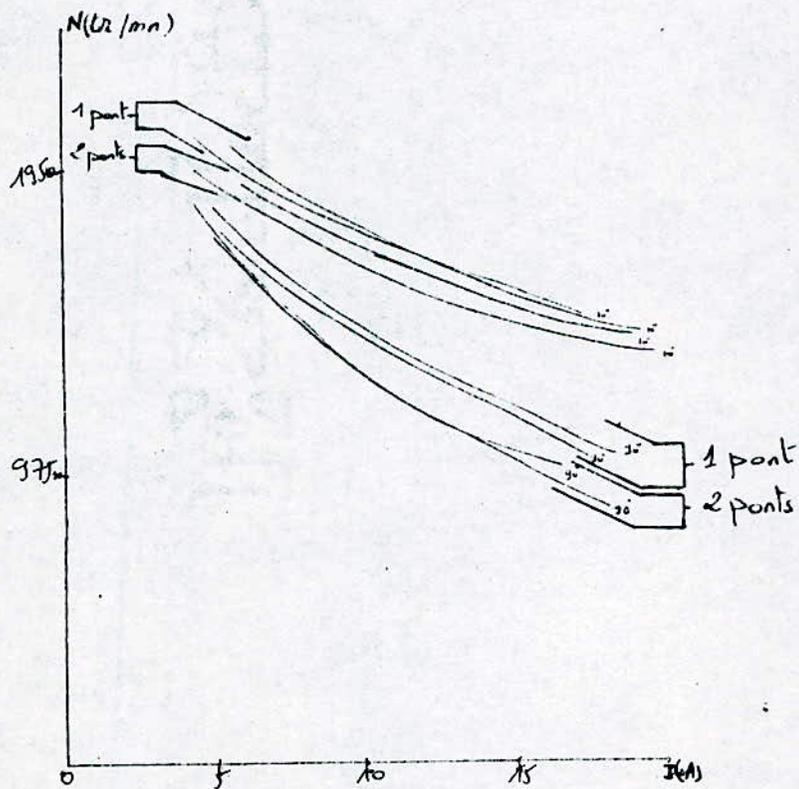


FIG 17 caractéristiques N(I)

III CONCLUSION

## C O N C L U S I O N

A travers ce travail, nous avons tenté de donner une idée de la réaction que représente un convertisseur sur le réseau qui l'alimente.

Il fut nécessaire d'étudier avec soin, le mode de fonctionnement du convertisseur pour déterminer le type de compensation, si elle est indispensable, qui convient le mieux.

Durant notre travail, nous avons remarqué une différence entre la théorie et la pratique et avons bénéficié de la confrontation aux problèmes liés à un travail d'ordre pratique.

Par rapport à un seul convertisseur, l'association en série de deux convertisseurs réduit la consommation de l'énergie réactive par ces derniers, mais la nécessité d'un transformateur à deux secondaires ( ou 2 transformateurs séparés), augmente la consommation de l'énergie réactive totale pour la même puissance fournie au récepteur.

Cette association ne serait donc rentable économiquement que lorsque la nécessité d'une forte tension continue variable a lieu.

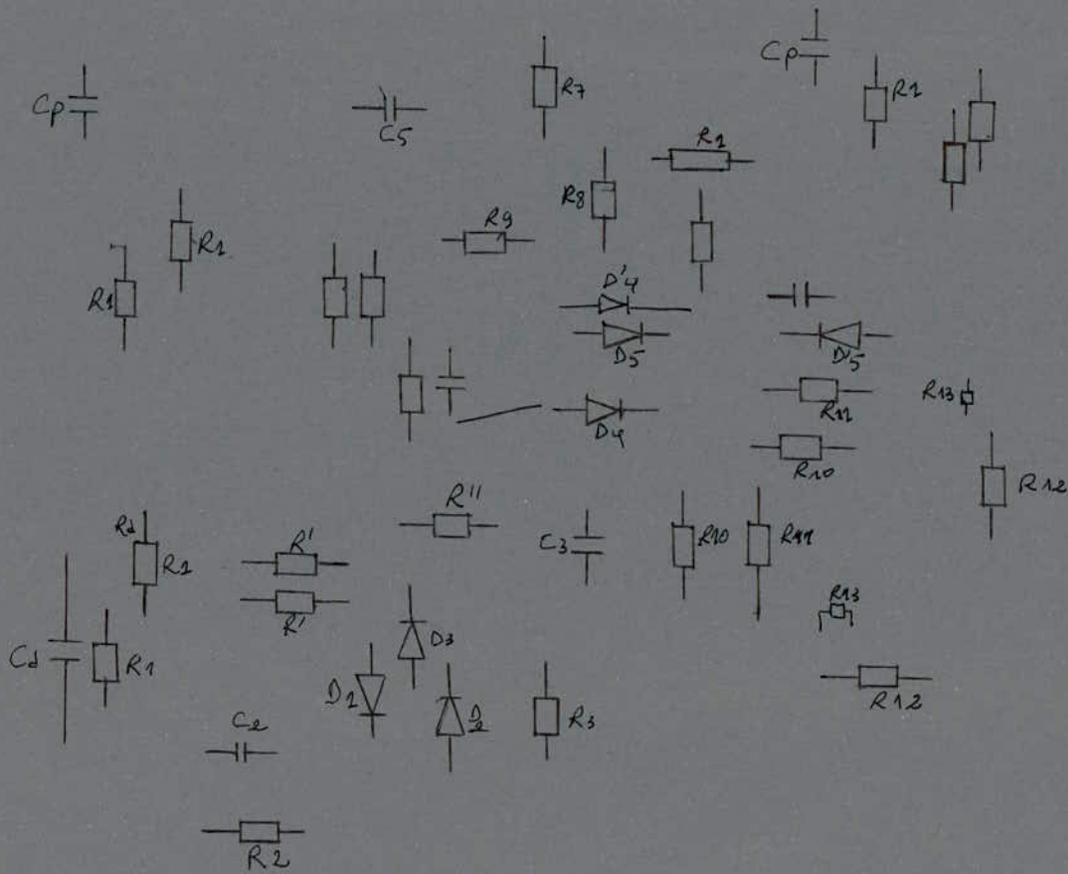
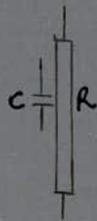
En effet, l'association des convertisseurs en série évite de travailler avec des hautes tensions alternatives (dangers amoindris).

Notons enfin que la commande électronique de pareils convertisseurs est assez simple à réaliser.

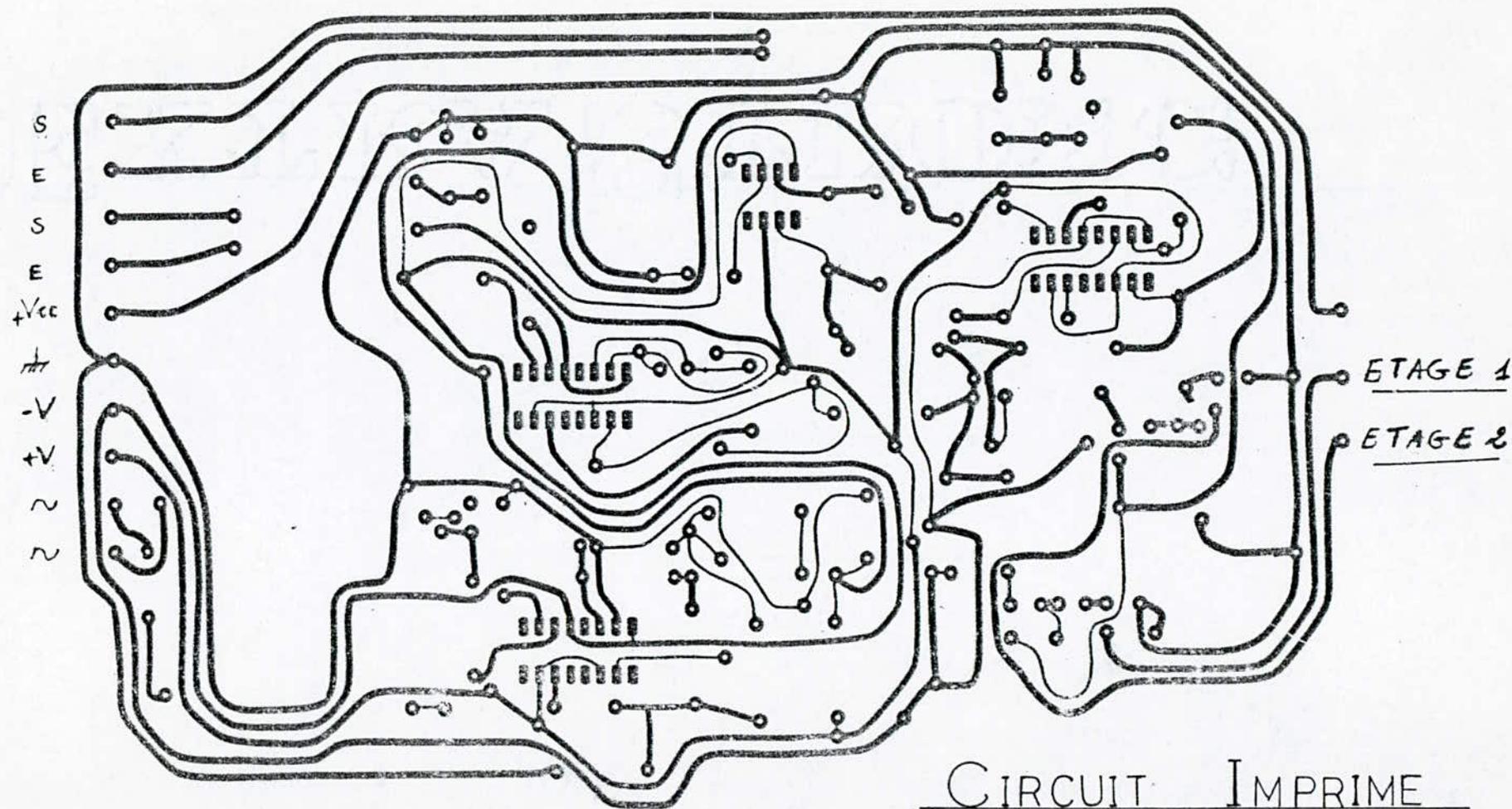
Notre maquette a été conçue de telle sorte que des interventions ou d'éventuelles améliorations soient simples une régulation du système peut formuler une continuation à notre travail.

СМОНТАЖА

A N N E X E



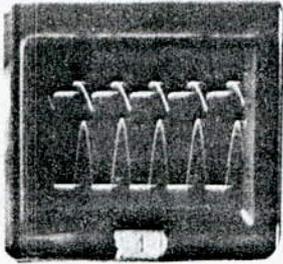
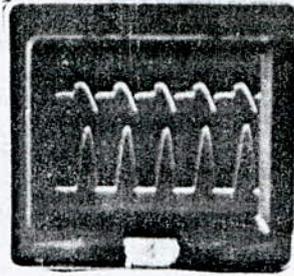
- 54 -



CIRCUIT IMPRIME  
DE LA COMMANDE

cote' continue. (tension et courant)

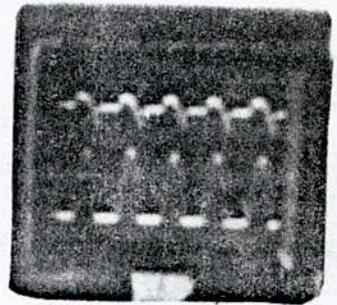
$\alpha_1 = 10^\circ$



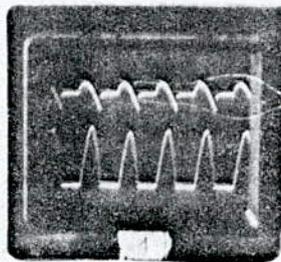
$\alpha_1 = 30^\circ$

1 pont ( $\alpha_1 \neq \alpha_2$ )  $\alpha_1$  variable

$\alpha_1 = 30^\circ$

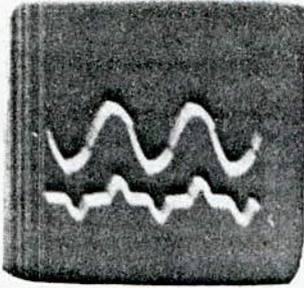


$\alpha_1 = 70^\circ$

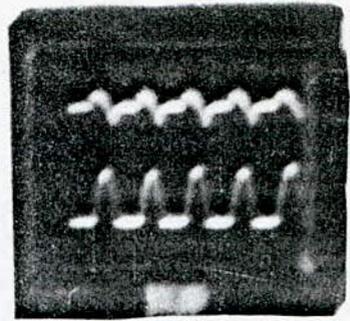


1 pont ( $\alpha_1 = \alpha_2$ )

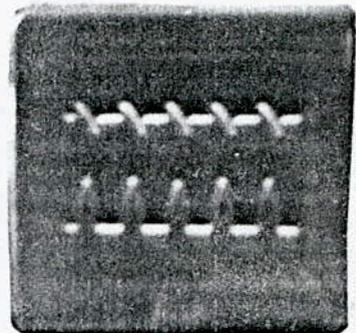
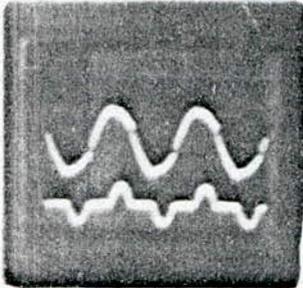
Alternatif



kontinu



$$\alpha_1 = 30^\circ$$

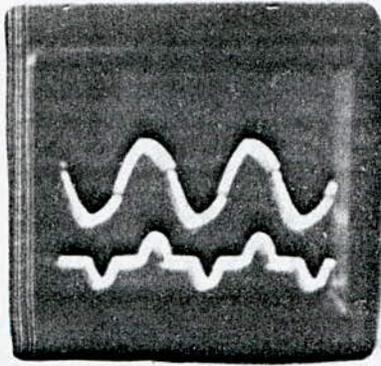


$$\alpha_1 = 70^\circ$$

2 ponts ( $\alpha_1 \neq \alpha_2$ )       $\alpha_1$  variable.

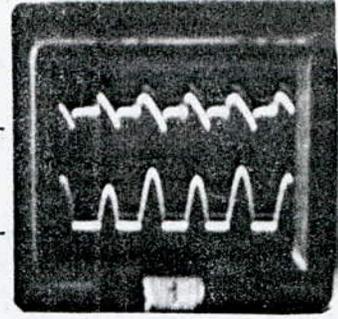
Alternatif

Continu

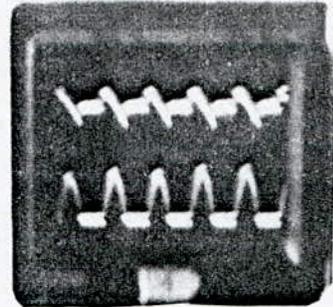
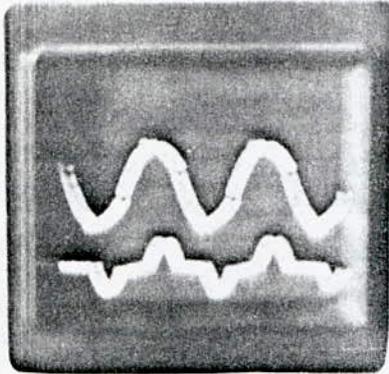


Tensions

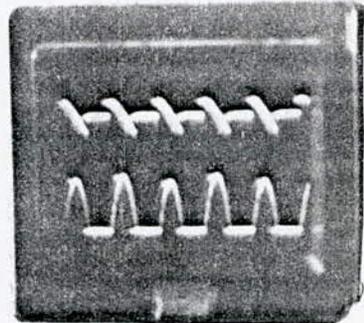
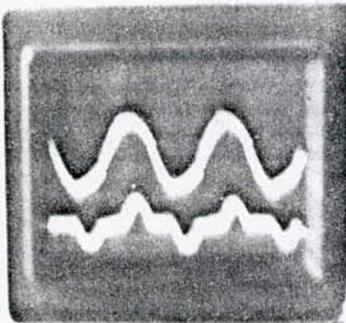
Courants



$\alpha_1 = 10^\circ$



$\alpha_1 = 30^\circ$



$\alpha_1 = 70^\circ$

2 ponts ( $\alpha_1 \neq \alpha_2 \neq \alpha_3 \neq \alpha_4$ )  $\alpha_1$  variable.

БИБЛИОГРАФИЯ

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

## REFERENCES

- [ 1 ] H. BUHLER , " Eletronique de puissance "  
" Electronique de reglage et de commande"
- [ 2 ] R. CHAUPRADE , " Commande des moteurs a courant  
continu "  
Edition eyrolles 1984
- [ 3 ] F. DORVAL , " Technique des impulsions "  
Edition MAC GRAWHILL 1984
- [ 4 ] J. MORNAND , " Schemas d'eletronique "  
Edition DUNOD 1979
- [ 5 ] G. SEGUIER , LAVOISIER " Les convertisseurs de  
l'electronique de puissance T 2  
Conversion  $\sim/\sim$  "
- [ 6 ] SUBRAMNA P. BHAT , GOPAL K. DUBEY " TWO-stage  
sequentielly operated regenerative converters WITH  
controlled flywheeling "  
IEEE. TRANS. ON INOUSTRY. APPL. VOL. IA-21 No 6  
Nov/Dec.85.
- [ 7 ] SUBHAS MUKHOPADHYAY , " A new concept for improving the  
performance of phase-controlled converters "  
IEEE. TRANS. ON. INDUSTRY. APPL. VOL IA-14  
No 6 Nov/Dec.78.
- [ 8 ] SVEN IVNER , " L'electricien"  
\* reaction des redresseurs sur le reseau Mars 1972