

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT : Génie

المدرسة الوطنية
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

COMMANDE REVERSIBLE D'UN

MOTEUR A COURANT CONTINU

(par bande morte)

Proposé Par :

M^r R. Tahmi

Etudié par :

R. F. Ben mokhtar

Dirigé par :

M^r R. Tahmi

A. Benkhelifa

PROMOTION : juin 1988

ENDING

EXTERA S

R E M E R C I E M E N T S

Nous tenons à remercier vivement notre promoteur Monsieur R.TAHMI qui a accepté de diriger ce travail et lui exprimer notre profonde gratitude pour l'aide constante, le dévouement et les conseils éclairés qu'il nous à prodigué.

Nous adressons également nos plus vifs remerciements a tous les professeurs en particulier Mr A.MAAZI et Mr O.TOUHAMI qui ont contribué a notre formation.

Que les membres de jury veuillent bien trouver ici nos respectueux remerciements.

D E D I C A C E S

A Mes chers parents qui se sont sacrifiés pour me voir atteindre ce but.

A mes frères Ali, Amine, Mahmoud et hamza et mes soeurs Nora, Nadia et fadila .

A tous ceux qui se dévouent dans la sincérité et la modestie à l'édification de notre pays.

A tous ceux qui ne tolèrent vivre que dans l'intégrité et le respect de leur personnalité musulmane.

Je dédie ce modeste essai.
R.F BEN MOKHTAR.

A mes parents, à qui je dois le soutien morale et matériel qui m'ont permis d'atteindre ce stade d'études.

A toute ma famille particulièrement mon frère MECHERI.

A mon frère M. OUSSALAH .

A toute pesonne se dévouant dans la modestie pour la concrétisation d'une société saine, équilibrée et prospère.

Je dedie ce modeste travail.
A. BENKHELIFA

S O M M A I R E

INTRODUCTION.

CHAPITRE I :

ETUDE DU CONVERTISSEUR ALTERNATIF-CONTINU
 (Pont de Graëtz)

I.1 Généralités.....	7
I.2 Valeur moyenne de la tension redressée..	7
I.3 Chutes de tensions.....	9
I.4 Présentation de la commande du con- -vertisseur.....	11
I.5 Précaution expérimentale concernant la commande.....	14
I.6 Etude de la commande non réversible.....	14
I.7 Interprétations.....	18
I.8 Conclusion.....	21

CHAPITRE II :

COMMANDE REVERSIBLE A BANDE MORTE

II.1 Généralités sur les convertisseurs doubles ou réversibles.....	23
II.2 Fonctionnement.....	23
II.3 Dispositif de commande des gâchettes des thyristors.....	27

II.4 Schéma de puissance.....	26
II.5 Circuit de protection.....	27
- Conception.....	27
- Réalisation.....	29
- schéma.....	30
II.6 Essais d'inversions.....	33
- Relevés.....	41
- Courbes.....	
II.7 Interprétations.....	43
II.8 Conclusion.....	47
CONCLUSION GENERALE.....	48
ANNEXE.....	-
BIBLIOGRAPHIE.....	-

N O T A T I O N

SYNBOLES	DESIGNATIONS
$\Delta_3 U_c$: chute de tension directe due aux thyristors.
$\Delta_1 U_c$: chute de tension due a l'empiètement.
$\Delta_2 U_c$: chute de tension due aux résistances.
I_m	: courant d'induit du moteur.
I_n	: Courant nominal d'induit.
J_n	: Courant d'excitation.
E	: Force contre électro-motrice du moteur.
P	: Puissance active du côté alternatif.
Q	: Puissance réactive du côté alternatif.
R_a	: Résistance d'induit du moteur.
U_m	: Tension moyenne aux bornes du moteur.
U_n	: Tension nominale du moteur.
U_R	: Tension de référence.
U_{c1}	: Tension de commande du pont 1.
U_{c2}	: Tension de commande du pont 2.
T_{oN}	: Temps d'annulation de la vitesse.
T_{oC}	: Temps d'annulation du courant.
T_{inN}	: Temps d'inversion de la vitesse.
T_{inC}	: Temps d'inversion du courant.
$U_c \alpha$: Valeur moyenne de la tension redressée a vide.
$U_c 0$: valeur moyenne de la tension redressée pour $\alpha = 0$.
U_{Rmax}	: valeur max de la tension de référence.

- N : vitesse de rotation du moteur.
- N_n : Vitesse nominale du moteur.
- α_1 : Angle d'amorçage du pont 1.
- α_2 : Angle d'amorçage du pont 2.
- B : Angle de garde du côté redresseur.
- ψ : Angle d'empiètement.

INTRODUCTION

Le développement de l'électronique de puissance et les performances actuelles des composants électroniques ont entraîné de grands progrès dans l'industrialisation des variateurs de vitesse électroniques qui constituent un domaine particulièrement important dans les applications industrielles.

L'industrie, au sens large du terme et les transports en particulier, utilisent de plus en plus des systèmes à vitesse continuellement variables doués de souplesse et de précision.

Bien sûr les variateurs électroniques sont de loin les plus appréciés et ceci est dû aux progrès de l'automatisation qui permet d'asservir la vitesse des moteurs à divers points de fonctionnement.

Les moteurs à courant continu présentent toutes les qualités pour fonctionner à vitesse variable, à condition de régler la tension d'alimentation d'induit.

Pour des raisons purement économiques et industrielles (coût élevé des installations et mauvais rendement) le groupe WARD LEONARD est abandonné au profit des convertisseurs statiques.

La commande des moteurs à courant continu est réalisée à l'aide de différents convertisseurs dont chacun est conçu suivant la source d'alimentation:

- les convertisseurs Alternatif/Continu dont la commutation se fait directement par le réseau.

- les convertisseurs continu/continu (Hacheurs).

Dans les convertisseurs Alternatif/Continu il existe deux types de commandes dont l'une est non réversible et l'autre est réversible .Dans la première , le convertisseur travaille seulement en redresseur et ne permet pas de freinage rapide ; la seconde utilise des convertisseurs alternatif-continu réversibles pour opérer des inversions de rotation rapides, qui peuvent être réalisés de trois façons :

- A circulation de courant.
- A logique de basculement.
- A bande morte , qui fait l'objet de notre

travail.

Dans le premier chapitre nous étudierons le convertisseur Alternatif-Continu ainsi que son association avec un moteur à courant continu.

Le second chapitre se donne pour but d'introduire les convertisseurs reversibles dont nous ferons ensuite l'étude et la réalisation.

Cette etude sera illustrée par des essais d'inversions du courant et de la vitesse du moteur à courant continu.

En fin de notre travail, nous terminerons par une conclusion concernant les performances de la commande étudiée.

Le groupe tournant utilisé lors des essais se compose d'un moteur à courant continu couplé à une génératrice à courant continu dont voici les caractéristiques :

MOTEUR A COURANT CONTINU :

Tension d'induit	$U_n = 110 \text{ v}$
Vitesse	$N_n = 1800 \text{ tr/min}$
Puissance	$P_n = 2.2 \text{ kw}$
Courant d'induit	$I_n = 24.5 \text{ A}$
Courant inducteur.....	$J_n = 0.95 \text{ A}$
Excitation.....	Séparée

GENERATRICE A COURANT CONTINU

Tension d'induit.....	$U_n = 120 \text{ v}$
Puissance.....	$P_n = 2.8 \text{ kw}$
Courant d'induit.....	$I_n = 28 \text{ A}$
Courant inducteur.....	$J_n = 0.8 \text{ A}$
Excitation.....	Séparée

C H A P I T R E I :
ETUDE DU CONVERTISSEUR ALTERNATIF - CONTINU
(PONT DE GRAETZ)

I.1 GENERALITES

Le moteur à courant continu est le plus utilisé pour la réalisation d'entraînements réglés, bien que sa construction soit plus complexe que celle d'un moteur asynchrone .

Ceci provient du fait que l'on peut faire varier la vitesse d'un moteur à courant continu d'une manière simple .

L'électronique de puissance met à notre disposition des convertisseurs de courant qui sont des sources de tensions variables.

On peut faire varier très rapidement la tension continue au moyen d'une puissance de commande très faible.

La commande des moteurs à courant continu est conçue à l'aide de différents convertisseurs dont chacun est réalisé suivant la source d'alimentation :

- Conversion Continu/continu (Montage Hacheur).
- Conversion Alternatif/continu (montage Redresseur/Onduleur).

Nous examinerons la conversion Alternatif/Continu à partir du montage triphasé double voies (Pont de Graëtz).

I.2 Valeur moyenne de la tension redressée

La valeur moyenne de la tension redressée est donnée par :

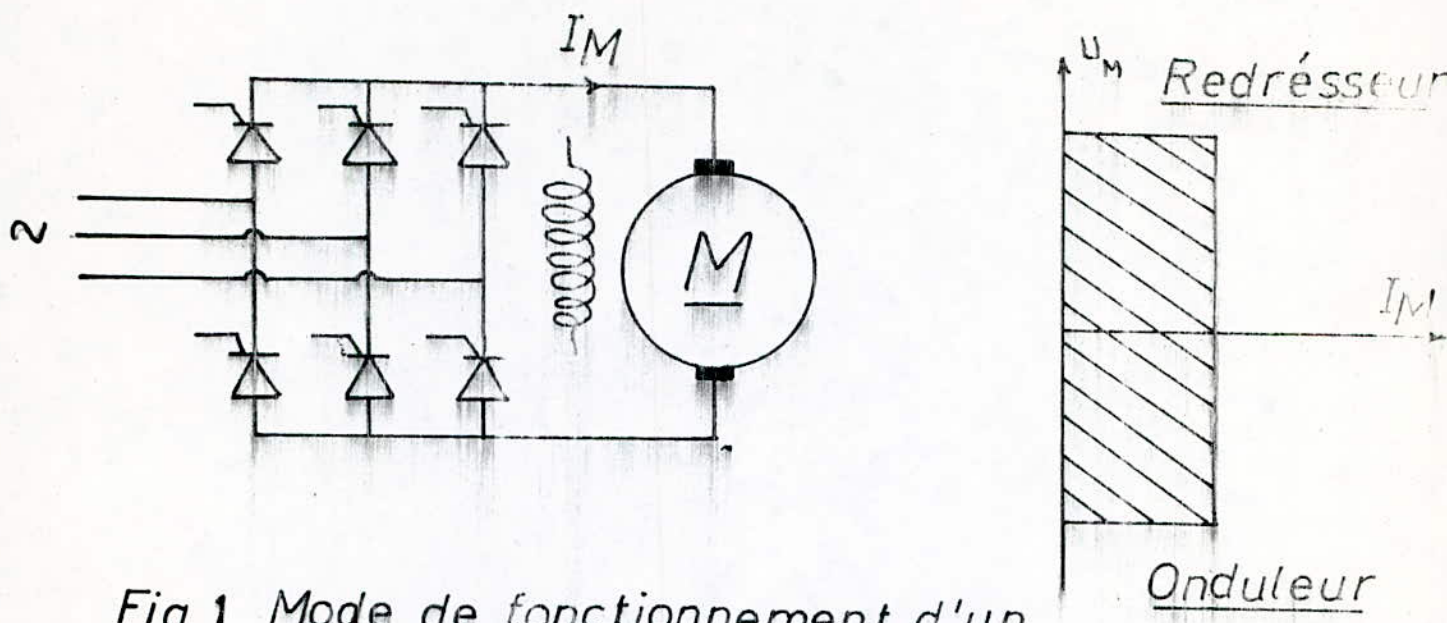


Fig 1 Mode de fonctionnement d'un convertisseur de courant unidirectionnel

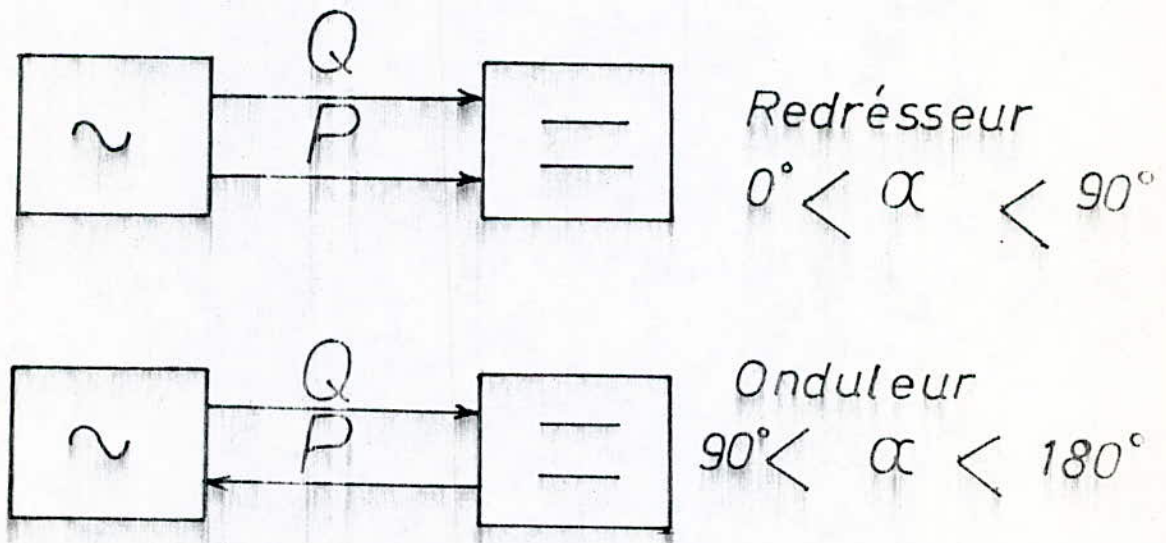


Fig 2 Représentation schématique d'un convertisseur de courant unidirectionnel

$$U_{c\alpha} = 2 \cdot \frac{3}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{6} + \alpha}^{\frac{5\pi}{6} + \alpha} V_m \sin \omega t \, d\omega t = 2 \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} V_m \cos \alpha$$

d'où :

$$U_{c\alpha} = U_{c0} \cos \alpha$$

avec :

$$U_{c0} = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} V_m$$

Ce résultat montre que pour $\alpha < \pi/2$ le montage fonctionne en redresseur à rapport variable de transformation Alternatif/ Continu.

Et pour $\alpha > \pi/2$ le montage fonctionne en onduleur non autonome, l'énergie passant du récepteur actif vers le réseau, (l'inversion de la tension impose l'inversion de la puissance).

Remarque : l'inversion de la tension suppose que l'appareil placé du côté continue devient générateur.

I.3 Chutes de tensions

a- Chutes dues à l'empiètement

La chute de tension due à l'empiètement est indépendante de l'angle de retard α , elle est causée par la conduction simultanée de deux thyristors successifs.

$$\cos \alpha - \cos (\alpha + \psi) = 2 \cdot N_2 \cdot W_{IC} / V_m \sqrt{3}$$

avec :

$$\Delta_1 U_c = 3 / \pi \cdot N_2 \cdot W_{IC}$$

b- Chutes dûes aux resistances Amont :

A valeur donnée de I_c les chutes de tension redressée moyenne dûes aux resistances, aux thyristors :

$$\Delta_2 U_c = R_c \cdot I_c \quad (\text{dépend du couplage du primaire du transformateur})$$

$$\Delta_3 U_c = (u) I_c$$

Remarque 1 :

Les chutes ainsi citées sont indépendantes de l'angle du retard à l'amorçage α .

Dans ces conditions la tension en charge du groupe redresseur a pour expression :

$$U_c = U_{c0} \cos \alpha - \Delta_1 U_c - \Delta_2 U_c - \Delta_3 U_c \quad (U_c \text{ valeur de la tension en charge})$$

(- I . b -)

Remarque 2 :

Les propriétés ainsi données jusqu'ici supposent toujours le convertisseur débitant d'une façon ininterrompue dans la charge quelque soit l'angle de retard à l'allumage α .

la théorie ci - dessus prévoit un fonctionnement Onduleur lorsque α est compris entre $\pi / 2$ et π .

On s'interdira les valeurs de α trop voisines de π pour éviter qu'un retard accidentel de l'impulsion de commande ou la durée de commutation des

thyristors se traduise par un défaut d'amorçage.
Pour cela, on fixera un angle de retard qui de quelques
dizaines de degrés (15°) du côté redresseur et
(150°) du côté onduleur.

Ce qui limite la plage de variation de
l'angle α .

Donc, on prend la valeur de $\beta = 15^\circ$ d'où
 $15^\circ < \alpha < 150^\circ$.

1.4 présentation de la commande du pont de Graëtz.

- Réglage de la position d'impulsion.

L'allumage des thyristors du convertisseur
nécessite l'application d'impulsions à leurs gâchettes.

Ces impulsions doivent avoir un certain
angle de retard à l'allumage (α), par rapport au point
d'intersection des tensions alternatives alimentant le con-
-vertisseur.

La commande utilisée est du type ARCCOSINUS
verticale.

La position de l'impulsion du type
ARCCOSINUS est obtenue par la superposition de deux tensions
la première alternative, la seconde U_c de commande, ce qui
donne une fonction de transfert du circuit de commande.

$$\alpha = \text{Arc cos} (U_c / U_{R_{\max}}) \quad (- I . a -)$$

42

Cette relation permet de linéariser la fonction de transfert du convertisseur.

Les parties essentielles du dispositif de commande sont représentés sur le schéma de la (fig 3-).

Le déphaseur sert à déphaser la tension délivrée par le réseau de (120°) la tension obtenue est comparée à la tension de commande U_c .

Le comparateur convertit la tension sinusoïdale décalée verticalement en une tension rectangulaire .

Le monostable agissant sur le flanc montant de cette tension génère des impulsions de même durée qui est de (4ms).

A la sortie du monostable on place successivement un amplificateur de courant et un transformateur d'impulsions aptes à débloquent les thyristors.

Remarque :

Le transformateur d'impulsions indispensable du moment où il nous garantit une séparation galvanique entre les circuits de commande et les gâchettes.

Il est nécessaire de limiter le domaine de variation de la tension de commande en correspondance avec une limitation de l'angle α entre α_{\min} et α_{\max} .

D'après la relation I_a entre α et U_c on constate qu'à α_{\min} correspond $U_{c\max}$ et à α_{\max} correspond $U_{c\min}$.

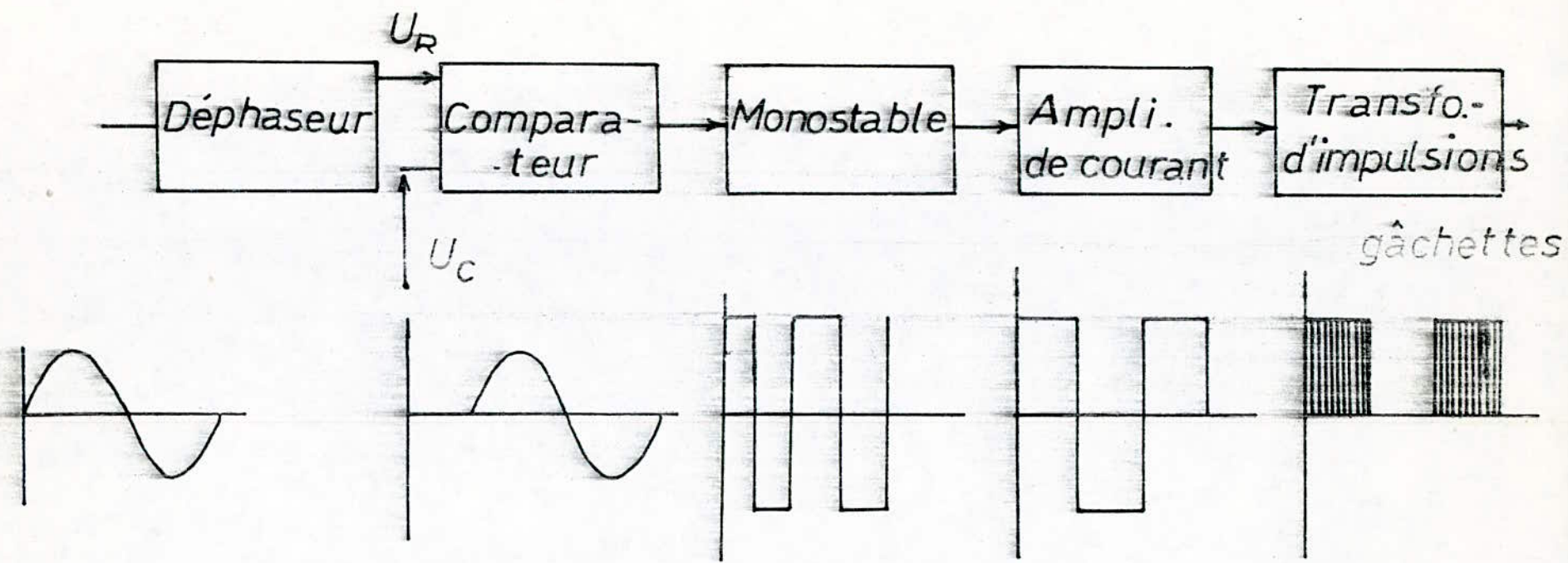


Fig 3 Schéma synoptique du dispositif de commande des gâchettes

I.5 Précaution expérimentale concernant la commande :

Lorsque la conduction est continue la valeur maximale théorique de l'angle d'amorçage α est égale à 180° , en réalité en raison de la durée de la commutation, cette valeur est généralement prise égale à 150° en fonctionnement Onduleur.

I.6 Etude de la commande non réversible

- caractéristique de la commande

Le montage de la figure 3' nous permet de relever les caractéristiques P, Q, N, U en fonction de I_M courant d'induit pour un même angle d'amorçage α .

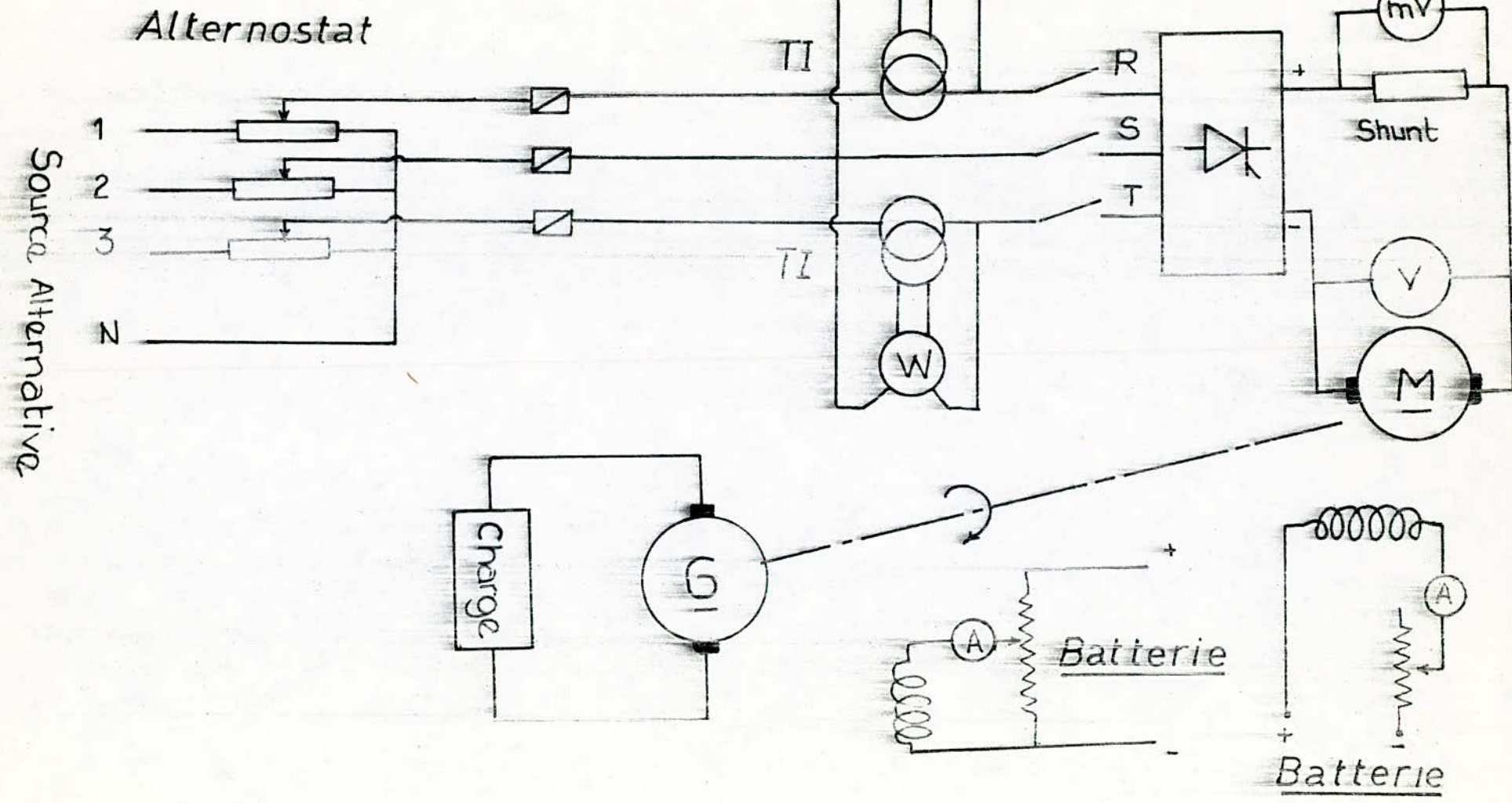
Les relevés expérimentaux sont donnés en annexe représentant respectivement les valeurs $U_M(I_M)$, $N(I_M)$, $P(I_M)$ et $Q(I_M)$ à différentes valeurs de α .

- Tracés des courbes.

Les différents réseaux de courbes sont représentés comme suit :

- $U_M = f(I_M)$ à différentes valeurs de α (fig - 4 -).
- $N = f(I_M)$ à différentes valeurs de α . (fig - 5 -).
- $P = f(I_M)$ à différentes valeurs de α . (fig - 6 -).
- $Q = f(I_M)$ à différentes valeurs de α . (fig - 7 -).

Fig 3' : - Montage -



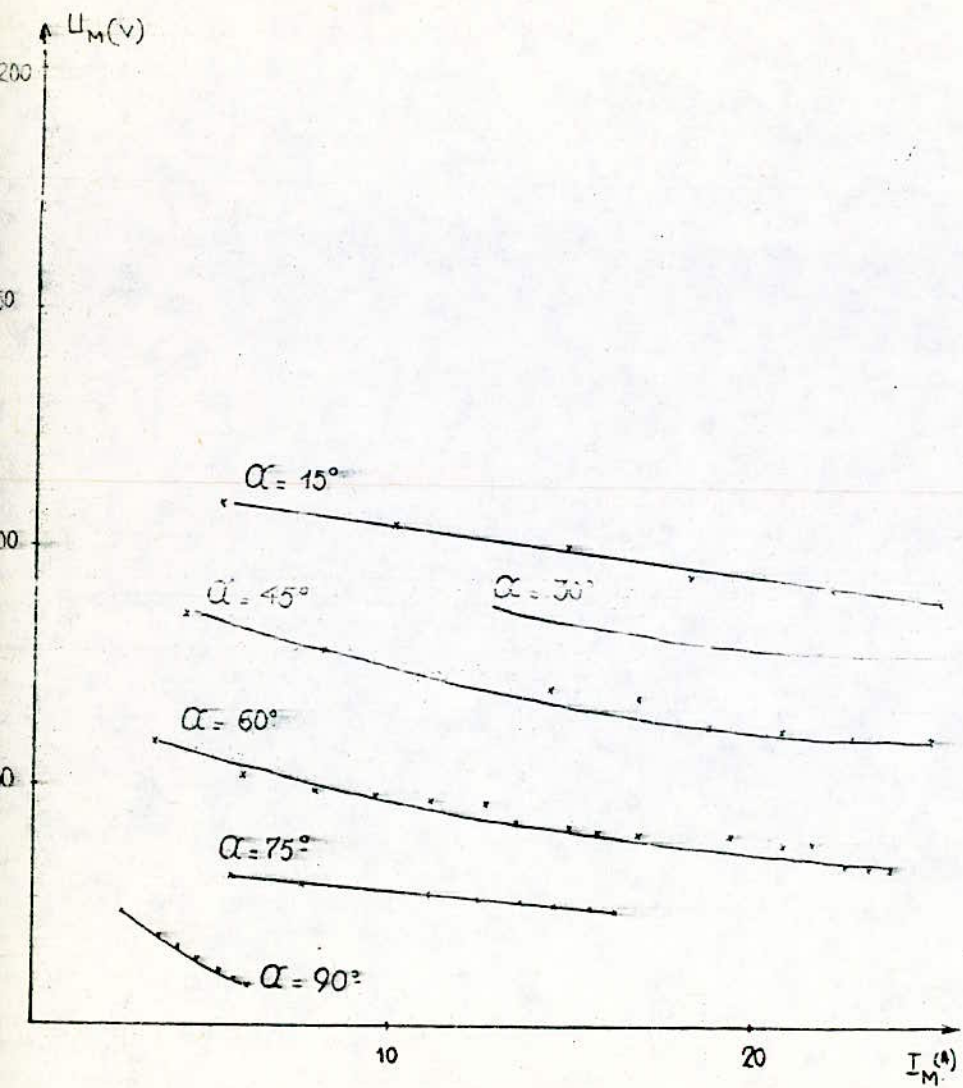


Fig 4 Courbes $U_M = f(I_M)$ à différent α

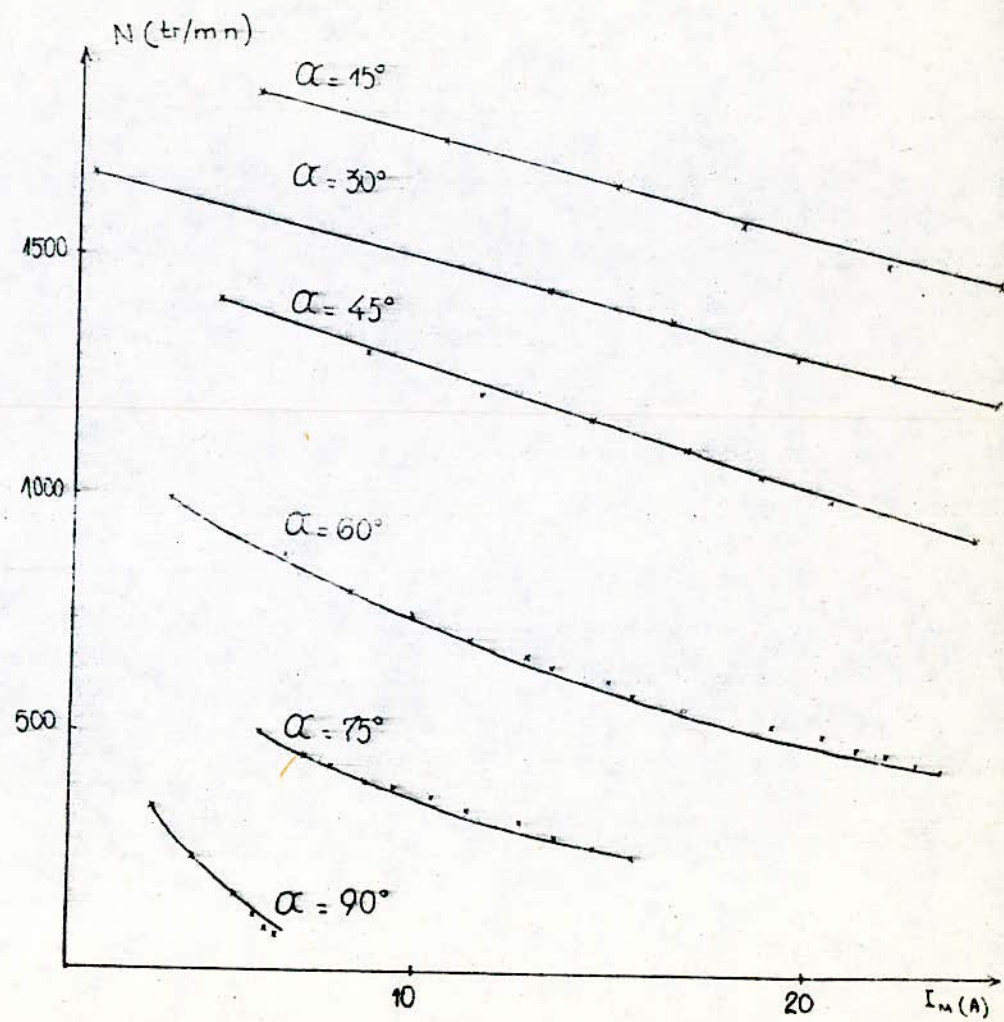


Fig 5: Courbes $N = f(I_M)$ à différent α

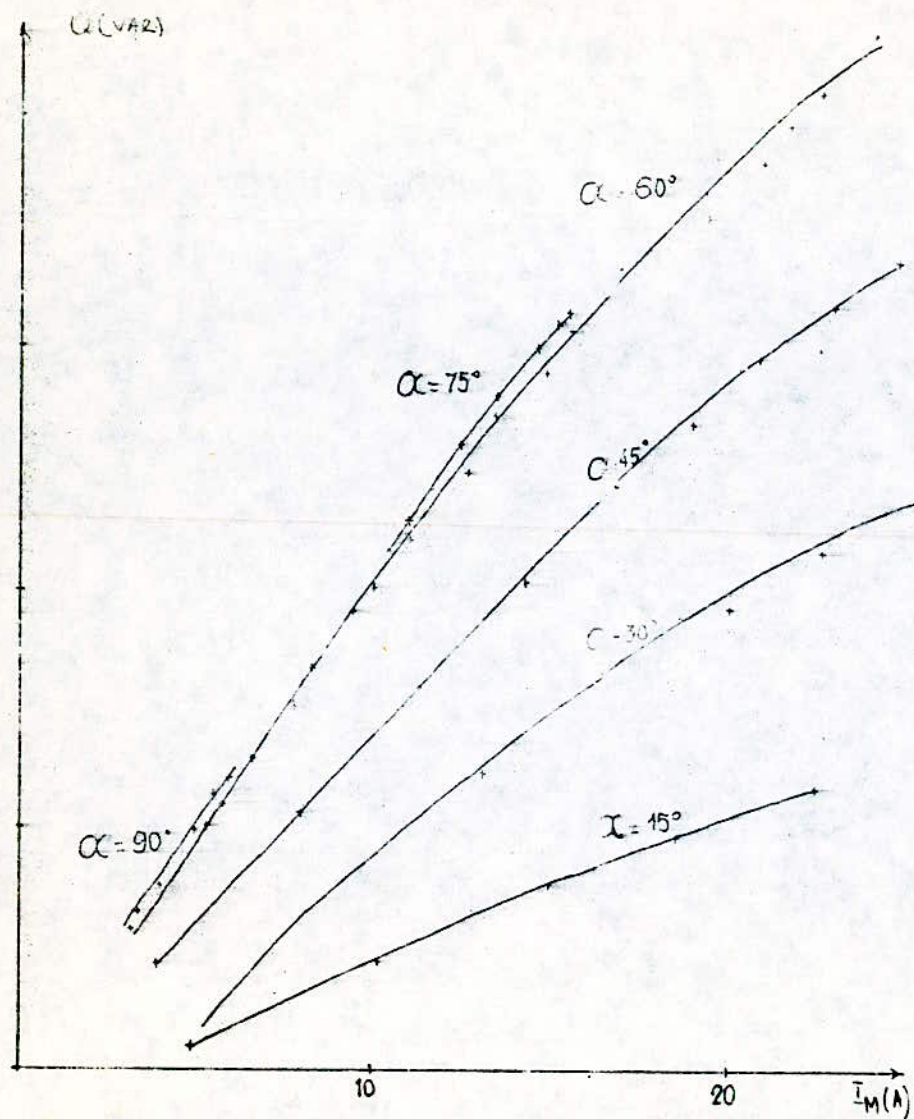


Fig 5 Courbes $Q = f(I_M)$ à différent α

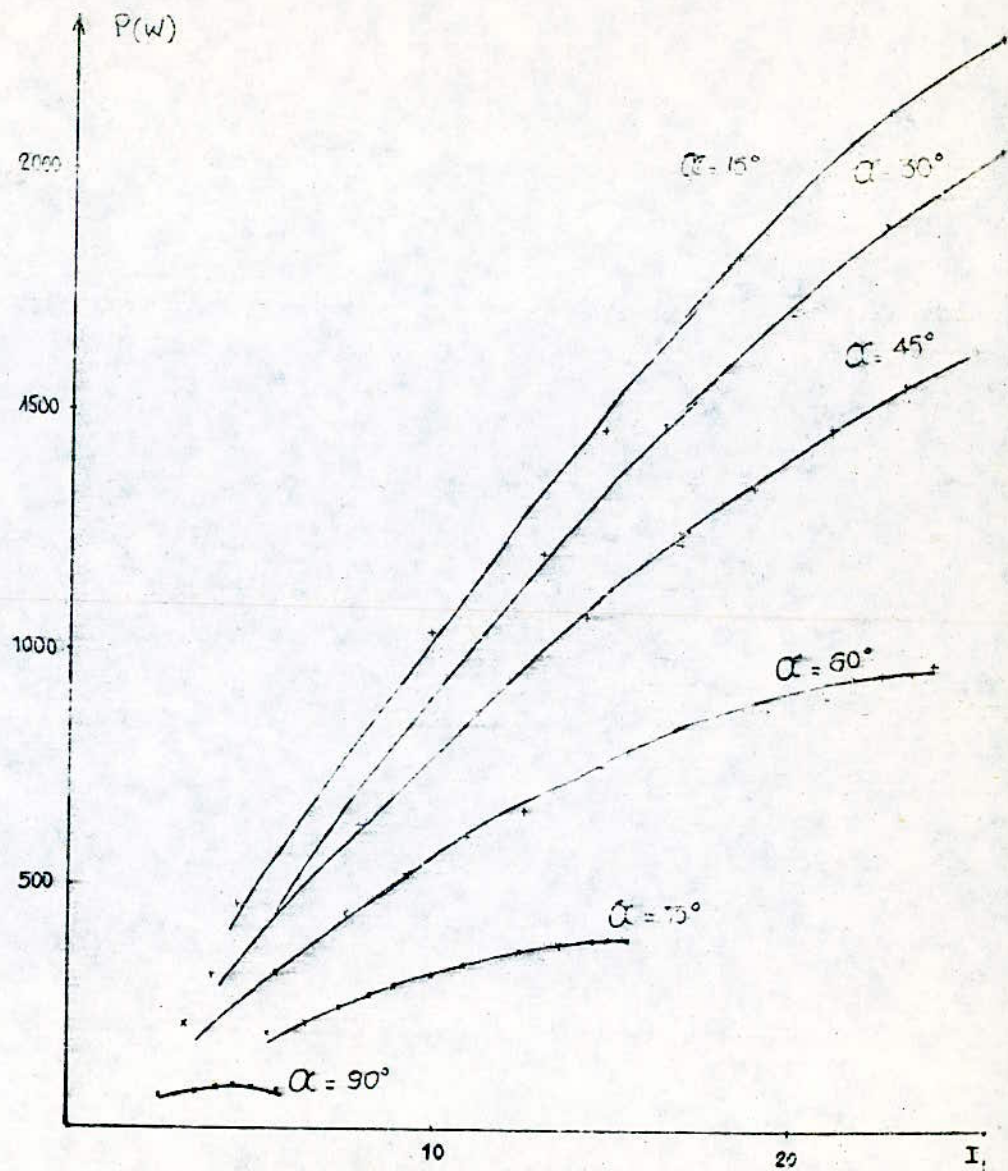


Fig 6 Courbes $P = f(I_M)$ à différent α

I.7 INTERPRETATIONS :

- $U_M (I_M)$ à $\alpha = \text{constant}$

La caractéristique relevée $U_M (I_M)$ à $\alpha = \text{Cst}$ présente une pente négative qui révèle l'effet d'une chute de tension ΔU globale qui est la somme de :

- chute de tension dans les inductances du circuit.
- chute de tension lors de la commutation.
- chute de tension directe des thyristors.

d'ou :

$$U_M = U_{co} \cos \alpha - (\Delta_1 U_c + \Delta_2 U_c + \Delta_3 U_c) .$$

- $U_M (I_M)$ à $I_M = \text{Constant}$.

Les caractéristiques $U (I_M)$ restent parallèle du fait que pour un courant redressé donné, les chutes de tension partielles et donc, leur somme reste indépendante de α .

On constate aussi que pour un courant redressé donné, U_M augmente quand l'angle d'amorçage α diminue ceci s'explique par la relation (I-b) donnant la tension redressée moyenne en charge .

- Caractéristique de la vitesse.

Soient U_M et E respectivement la tension et la fcem du moteur .

$$U_M = U_{co} \cos \alpha - \Delta U = E + R_a I_M \quad (\text{moteur compensé à flux constant})$$

d'ou :

$$U_M = U_{co} \cos \alpha - \Delta U = KN + R_a I_M$$

Alors :

$$N = \frac{U_{co} \cos \alpha - (\Delta U + R_{\Delta} I_M)}{K} \quad (- I.C -)$$

- à $\alpha = \text{Cst}$:

Lorsque le courant d'induit du moteur augmente , la vitesse du moteur chute du fait que la caractéristique $N (I_M)$ présente une pente négative.

A courant d'induit constant quand on augmente l'angle d'amorçage α la tension appliquée aux bornes du moteur diminue par conséquent le numérateur de l'équation I-C chute de même pour la vitesse du moteur.

les courbes $N (I_M)$ pour différent angles d'amorçage α sont appelées caractéristiques de réglage par la tension d'induit, et permettent de réduire la vitesse du groupe (Moteur- Systeme entraîné).

Caractéristique $P (I_M)$.

La puissance délivrée par le réseau au système Convertisseur - Moteur est donnée par la relation :

$$P = U_{co} I_M \cos \alpha$$

A un angle d'amorçage $\alpha = \text{Cst}$ les caractéristiques $P (I_M)$ en fonction de la charge sont des arcs de paraboles à pentes positives.

en effet, si l'angle α est constant il en est de même pour $\cos \alpha$, le courant d'induit augmente et la tension d'induit diminue.

On constate aussi que pour un courant I_M donné, si on augmente graduellement l'angle d'amorçage la puissance active P diminue.

- Caractéristique $Q(I_M)$.

la puissance réactive délivrée par le réseau est donnée par

$$Q = U_{co} I_M \sin \alpha$$

à $\alpha = \text{Cst}$ les caractéristiques de Q en fonction de la charge sont des arcs de paraboles à pentes positives.

par un raisonnement similaire à celui de $P(I_M)$ nous pouvons dire, si $\alpha = \text{Cst}$ il en est de même de $\sin \alpha$ alors, si le courant d'induit augmente la tension du moteur va chuter.

A un courant d'induit constant, quand on augmente α la puissance réactive augmente.

en effet, si α augmente la tension aux bornes du moteur diminue, d'où l'augmentation de Q .

I.8 CONCLUSION

Dans ce chapitre nous avons eu l'occasion de voir la commande non réversible d'un moteur à courant continu par un pont de Graëtz tout thyristors, cette commande est simple et peu coûteuse, de plus elle n'affecte que très peu le rendement global de l'installation qui reste très proche de celui du moteur.

Cette dernière présente de très faibles pertes, la puissance active absorbée croît avec l'augmentation du courant et diminue avec l'augmentation de l'angle de retard à l'amorçage α .

D'autre part, la commande non réversible possède une large gamme de variation de l'angle α qui permet de régler la tension d'induit du moteur et par suit sa vitesse à différents points de fonctionnement.

La puissance réactive croît avec l'augmentation de l'angle d'amorçage et du courant ainsi, le facteur de puissance de l'installation diminue.

C H A P I T R E I I

COMMANDE REVERSIBLE A BANDE MORTE

II.1 Généralités sur les convertisseurs réversibles

Nous avons vu que les ponts de Graetz tout thyristors peuvent fonctionner aussi bien en Redresseur qu'en onduleur non autonome (assisté) et par conséquent permettent l'inversion de la tension et du sens de circulation de l'énergie, toutefois dans le langage courant l'appellation convertisseur réversible s'adresse à des montages permettant la réversibilité totale c'est le fonctionnement dans les quatre quadrants des axes couple-vitesse selon la fig 8b , (réversibilité courant-tension).

Ces convertisseurs (Alternatif Continu) réversibles sont utilisé essentiellement pour la commande des moteurs a courant continu devant opérer des inversions de marche rapide ou des freinages controlés.

Ces derniers sont composés de deux redresseurs non réversibles montés en tête-bêche aux bornes du moteur.

Ils peuvent fonctionner selon trois principes différents, dont la différence réside dans la séquence de commande.

Parmis ces principes on trouve les montages dits à bande ou zone morte.

II.2 Fonctionnement .

La commande est réalisée de telle façon que la différence instantanée des tensions délivrées par les deux groupes ne soit pas génératrice de courant circulant entre les deux ponts, pour cela il suffit que cette différence ne change pas de polarité et

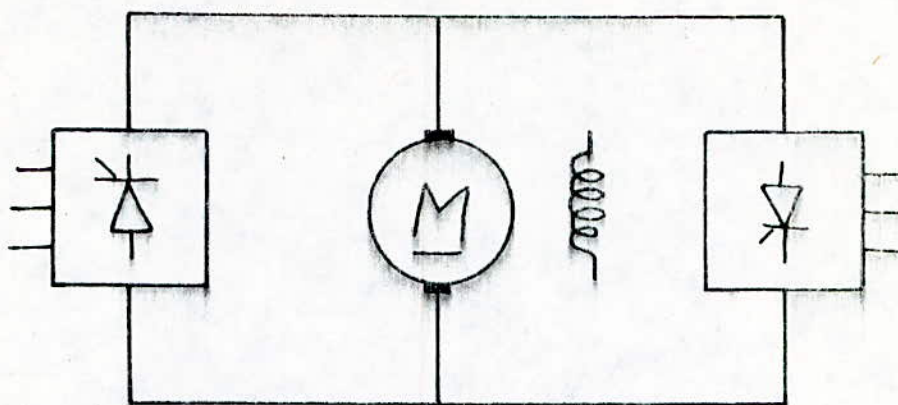


Fig 8a: Schéma Simplifié d'une commande réversible d'un moteur a courant continu par L'induit

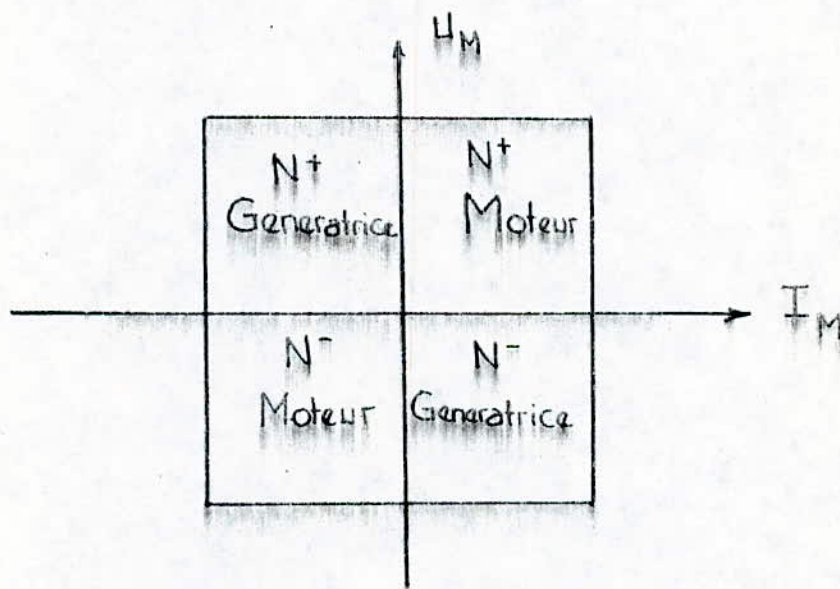


Fig 8b : Mode de fonctionnement d'un convertisseur réversible dans un système d'axes (U_M, I_M).

soit toujours négative par rapport au sens passant des thyristors débitant le courant dans le moteur, en d'autre terme il faut que la tension instantanée du groupe onduleur soit supérieur à celle du groupe fonctionnant en redresseur.

Ceci est obtenu en agissant d'une façon judicieuse sur les angles de retard à l'amorçage α_1 et α_2 qui doivent vérifier la relation suivante :

$$\alpha_1 + \alpha_2 \leq 2 \alpha_0$$

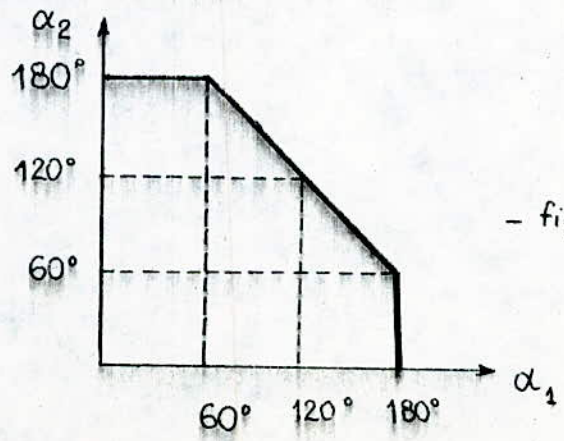
α_0 : étant l'angle pour le quel le courant d'induit est nul, $\alpha_0 = 114^\circ$

En prenant une marge de sécurité, nous avons :

$$\alpha_1 + \alpha_2 \leq 240^\circ$$

La loi de variation de α_1 et α_2 est indiqué sur le schéma de la fig 9

α_1 reste constant et égale a 180° , quand α_2 croit jusqu'a ce qu'il atteint 60° et commence à dimiuer au delà de 60° ce n'est qu'ensuite quand sa valeur est égale à 60° dans ce cas la, la valeur de α_2 sera constante et égale 180° .



- fig 9 -

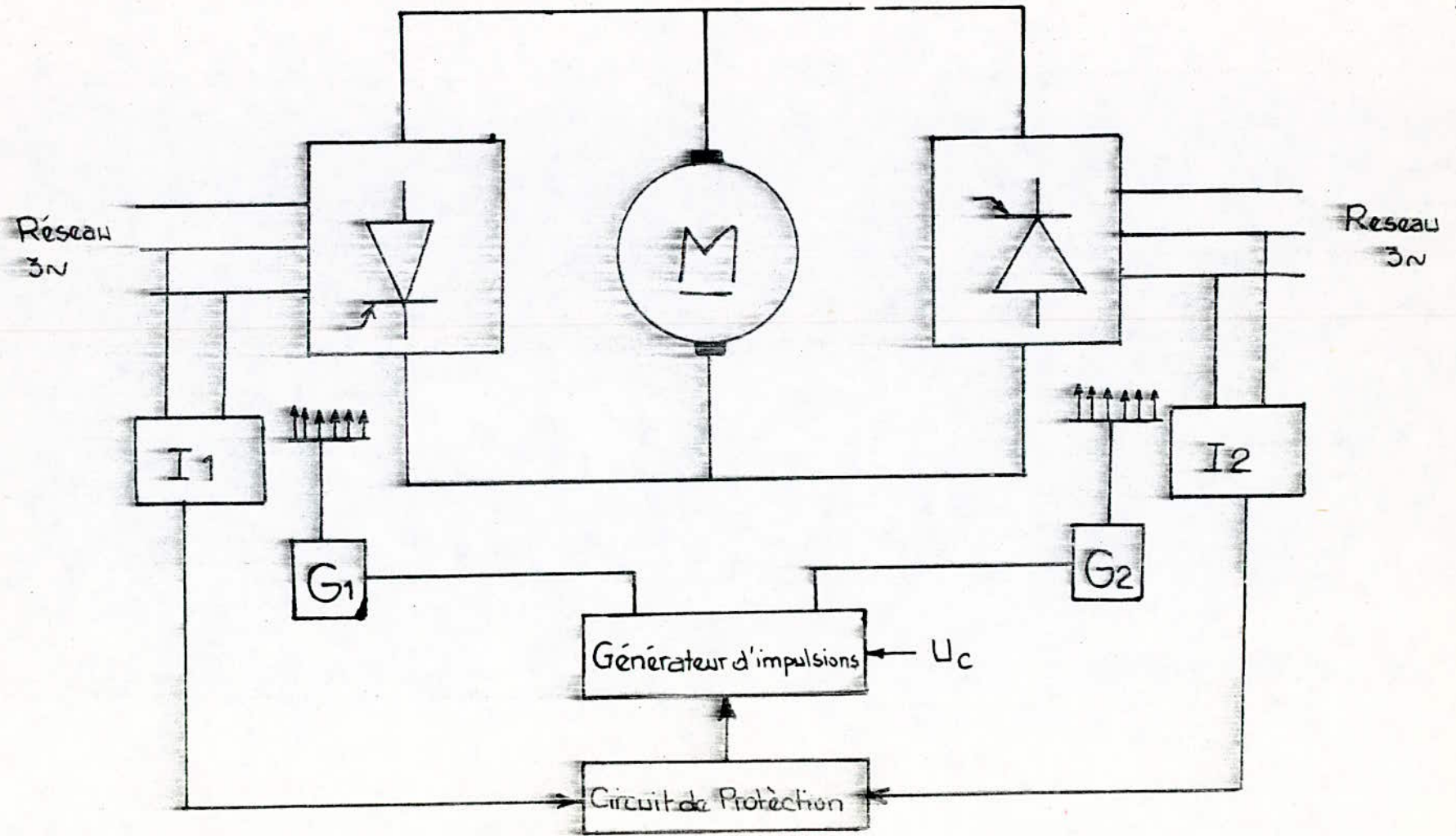


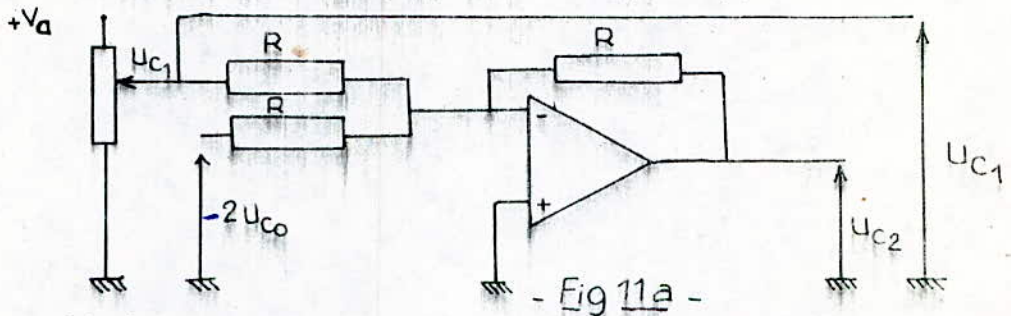
Fig 10 Schéma synoptique de la commande réversible

II.3 dispositif de commande des gâchettes des thyristors.

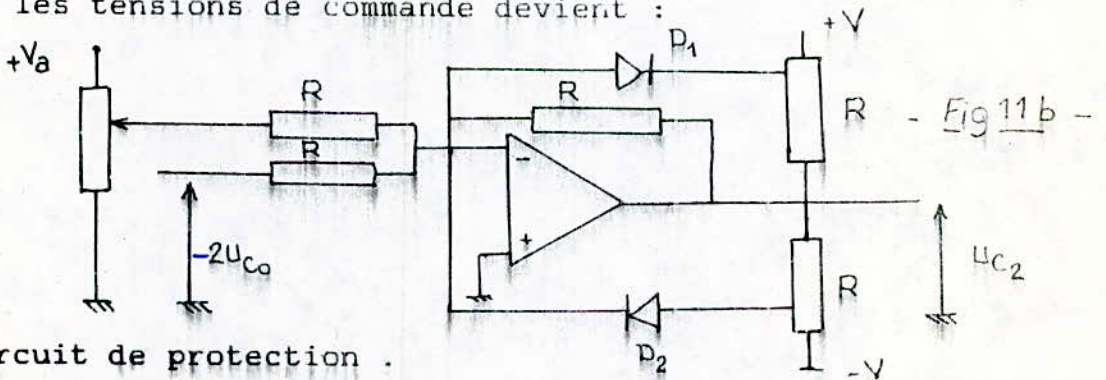
Il faut agir sur les tensions de commandes des deux ponts U_{c1} et U_{c2} de manière que ces dernières vérifient la relation suivante :

$$U_{c2} = - (U_{c1} + 2U_{c0})$$

U_{c0} : étant la valeur de la tension de commande qui permet de donner l'angle d'amorçage α_0 (dans notre cas la tension de commande $U_{c0} = 1,4 \text{ V}$).



Pour limiter la tension de commande on utilise un limiteur avec diodes en contre-réaction, et le schéma qui nous permet d'avoir les tensions de commande devient :



II.5 Circuit de protection .

La commande réversible avec bande morte étant une commande sans courant de circulation, un seul pont fonctionne à la fois, la différence réside sur la séquence de commande des gâchettes des thyristors des deux ponts.

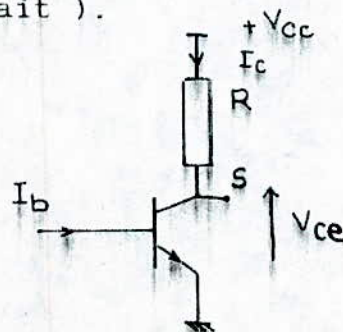
La présence d'un défaut pouvant s'induire dans le circuit de commande ou un défaut accidentel d'allumage, entraîne la conduction simultanée des deux ponts convertisseurs donc, un court-circuit qui provoque une surintensité dans le circuit de puissance d'ou la destruction de ce dernier.

L'élimination d'un tel défaut nécessite un dispositif de protection sûr, dans notre cas on a eu recours a un montage réalisé par un interrupteur statique conçu sur la base de transistors travaillant en commutation qui permet la suppression complète des impulsions aux gâchettes des deux ponts, et ceci par action sur les alimentations des amplificateurs de courant des deux ponts.

- Principe de fonctionnement d'un transistor en commutation

Un transistor de puissance travaillant en commutation ne peut occuper que deux états stables.

- état bloqué ($I_c = 0$, $V_{ce} = V_{cc}$ pour transistor parfait)
- état passant ($I_c = V_{cc}/R$, $V_{ce} = 0$ pour un transistor parfait).



- Fig 12 -

L'état bloqué est obtenu pour un courant de base $I_b = 0$ c'est à dire :

- soit pour $V_{be} = 0$

- soit pour $V_{be} < 0$

La commutation du transistor est assurée par une logique qui doit vérifier la condition suivante :

- Les deux ponts ne doivent jamais fonctionner en même temps

Soient les variables suivantes :

$I_1 = 1$ Signal de présence de courant pour le pont 1

$I_2 = 1$ Signal de présence de courant pour le pont 2

$G = 1$ signal d'absence d'impulsions sur les deux ponts

- Table de vérité -

! Cas !	1	!	2	!	3	!	4	!
! I_1 !	1	!	0	!	1	!	0	!
! I_2 !	1	!	1	!	0	!	0	!
! G !	1	!	0	!	0	!	0	!

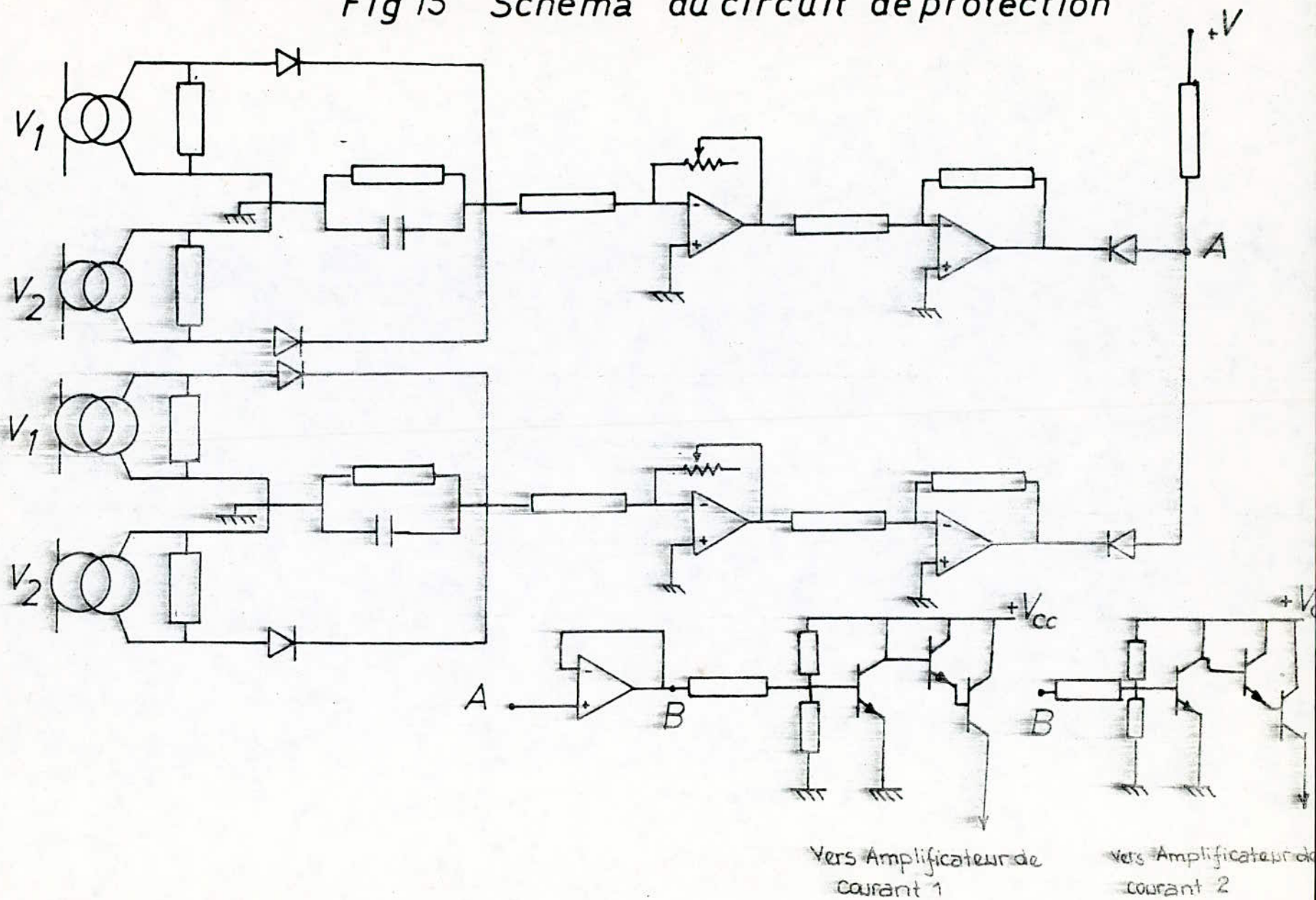
$$G = I_1 \cdot I_2$$

- Réalisation

Pour avoir l'information de la présence de courant du réseau vers le convertisseur deux transformateurs d'intensité placés sur deux phases du côté alternatif suffisent.

de plus, ces transformateurs d'intensité permettent une séparation galvanique entre le circuit de commande et le circuit de puissance .

Fig 13 Schéma du circuit de protection



Vers Amplificateur de courant 1

Vers Amplificateur de courant 2

5

Les résistances mises au secondaire de chaque transformateur convertissent l'image de ce courant en une tension qui par la suite sera redressé par un redressement double voies à point milieu , puis filtrée par un circuit RC.

Un ampli-opérationnel amplifie la tension redressée et la quelle est rendue positive à l'aide d'un montage inverseur (réalisé à l'aide d'un μ A 741).

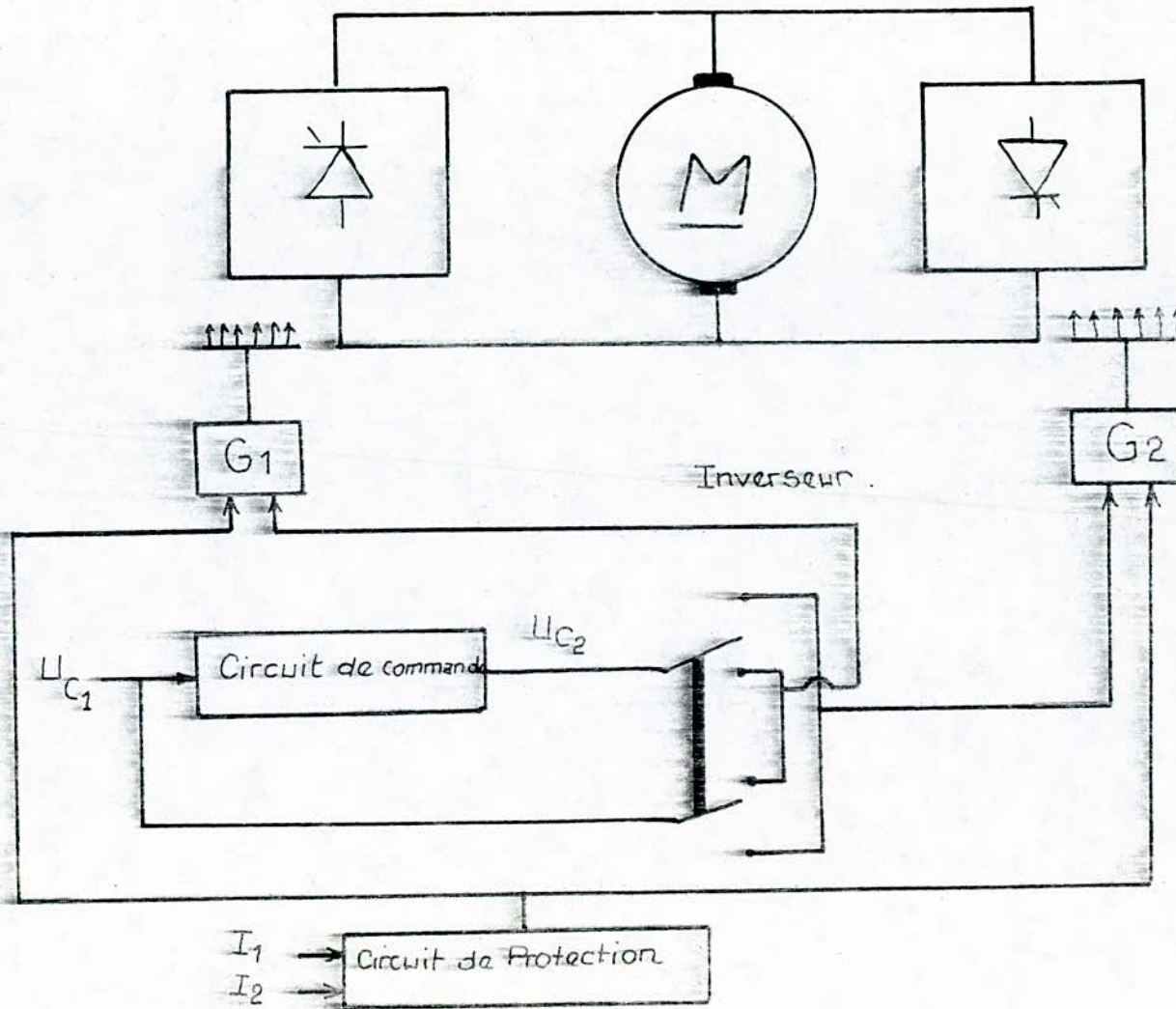
Le signal de sortie de l'inverseur attaque l'entrée positive d'un montage suiveur.

A la sortie du suiveur on attaque la base d'un premier transistor T1 qui lui même attaque un darlington .

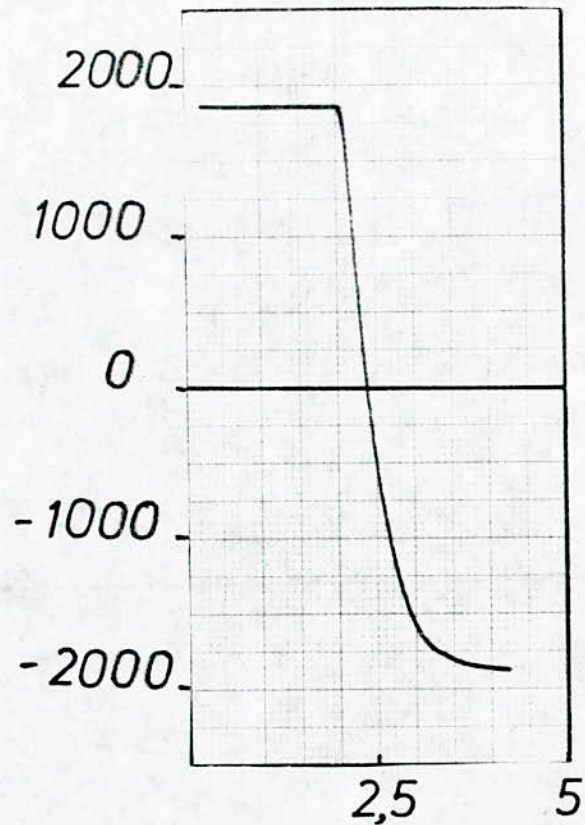
Ce dernier, travaille en commutation.

Ainsi on doit avoir un amplificateur pour chacun des deux ponts et ouverture de ces derniers lorsque les transistors recoivent un niveau logique " 1 " c'est à dire conduction simultanée des deux ponts.

Fig 14 Schéma de la commande réversible avec inverseur

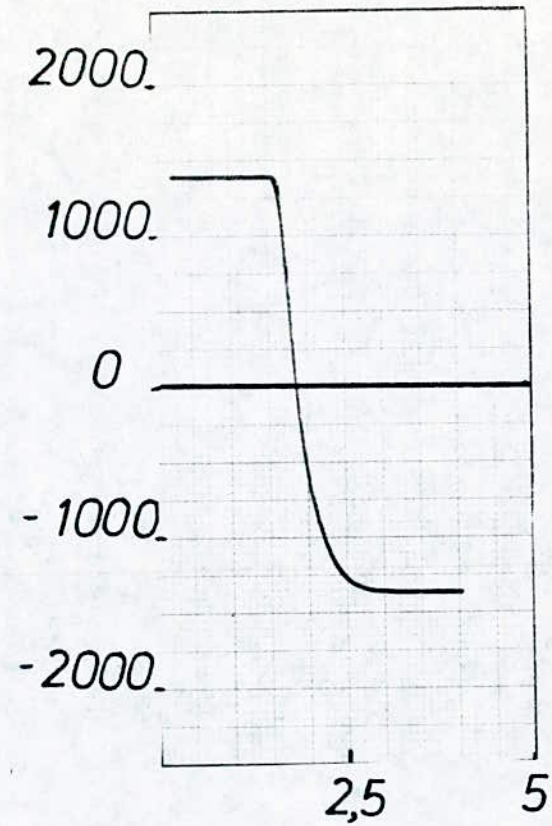


A vide



$$N = 1875 \text{ tr/mn}$$

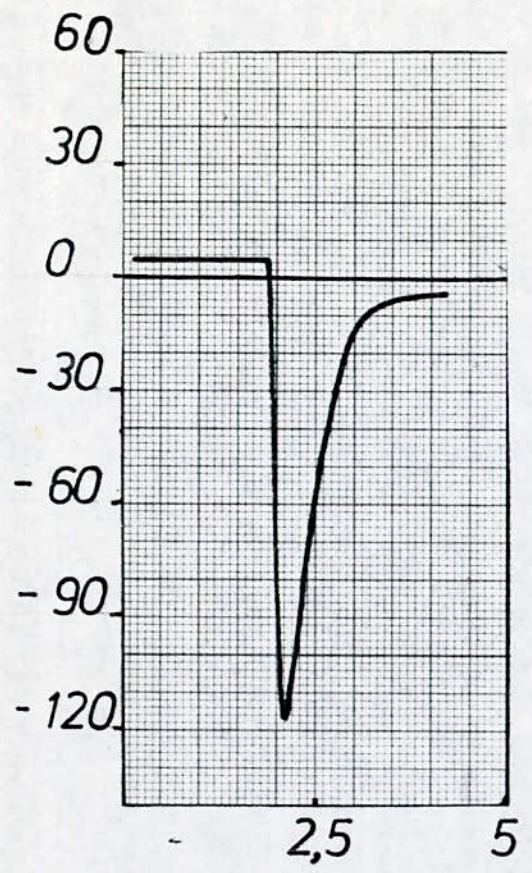
En charge



$$N = 1450 \text{ tr/mn}$$

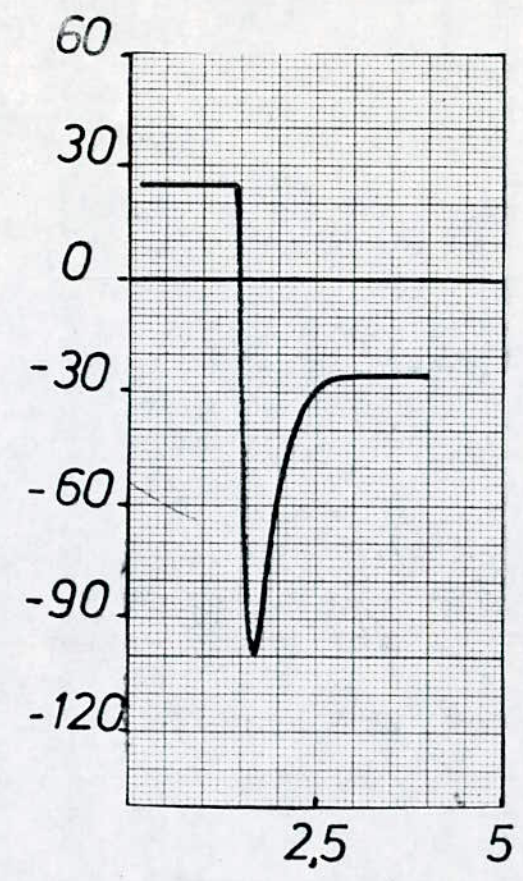
Fig 15 Inversion de la vitesse pour $\alpha = 15^\circ$

A vide



$$I_M = 4,2 \text{ A}$$

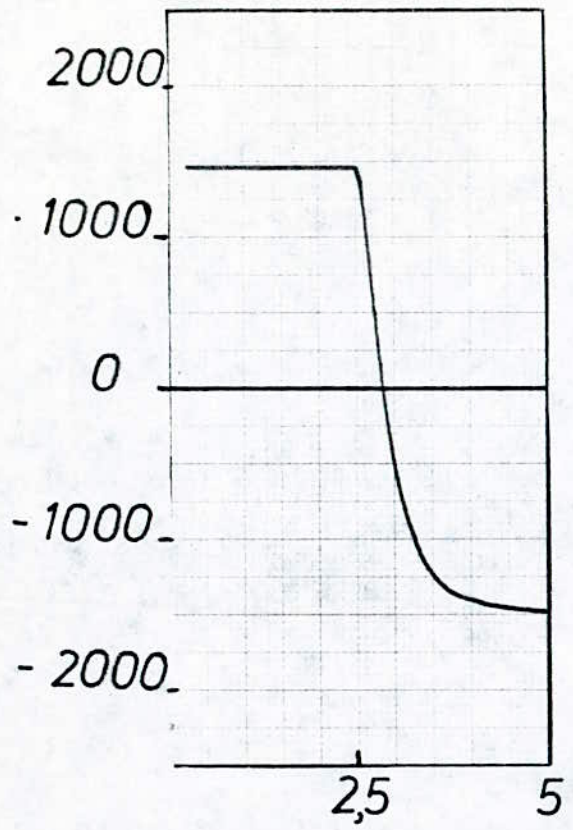
En charge



$$I_M = 24 \text{ A}$$

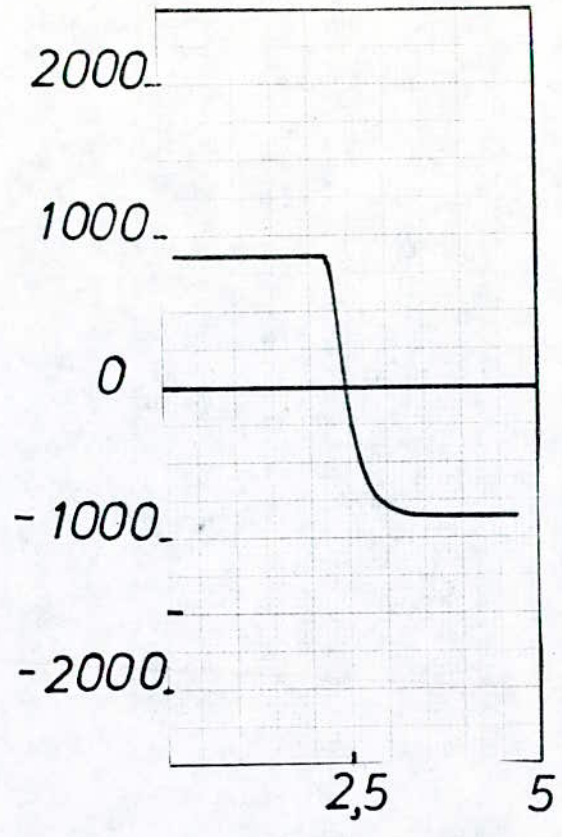
Fig 16 Inversion du courant pour $\alpha = 15^\circ$

A vide



$N = 1450 \text{ tr/mn}$

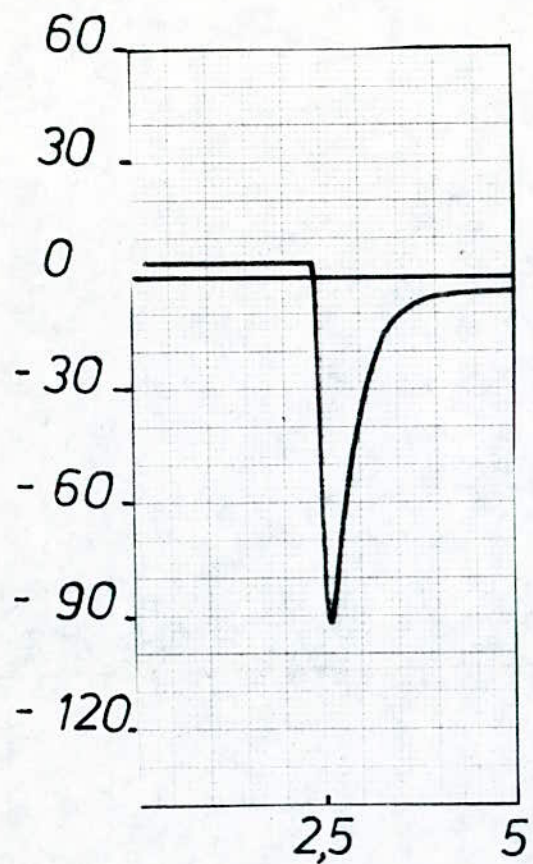
En charge



$N = 870 \text{ tr/mn}$

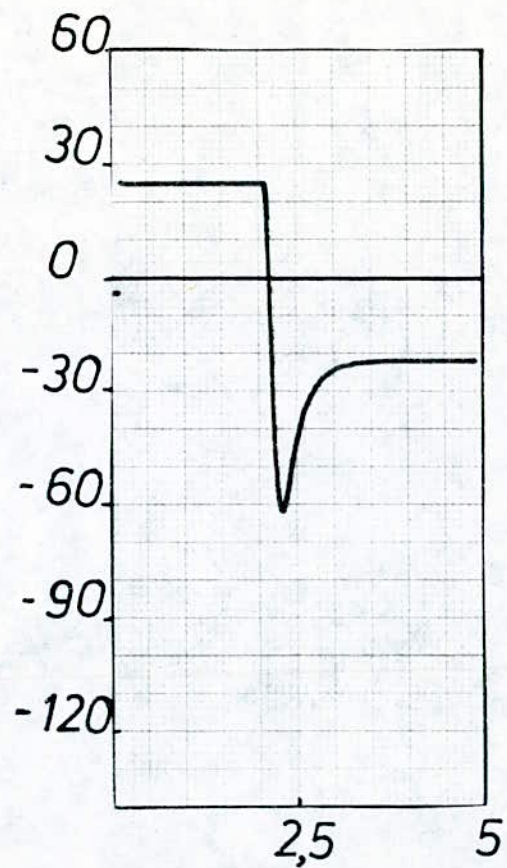
Fig 17 Inversion de la vitesse pour $\alpha = 30^\circ$

A vide



$$I_M = 3,2 \text{ A}$$

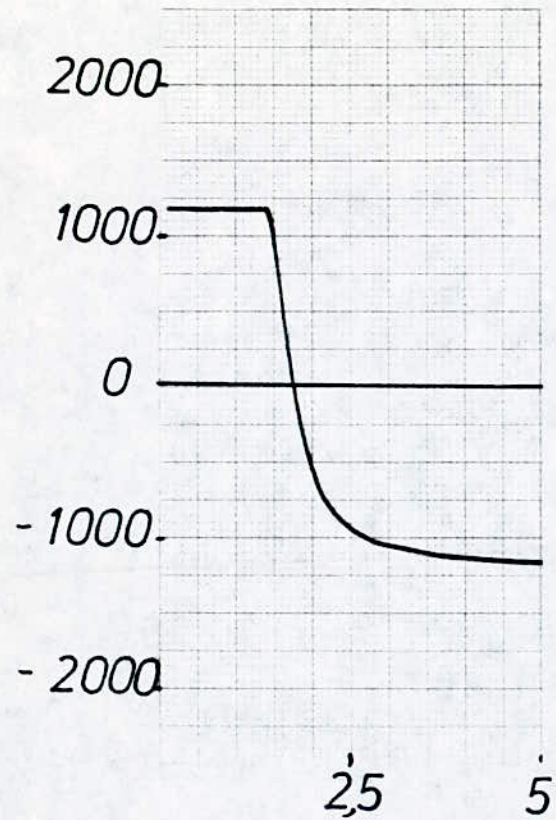
En charge



$$I_M = 24 \text{ A}$$

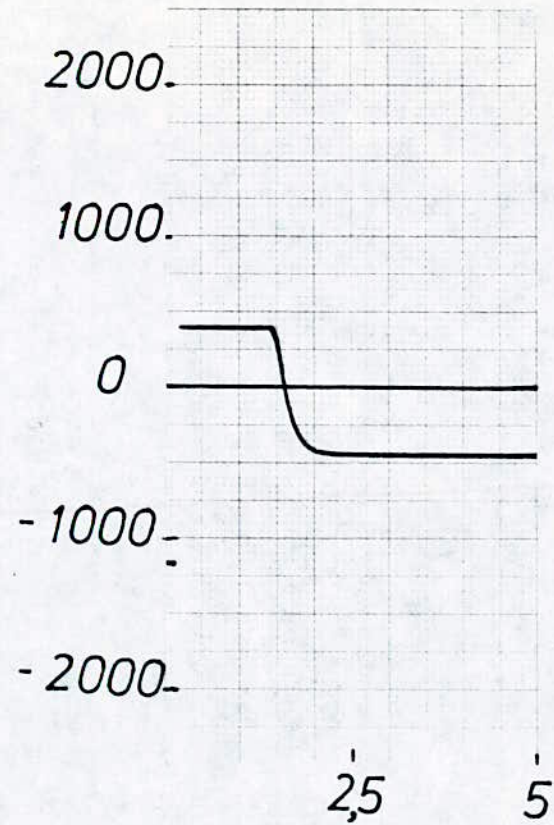
Fig 18 Inversion du courant pour $\alpha = 30^\circ$

A vide



$$N = 1175 \text{ tr/mn}$$

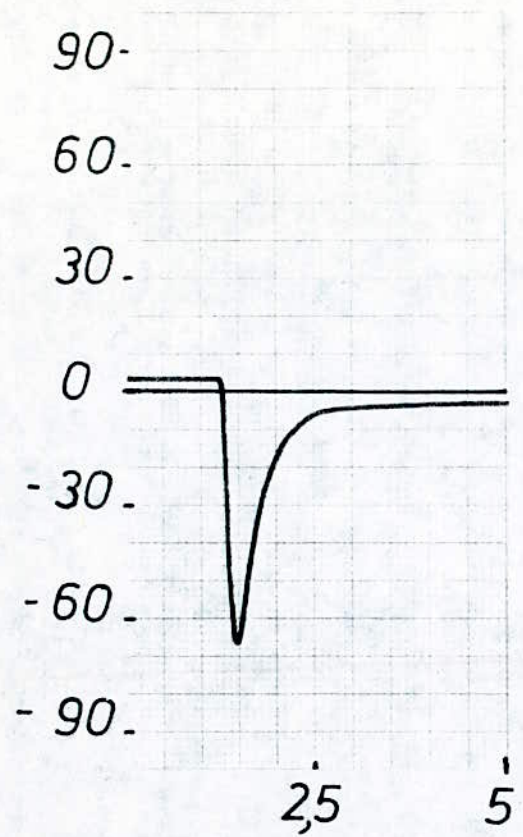
En charge



$$N = 400 \text{ tr/mn}$$

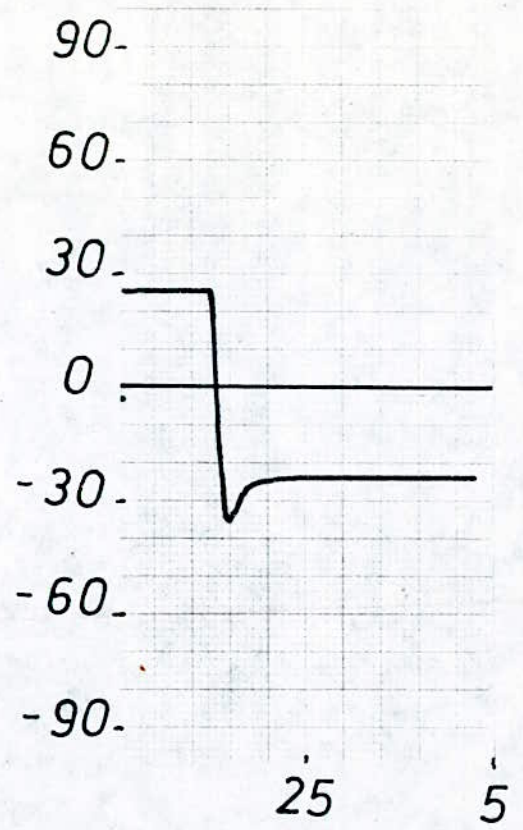
Fig 19 Inversion de la vitesse pour $\alpha = 45^\circ$

A vide



$I_M = 4 \text{ A}$

En charge

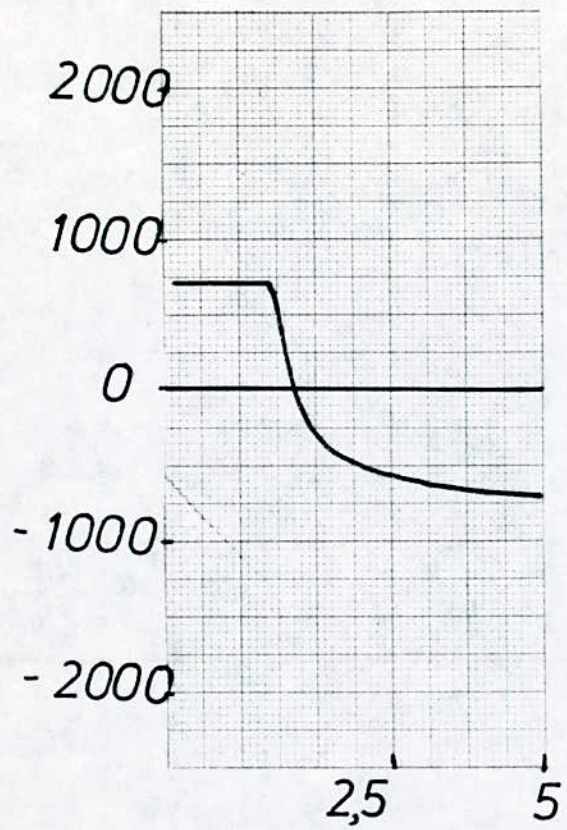


$I_M = 26 \text{ A}$

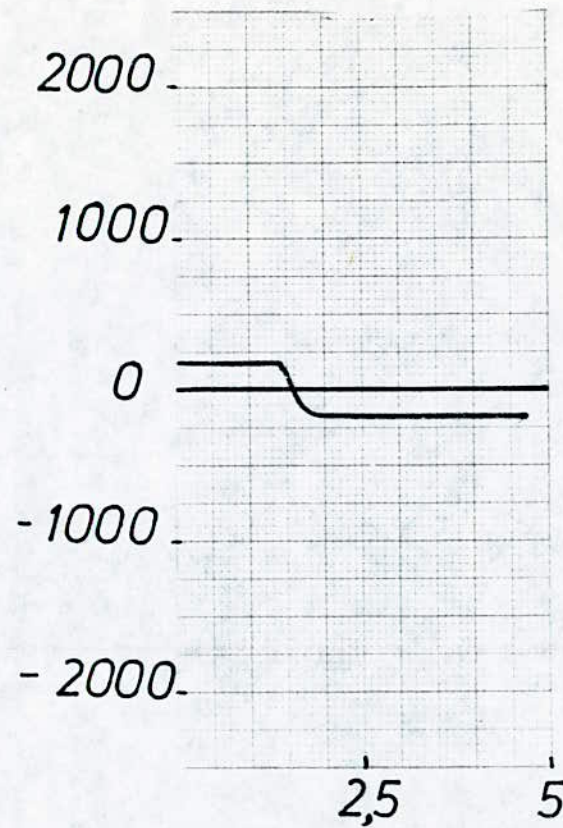
Fig 20 Inversion du courant pour $\alpha = 45^\circ$

A vide

En charge



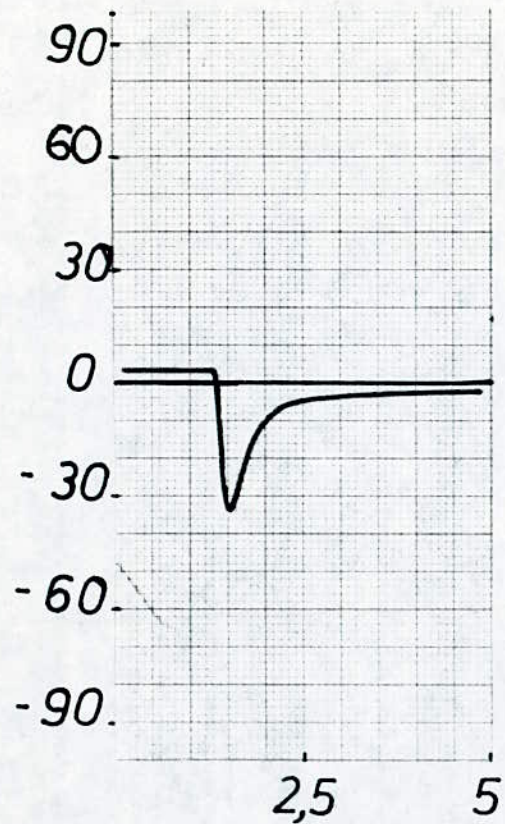
$N = 700 \text{ tr/mn}$



$N = 200 \text{ tr/mn}$

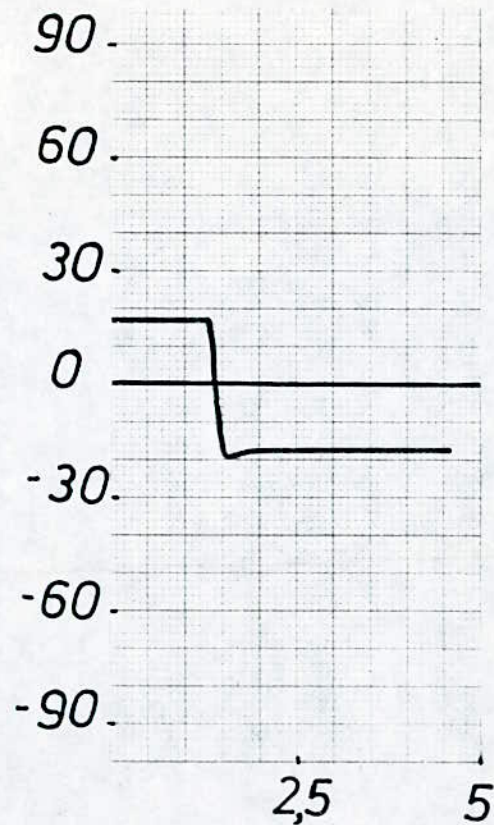
Fig 21 Inversion de la vitesse pour $\alpha = 60^\circ$

A vide



$$I_M = 4 \text{ A}$$

En charge



$$I_M = 17 \text{ A}$$

Fig²² Inversion du courant pour $\alpha = 60^\circ$

α	$t_{ON} (s)$	$t_{OC} (s)$	$t_{in N} (s)$	$t_{in C} (s)$
15°	0,27	0,08	1,4	1,5
	Fig: 15	Fig: 16	Fig: 15	Fig: 16
30°	0,27	0,07	1,3	1,4
	Fig: 17	Fig: 18	Fig: 17	Fig: 18
45°	0,19	0,09	0,9	1,1
	Fig: 19	Fig: 20	Fig: 19	Fig: 20
60°	0,2	0,1	0,5	0,8
	Fig: 21	Fig: 22	Fig: 21	Fig: 22

Fig 23 Inversion du courant et de la vitesse en charge .

α	$t_{ON}(s)$	$t_{OC}(s)$	$t_{inN}(s)$	$t_{inc}(s)$
15°	0,36	0,04	1,9	2,0
	Fig 15	Fig 16	Fig 15	Fig 16
30°	0,35	0,04	2,4	2,5
	Fig 17	Fig 18	Fig 17	Fig 18
45°	0,35	0,04	3,5	3,2
	Fig 19	Fig 20	Fig 19	Fig 20
60°	0,35	0,05	3,6	3,7
	Fig 21	Fig 22	Fig 21	Fig 22

Fig 24 Inversion de la vitesse et du courant à vide.

II.7 Interprétations

A/ - Essais d'inversions du courant d'induit

a/ - Courant de crête.

Quand le moteur tourne dans un sens la f_{cem} s'oppose à la tension d'alimentation, quand on change brusquement son sens de rotation les deux tensions deviennent de même signe donc s'ajoutent d'où la crête de courant qui n'est limitée que par la résistance de l'induit du moteur.

Nous avons :

$$I_M = \frac{U_M - E}{R_a}$$

lors du freinage et avant l'inversion

$$I_M = \frac{U_M + E}{R_a}$$

Lors des essais d'inversions la valeur de crête peut parfois atteindre des valeurs très grandes (de l'ordre de 5 fois le courant nominal du moteur).

la valeur de crête du courant diminue de l'essai à vide à l'essai en charge pour un même angle d'amorçage α .

De même, pour une même charge ce dernier (courant de crête) diminue en augmentant l'angle d'amorçage.

En effet, pour la première, la tension d'alimentation du moteur diminue de l'essai à vide à l'essai en charge du fait des chutes de tensions qui dépendent du courant redressé moyen et de plus la vitesse du moteur va chuter qui entraîne une diminution de la f_{cem} qui sont liés par le facteur de proportionnalité $K\Phi = Cst$.

De même si α augmente la tension d'induit diminue ce qui engendre une diminution de N donc, on se retrouve exactement dans le premier cas mais avec une diminution moins accentuée.

b/ - temps d'inversion du courant d'induit.

C'est le temps mis par le moteur lors de l'inversion du courant (vitesse) pour retrouver son régime de fonctionnement permanent dans l'autre sens.

A vide le temps d'inversion du courant croit en augmentant l'angle du retard à l'amorçage α , ce qui n'est pas le cas pour l'essai en charge, On peut expliquer ça par l'équation du régime transitoire durant l'inversion (et après l'inversion de la vitesse) .

$$U_M = E + Ra I_M + L \frac{dI_M}{dt}$$

$$\frac{dI_M}{dt} = \frac{1}{L} (U_M + E - Ra I_M)$$

En effet, lorsque α augmente la tension moyenne redressée diminue ainsi que la f_{cem} du moteur et par suite sa vitesse, donc le gradient de courant (dI/dt) diminue, or la diminution de ce dernier est plus importante que celle de N , ce qui induit une augmentation du temps d'inversion.

Pour l'essai en charge les remarques faites dans l'essai à vide se retrouvent mais pas avec les mêmes proportions, car le terme prépondérant ici est la ^{dI_M/dt} vitesse par conséquent, si la ^{dI_M/dt} diminution de la ~~vitesse~~ prend beaucoup plus d'ampleur le temps d'inversion du courant ~~augmente~~.
^{diminue}

On constate aussi que le temps d'inversion du courant diminue rapidement de l'essai a vide a l'essai en charge.

Ce qui est normal car vu la diminution du courant de crête ainsi que la tension du moteur en charge dues aux différentes chutes de tensions, l'inversion sera donc moins rapide en charge.

b/ - temps d'annulation du courant.

A un angle de retard α constant le temps d'annulation du courant croit de l'essai a vide a l'essai en charge, par contre pour une même charge ce dernier demeure faible est constant, si ce n'est qu'une très légère diminution.

L'augmentation du temps d'annulation du courant est due au fait que le courant d'induit augmente de l'essai a vide a l'essai en charge.

B/ - Essais d'inversion de la vitesse .

a/ - temps d'annulation de la vitesse.

A un angle de retard α donné le temps d'annulation de la vitesse diminue avec l'augmentation de la charge, il en est de même si on augmente l'angle α .

En effet, la vitesse du moteur chute avec l'augmentation de la charge, il faut donc un temps de plus en plus court pour l'arrêt du moteur, de même, la vitesse est proportionnelle a la tension d'induit qui elle même (vitesse) diminue en augmentant l'angle α d'ou diminution du temps d'annulation.

b/ - temps d'inversion de la vitesse .

A un angle de retard à l'amorçage α constant le temps

40

d'inversion de la vitesse du moteur diminue de l'essai a vide a l'essai en charge.

A vide ce temps croit en augmentant l'angle de retard α , par contre celui-ci diminue dans l'essai en charge avec l'accroissement de α .

L'interprétation de ces deux dernières remarques sont similaires à celle faite dans l'essai d'inversion du courant (cf partie IIA.b).

II.8 CONCLUSION .

La commande réversible avec bande morte présente des caractéristiques identiques a celle de la commande non réversible de ce fait nous n'avons pas de consommation excessives en puissance active et réactive puisque un seul pont conduit à la fois, le rendement est similaire a celui de la commande non reversible et est proche de celui du moteur.

De même la gamme de variation de l'angle d'amorçage est très large (15° a 180°), le circuit de commande est assez simple, peu encombrant et n'affecte pas le coût de l'installation

D'autre part, les temps d'inversion du courant et de la vitesse sont assez faibles.

Cette commande peut être utilisée pour des installations de grandes puissances.

CONCLUSION GENERALE

La commande réversible avec bande morte est réalisée par un circuit peu encombrant, elle est utilisable pour des systèmes a grandes puissances.

Nous constatons que lorsque l'angle du retard à l'amorçage α augmente, le facteur de puissance de l'installation diminue et ça va influencer sur l'utilisation de ce montage, dans des installations devant avoir des facteurs de puissances élevés.

Lors de l'inversion, le courant d'induit passe par un régime transitoire, ou il atteint une valeur de crête qui peut atteindre 5 fois I_n , mais puisque la durée de l'inversion est assez faible, il ne présente pas beaucoup de danger pour le moteur.

Suivant le mode de commande des ponts, on peut distinguer trois montages possibles pour la commande réversible a savoir :

- avec courant de circulation.
- à logique de basculement.
- à bande morte.

La première est encombrante, le courant de circulation augmente les pertes, la plage de variation de l'angle d'amorçage est réduite .

La seconde , peut paraitre sophistiquée par son électronique séquentielle. elle satisfait aux exigences dures, avec seulement de simples circuit qui n'affectent que très peu le coût de l'aquipement , en fin elle présente un temps mort dû au blocage du pont en conduction et le déblocage de l'autre lorsque I_M s'annule.

La troisième type de commande qui a fait l'objet de notre travail semble séduisante a priori par sa simplicité et sa rapidité dans l'inversion, mais elle comporte un temps mort, ce qui peut dans certaines applications être incompatible avec les performances dynamiques demandés au système.

Selon les conditions de travail du système a entrainer, et des paramètres économiques (performances dynamiques, encombrement et coût...); On choisira la commande correspondante.

A N N E X E

Relevés des caractéristiques $U_M(I_M)$ à $\alpha = \text{constant}$:

$$\alpha = 15^\circ$$

$I_M(A)$	4,9	10	14,8	18,5	22,5	25,5
$U_M(V)$	110	105	100	95	91	89

$$\alpha = 30^\circ$$

$I_M(A)$	0,5	0,5	13	16,5	20	22,5	25,25
$U_M(V)$	99	91	89	82	80	79,5	79

$$\alpha = 45^\circ$$

$I_M(A)$	4	8	11,25	14,25	17	19	21
$U_M(V)$	81,5	79	72,5	71	69,5	63	62

23	25
61	61

$$\alpha = 60^\circ$$

$I_M(A)$	3,25	5,75	7,75	9,5	11	12,5	13,5
$U_M(V)$	60,5	52	50	49,8	48,5	48	42

15,5	17	19,5	21	21,75	22,75	23,5	24
41	40	39,8	39	38,5	33	32,5	32

$$\alpha = 75^\circ$$

$I_M (A)$	5,5	6,5	7,5	8,25	9	10	11
$U_M (V)$	31,5	30,2	29,2	29	28,9	28,2	28

12,5	13,5	14,5	15	15,5
27	26,2	26	25,5	25,1

$$\alpha = 90^\circ$$

$I_M (A)$	2,5	3,5	4	4,5	5	5,5	5,75
$U_M (V)$	26	18	16	13	10	8	7,5

Relevés des Caractéristiques $N(I_M)$ à $\alpha = \text{Constant}$:

$$\alpha = 15^\circ$$

$I_M(A)$	4,9	10	14,8	18,5	22,5	25,5
$N(\text{tr}/\text{mn})$	1836,6	1750	1666,6	1583,3	1500	1450

$$\alpha = 30^\circ$$

$I_M(A)$	0,5	0,5	13	16,5	20	22,5	25,25
$N(\text{tr}/\text{mn})$	1666,6	1533,3	1440	1370	1300	1258,3	1216,6

$$\alpha = 45^\circ$$

$I_M(A)$	4	8	11,25	14,25	17	19	21
$N(\text{tr}/\text{mn})$	1416,6	1300	1216,6	1165	1100	1050	1001,6

23	25
966,6	933,3

$$\alpha = 60^\circ$$

$I_M(A)$	3,25	5,75	7,75	9,5	11	12,5	13,5
$N(\text{tr}/\text{mn})$	1050	883,3	800	750	708,3	675	650

15,5	17	19,5	21	21,75	22,75	23,5	24
591,6	583,3	530	508,3	486,6	466,6	450	441,6

$$\alpha = 75^\circ$$

$I_M(A)$	5,5	6,5	7,5	8,25	9	10	11
$N(\pi/mn)$	508,33	458,3	433,3	416,66	391,66	375	350

12,5	13,5	14,5	15,5	15,75
320	291,66	266,6	250	245,83

$$\alpha = 90^\circ$$

$I_M(A)$	2,5	3,5	4	4,5	5	5,5	5,75
$N(\pi/mn)$	350	273,33	223,33	170	120	86,66	71,66

Relevés des Caractéristiques $P(I_M)$ à $\alpha = \text{Constant}$:

$\alpha = 15^\circ$

$I_M(A)$	4,9	10	14,8	18,5	22,5	25,5
$P(W)$	470	1030	1460	1840	2140	2302

$\alpha = 30^\circ$

$I_M(A)$	0,5	0,5	13	16,5	20	22,5	25,25
$P(W)$	410	850	1200	1480	1710	1900	2060

$\alpha = 45^\circ$

$I_M(A)$	4	8	11,25	14,25	17	19	21
$P(W)$	312	628	864	1070	1220	1360	1462

23	25
1562	1640

$\alpha = 60^\circ$

$I_M(A)$	3,25	5,75	7,75	9,5	11	12,5	14,75
$P(W)$	212	326	440	532	602	660	712

15,75	17,5	19,5	21	21,75	22,75	23,5	24
746	782	830	868	890	928	942	980

$$\alpha = 75^\circ$$

$I_M(A)$	5,5	6,5	7,5	8,25	9	10	11
$P(W)$	196	212	242	268	271,75	300	328

12,5	13,5	14,5	15	15,5
358	378	394	390	398

$$\alpha = 90^\circ$$

$I_M(A)$	2,5	3,5	4	4,5	5	5,5	5,75
$P(W)$	60	70	80	80	82	70	64

Relevés des caractéristiques $Q(I_M)$ à $\alpha = \text{Constant}$:

$$\alpha = 15^\circ$$

$I_M(A)$	4,9	10	14,8	18,5	22,5	25,5
$Q(\text{VAR})$	51,96	225,16	381,05	484,97	588,89	862,56

$$\alpha = 30^\circ$$

$I_M(A)$	0,5	0,5	13	16,5	20	22,5	25,25
$Q(\text{VAR})$	155,88	433,01	623,54	831,38	952,63	1073,9	1212,43

$$\alpha = 45^\circ$$

$I_M(A)$	4	8	11,25	14,25	17	19	21
$Q(VAR)$	228,6	540,4	796,7	1021,9	1212,4	1351	1493,02

23	25
1597	1697

$$\alpha = 60^\circ$$

$I_M(A)$	3,25	5,75	7,75	9,5	11	12,5	13,5
$Q(VAR)$	290,9	550,8	762,1	956,1	1111,9	1247,1	1364,8

14,75	15,5	17	19,5	21	21,75	22,75	23
1465,3	1555,4	1680,1	1787,1	1887,9	1960,7	2040,4	2113,1

$$\alpha = 75^\circ$$

$I_M(A)$	5,5	6,5	7,5	8,25	9	10	11
$Q(VAR)$	512,7	637,4	758,6	845,2	921,1	1011,5	1157

12,5	13,5	14,5	15	15,5
1312,9	1423,1	1520,7	1576,2	1603,9

15,5	17	19,5	21	21,75	22,75	23,5	24
41	40	39,8	39	38,5	33	32,5	32

$$\alpha = 75^\circ$$

$I_M (A)$	5,5	6,5	7,5	8,25	9	10	11
$U_M (V)$	31,5	30,2	29,2	29	28,9	28,2	28

12,5	13,5	14,5	15	15,5
27	26,2	26	25,5	25,1

$$\alpha = 90^\circ$$

$I_M (A)$	2,5	3,5	4	4,5	5	5,5	5,75
$U_M (V)$	26	18	16	13	10	8	7,5

$$\alpha = 90^\circ$$

$I_M (A)$	2,5	3,5	4	4,5	5	5,5	5,75
$Q (VAR)$	242,5	328,1	381,1	450,3	495,4	571,6	595,8

BIBLIOGRAPHIE

- /1/ - H.BÜHLER Elèctronique de puissance
 (Edition Dunod 1981).
- /2/ - G.SEGUIER Electronique de puissance
 (Edition Dunod 1979).
- /3/ - H.BÜHLER ELèctronique de réglage et de commande
 (Edition Dunod 1979).
- /4/ - M.MOUNIC Elèctronique redrèssement 2eme partie
 (Edition Foucher 1969).
- /5/ - J.L DALMASSO Cours d'élèctronique tome II
 traitement de l'énergie électrique
 convertisseurs statiques
 (Edition Belin 1984).
- /6/ - R.Chauprade Commande élèctronique des M.C.C
 (Edition Eyrolles Paris 1981).
- /7/ - A.BOUAROURA
 M.KHEMIRI Commande réversible d'une machine
 a courant continu "à circulation de
 courant".
 (Thèse d'ingenieur d'état promotion
 Janvier 1987. E.N.P).
- /8/ - N.SELLI Commande réversible d'une machine à
 courant continu " avec logique de
 basculement".
 (Thèse d'ingénieur d'état promotion
 Janvier 1987. E.N.P).

BEXTERA STIR