

12/80

200

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT GENIE ELECTRIQUE



PROJET DE FIN D'ETUDES

S U J E T

ASSOCIATION MACHINE A COURANT CONTINU

PONT DE GRAËTZ (FONCTIONNEMENT EN ONDULEUR)

Proposé par :

M A. MAAZI
M R TAHMI

Etudié par :

BOUHAFER AZIZ
HAMAIZIA SLIMANE

Dirigé par :

M A MAAZI
M R TAHMI

PROMOTION : JUIN 1986

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

أهدي هذا الجهد - أوّل ما أهديه - مالى والديّ
اللذين كانا - بفضل الله - من وراء دراستي .
أهديه إليهما حبّاً لهما واعترافاً بفضلهما .
كما أهديه مالى كل من تربطني وإياها رابطة الأخوة
في الإسلام .
سليمان

DEDICACES

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

A la mémoire de mon père

A ma mère

A mes frères et sœurs

A mon grand-père et ma grand-mère

A mes amis

Je dédie ce travail modeste.

Aziz

Remerciement

Nous exprimons ici notre sincère gratitude à Messieurs A. MAAZI et R. TAHMI Pour nous avoir guidé tout le long du semestre. Les conseils qu'ils nous ont prodigués étaient fructueux.

Nous remercions également tous les enseignants qui nous ont aidés lors de notre travail dans le laboratoire et, en particulier, Monsieur O. TOUHAMİ

SOMMAIRE

- chapitre I : Introduction
- chapitre II : A. Dispositif de la Commande de Gachette
B. Plaque signalétique de M.C.C. utilisée
- chapitre III. Montages étudiés
 - A. Montage monophasé en Pont de Graëtz
 - * A.1. charge résistive
 - * A.2. charge inductive
 - * A.2.1. Conduction discontinue
 - A.2.2. Conduction Continue
 - B. Montage Triphasé
 - B.1. charge résistive
 - B.1.1. L'angle d'allumage est $\theta_2 \leq 30^\circ$
 - B.1.2. L'angle d'allumage est $\theta_2 > 30^\circ$
 - B.2. : charge inductive
 - C. Montage Triphasé en Pont de Graëtz
- chapitre IV : ESSAIS SUR charge passive
 - A. Montage monophasé en Pont de Graëtz
 - A.1. Alimentation d'une charge Purement résistive
 - A.2. Alimentation d'une charge inductive
 - B. Montage triphasé à cathode commune
 - B.1. charge résistive
 - B.2. charge inductive

C. Pont de Graetz

C.1. Charge résistive

C.2. charge inductive

D. Interpretation et Comparaison

Chapitre V : Débit du convertisseur sur le moteur

A - montage

B - Essais

Chapitre VI : Onduleur non autonome

A - fonctionnement

B. Mise d'une inductance forte en série avec
le circuit d'induit de la M.C.C.

C. Procédure

D. Phénomène de décrochage de l'onduleur
et précautions

E. Montage

f - ESSAIS

Notations

- . Tension de phase
 - . instantanée : v_1, v_2, v_3
 - . maximale : V_M
- . Tension entre phases
 - . instantanée : u
 - . maximale : U
- . Tension aux bornes de la charge:
 - . instantanée : u_c
 - . Moyenne U_c
- . Courant dans la charge.
 - . instantané : i_c
 - . moyen I_c
- . Angle d'allumage : θ_a
- . Angle d'extinction : θ_e
- . f.c.e.m du moteur alimenté par le convertisseur : E
- . vitesse du moteur : N
- . Résistance et inductance de la charge R, L .
- . Inductance critique : L_c
- . nombre de phases : q
- . Puissance côté continu : P_c
- . Puissance côté alternatif : P_a
- . η : rendement du convertisseur

CH. I: INTRODUCTION

Dans certaines applications industrielles on a besoin de transformer de l'énergie électrique pour l'une de ses caractéristiques

Auparavant ces modifications étaient réalisés par une association de machines tournantes (tel que le groupe de W. Leonard)

L'électronique de puissance apporte des solutions meilleures, en ce qui concerne l'encombrement (à puissance utile égale), la fiabilité, l'entretien et surtout le rendement. En effet un convertisseur possède un bon rendement car il est constitué à base d'éléments semi-conducteurs qui ont une faible consommation.

Le but essentiel de notre thèse est de faire fonctionner le convertisseur en onduleur assisté

Dans un premier temps, on fera un bref aperçu sur le dispositif de commande du convertisseur utilisé, ensuite, on parlera des essais sur le convertisseur (en mode redresseur) débitant sur une charge passive (R, L) puis active (M.C.C)

Enfin, on parlera du fonctionnement en mode onduleur non autonome et des essais faits dans ce domaine

CH-2.A. DISPOSITIF DE LA COMMANDE DE GACHETTES

La commande utilisée est : la commande "arc cosinus"
Les impulsions d'allumage ont la même fréquence que la tension de référence U_r et sont décalées de θ_a par rapport au passage par la valeur de crête de U_r . θ_a est donné par la formule suivante.

$$\theta_a = \arccos \frac{U_{cm}}{U_H} \quad \text{où } U_{cm} : \text{tension de commande}$$

U_H : valeur de crête de la tension de référence U_r
Les parties essentielles de ce dispositif sont indiquées sur le schéma suivant :

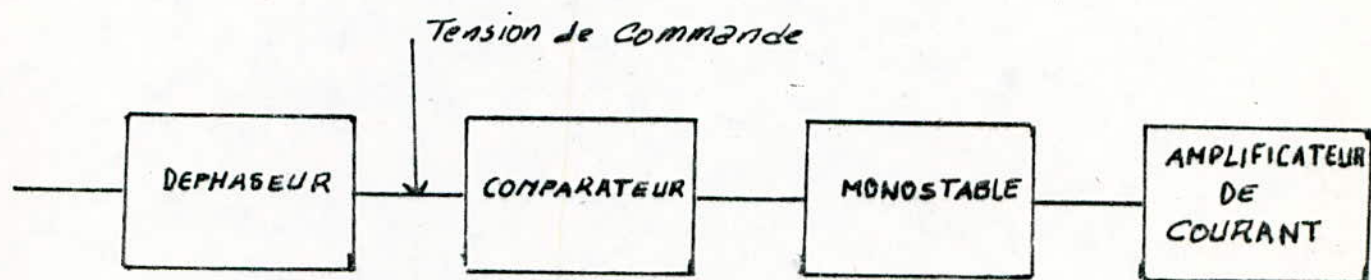


schéma synoptique du dispositif de la commande de gachettes

1. Le déphaseur : sert à déphaser la tension délivrée par le réseau d'un certain angle : la tension déphasée obtenue est la tension de référence.
Pour le monophasé : le déphasage est 90°
Pour le triphasé : le déphasage est 120°
2. Le comparateur : il compare la tension de commande (continue) à la tension de référence
3. Monostable : le monostable produit des impulsions de durée calibrée.
4. Amplificateur de courant : amplifie le courant débité par le monostable

B. PLAQUE SIGNALÉTIQUE DE M.C.C UTILISÉE

- tension d'induit $U_N = 120 \text{ V}$
- le courant d'induit $I_N = 24 \text{ A}$
- la vitesse nominale $N_n = 1800 \text{ tr/min}$
- la puissance nominale $P_n = 2,2 \text{ kW}$
- le courant d'excitation $i = 0,95 \text{ A}$

C. Valeurs caractéristiques des thyristors utilisés dans le convertisseurs

$$I = 100 \text{ A}$$

$$V_{i_{\text{max}}} = 1200 \text{ V}$$

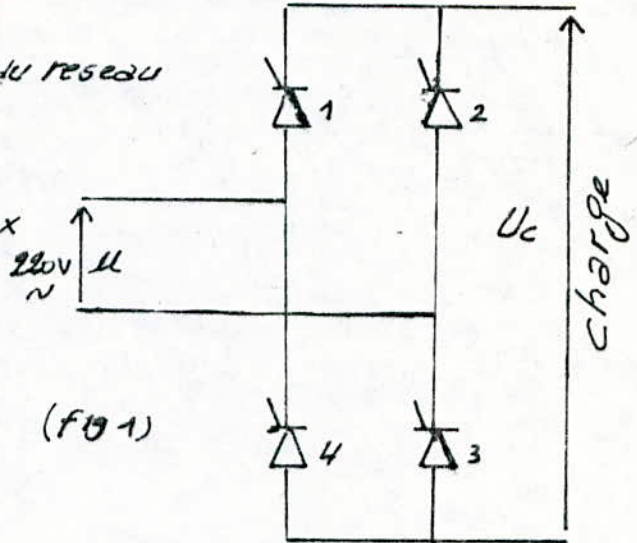
CH-3 MONTAGES ETUDIÉS

A. MONTAGE MONOPHASÉ EN PONT DE GRAËTZ (Fig 1)

u : tension alternative du réseau

$$u = U_m \sin \omega t$$

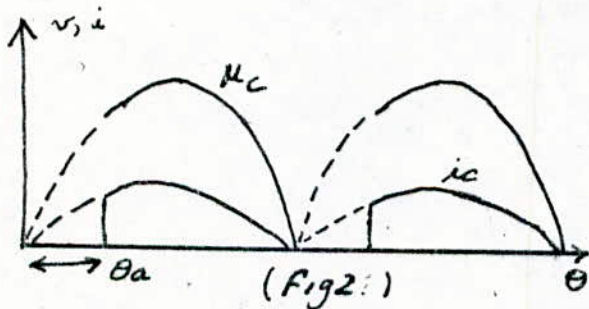
U_c : tension moyenne aux bornes de la charge



Deux thyristors conduisent en même temps (1,3) puis (2,4) si les conditions d'allumage du thyristor sont remplies.

La tension et le courant sont formés chacun de deux calottes par période.

A.1. CHARGE RESISTIVE



La tension instantanée u_c aux bornes de la charge est toujours positive

Le courant est toujours interrompu

pour $\theta_a \neq 0$.

$$U_c = \frac{U_{c0}}{2} (1 + \cos \theta_a)$$

$$\text{où } U_{c0} = \frac{2U_m}{\pi}$$

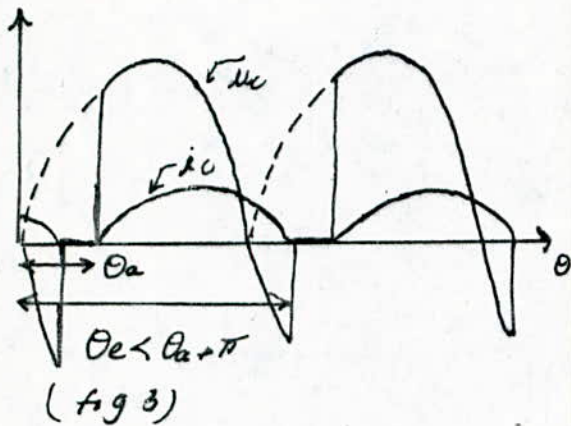
θ_a : Angle d'allumage du thyristor :

à compter à partir de l'instant de commutation naturelle.

A.2. CHARGE INDUCTIVE : Elle prolonge le courant et diminue son ondulation.

A.2.1. CONDUCTION DISCONTINUE : si l'inductance L est inférieure à la valeur critique L_c ($L < L_c$) la conduct

est discontinue. (fig 3)



Dans ce cas l'angle d'extinction

$$\theta_c < \theta_2 + \pi$$

$$U_c = \frac{1}{\pi} \int_{\theta_2}^{\theta_c} U_m \sin \theta \, d\theta = \frac{U_m}{\pi} [\cos \theta_2 - \cos \theta_c]$$

La tension moyenne est

$$U_c = \frac{U_{c0}}{2} [\cos \theta_2 - \cos \theta_c]$$

$$\pi < \theta_c < \theta_2 + \pi \rightarrow \cos \theta_c < 0$$

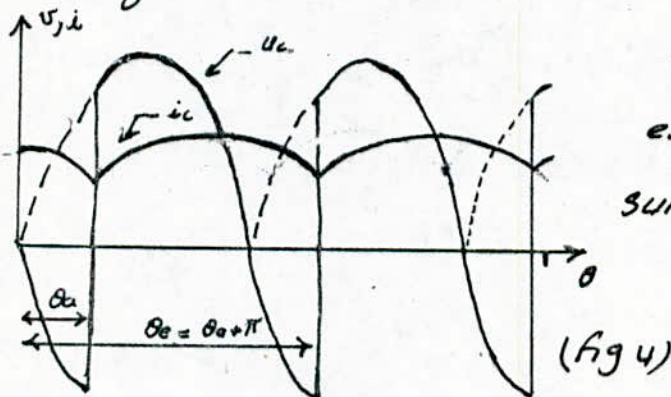
$$- \cos \theta_c > \cos \theta_2$$

Alors la tension moyenne

$$U_c > U_{c0} \cos \theta_2 \rightarrow \text{Conduction discontinue}$$

A-2-2. CONDUCTION CONTINUE (fig 4)

Les couples de thyristors (1, 3) et (2, 4) conduisent chacun pendant une demi-période car le courant est totalement prolongé.



Pour $\theta > \pi$ la tension instantanée est négative tant que le couple suivant ne s'est pas amorcé.

Valeurs moyennes : La formule précédente est valable, seulement

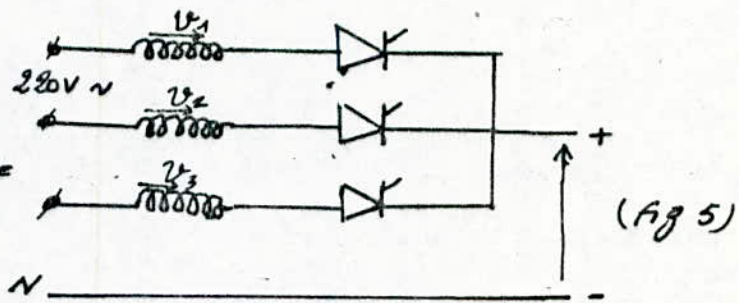
$$\text{ci : } \theta_c = \theta_2 + \pi \rightarrow U_c = \frac{U_{c0}}{2} [\cos \theta_2 - \cos(\theta_2 + \pi)] = U_{c0} \cos \theta_2$$

$$U_c = U_{c0} \cos \theta_2 \rightarrow \text{Conduction continue}$$

$$\text{Le courant moyen est } I_c = \frac{U_c}{R}$$

B. MONTAGE TRIPHASÉ (fig 5)

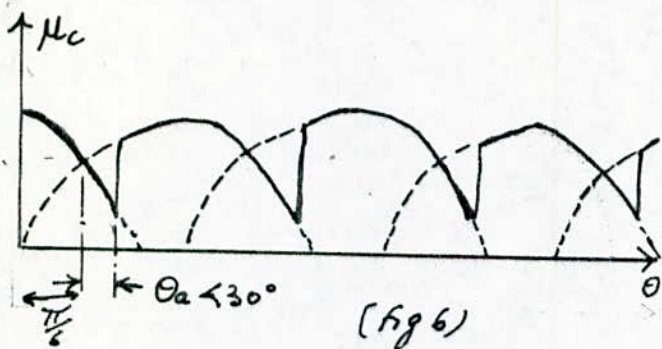
Ce montage permet
d'avoir trois colottes
par période décalées de
 $\frac{2\pi}{3}$. L'indice de
pulsation est $P=3$.



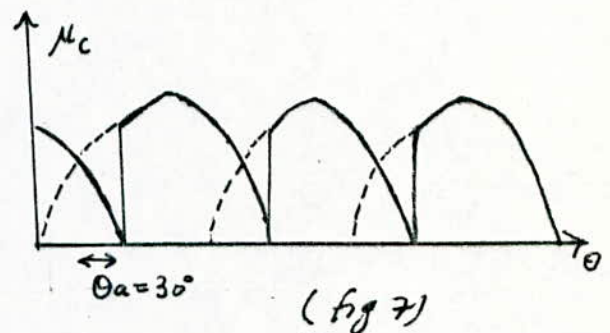
A chaque instant un seul thyristor conduit à savoir celui ayant son anode au plus haut potentiel. Des impulsions sont appliquées à des époques décalées d'un tiers de période l'une par rapport à l'autre.

B-1. CHARGE RESISTIVE On a deux cas.

B.1.1. L'ANGLE D'ALLUMAGE EST $\theta_a \leq 30^\circ$: Dans ce cas le courant est ininterrompu dans la charge (fig 6 et 7)



$$\theta_a < 30^\circ$$



$$\theta_a = 30^\circ$$

θ_a : Compté à partir de la commutation naturelle
(l'intersection des deux courbes)

Tension moyenne

$$U_c = \frac{3}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{6} + \theta_a}^{\frac{5\pi}{6} + \theta_a} V_m \sin \theta d\theta = \frac{3}{2\pi} V_m \left[-\cos \theta \right]_{\frac{\pi}{6} + \theta_a}^{\frac{5\pi}{6} + \theta_a}$$

$$U_c = \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} V_m \cos \theta_a = U_{c0} \cos \theta_a$$

B-1.2. ANGLE D'ALLUMAGE $\theta_a > 30^\circ$

Pour cet angle la tension et le courant sont interrompus.

Le courant s'interrompt depuis l'époque $t = \frac{\pi}{3\omega}$ jusqu'à l'application de l'impulsion suivante.

la tension redressée moyenne

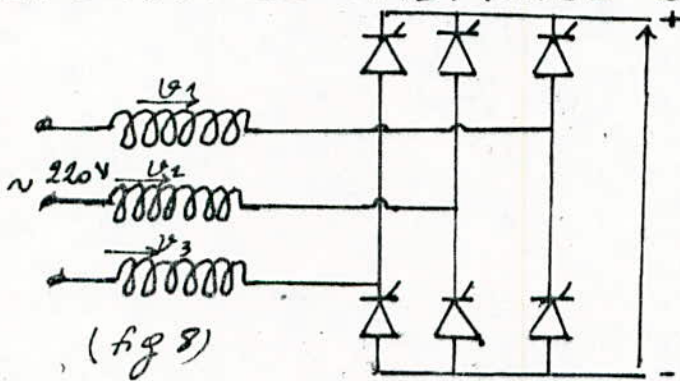
$$U_c = \frac{3}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{6} + \theta_2}^{\pi} V_m \sin \theta d\theta = \frac{U_{c0}}{\sqrt{3}} [\cos(\frac{\pi}{6} + \theta) + 1]$$

Cette valeur est supérieure à celle précédente.

B. 2. CHARGE INDUCTIVE

si l'angle d'allumage $\theta_2 \leq 30^\circ$ on a pas de problème pour la continuité de la conduction. Mais pour un angle $\theta_2 > 30^\circ$, plus il est grand plus l'inductance critique dont on a besoin pour avoir une conduction continue est grande.

C. MONTAGE TRIPHASÉ EN PONT DE GRAËTZ



(fig 8)
- La tension est formée par six catottes.

Donc l'indice de pulsation est six

- La tension appliquée à la

charge est à chaque instant égale à la différence des enveloppes supérieures et inférieures.

• Conduction discontinue

Pour $\theta_2 \leq 60^\circ$: la conduction est toujours continue que la charge soit résistive ou inductive.

Pour un angle d'allumage supérieur il faut une charge très inductive pour avoir la continuité de conduction.

Comme c'est le cas pour le monophasé et le triphasé simple voie. $U_c = U_{c0} \cos \theta_2 \rightarrow$ régime continu.

$U_c > U_{c0} \cos \theta_2 \rightarrow$ régime discontinu.

CH-4 ESSAIS SUR CHARGE PASSIVE

On veut étudier les caractéristiques externes $U_{\text{moy}} = f(I_{\text{moy}})$ liant la tension moyenne et le courant moyen de la charge pour différents angles d'amorçages.

On utilise la charge résistive et inductive pour voir les effets de l'inductance.

A. MONTAGE MONOPHASÉ EN PONT DE GRAETZ

A.1. ALIMENTATION D'UNE CHARGE PUREMENT RÉSISTIVE (fig 9.a)

on a pu atteindre la valeur de $\theta_2 = 120^\circ$
 $\theta_2 = 0^\circ$

I_c (A)	8,2	9	10	12	12,5	14	14,5
U_c (V)	97	96	95	94	93	92	91,5

$\theta_2 = 30^\circ$

I_c (A)	5,1	7,5	10,75	11,75	12,75	15
U_c (V)	90	89	86	85	84	83

$\theta_2 = 60^\circ$

I_c (A)	7	9,5	9,5	11	12,75	14,5
U_c (V)	80,5	80	78	77	76	74

$\theta_2 = 90^\circ$

I_c (A)	3,5	4	4,5	5,8	6	6,8
U_c (V)	46	45	44,5	44	42,5	42

$$\theta_2 = 120^\circ$$

$I_c (A)$	2	3	3,5
$U_c (V)$	21,5	20	19,5

A.2-ALIMENTATION D'UNE CHARGE INDUCTIVE (fig 9-b)

$$\theta_2 = 18^\circ$$

$I_c (A)$	3	5	6,5	7,75	9
$U_c (V)$	100	97	95	93	92

$$\theta_2 = 54^\circ$$

$I_c (A)$	2,5	3,25	4,5
$U_c (V)$	52	48	46

$$\theta_2 = 90^\circ$$

$I_c (A)$	2	2,3	2,4	2,5
$U_c (V)$	18,5	18,25	17,5	17

B - MONTAGE TRIPHASÉ À CATHODE COMMUNE

Pour le montage à anode commune on a trouvé presque les mêmes résultats.

B.1 CHARGE RESISTIVE (fig-10)

$$\theta_2 = 0^\circ$$

$I_c (A)$	2	3,5	5	6,25	7	8,25	9,5	10,75	11,25
$U_c (V)$	162	160	160	157,5	157,5	157,5	157,5	156	156

$$\theta_a = 30^\circ$$

$I_c (A)$	2,5	4,5	5,5	6	7,12	8,25	9,5	10,5
$U_c (V)$	139,5	137	136	136	135	134	133,5	133

$$\theta_a = 60^\circ$$

$I_c (A)$	0,48	0,85	1,3	1,7	2,6	3	3,4	3,85
$U_c (V)$	99,5	99,5	99,5	99	98	98	98	97,5

$$\theta_a = 90^\circ$$

$I_c (A)$	0,4	0,7	0,96	1,2	1,47	1,95	2,2	2,42
$U_c (V)$	59	58,5	58,5	58	58	57,5	57,5	57,5

$$\theta_a = 120^\circ$$

$I_c (A)$	0,5	0,6	0,7	0,8	0,82	0,95	0,96	-
$U_c (V)$	14	14	14	14	14	14	14	-

B.2. CHARGE INDUCTIVE (Fig 11)

$$\theta_a = 0^\circ$$

$I_c (A)$	0,58	1,2	1,95	2,58	3,2	3,8	4,4	5	5,6
$U_c (V)$	165	165	165	165	164	164	163	163	163

$$\theta_a = 30^\circ$$

$I_c (A)$	0,5	0,7	1	1,2	1,4	1,6	1,8	-	-
$U_c (V)$	143	143	142,5	142	141,5	141	140	-	-

$$\theta_a = 60^\circ$$

$I_c (A)$	0,4	0,55	0,65	0,8	1	1,2	1,25	-	-
$U_c (V)$	83,5	83,5	83	83	83	82,4	82	-	-

$$\theta_a = 90^\circ$$

$I_c (A)$	0,5	0,7	0,8	1	1,1
$U_c (V)$	43	42	41	40,5	40

$$\theta_a = 120^\circ$$

$$I_c (A) = 0,35$$

$$U_c (V) = 19V$$

C. PONT. DE GRAËTZ

CHARGE RESISTIVE (fig.12)

$$\theta_a = 0^\circ$$

$I_c (A)$	1,4	1,7	1,85	2	2,1	2,15	2,25	3,3	4,4	5
$U_c (V)$	316	316	315	315	315	315	314	314	312	312
						5,7	6,1	6,4	6,75	-
						310	310	310	309	-

$$\theta_a = 30^\circ$$

$I_c (A)$	0,8	1,05	1,9	2,7	3,8	4,35	4,75	5,15	5,5	-
$U_c (V)$	278	277	276	276	275	275	275	275	275	-

$$\theta_a = 60^\circ$$

$I_c (A)$	0,7	1,25	1,7	2,1	2,5	2,8	3,05	3,3
$U_c (V)$	162	161,5	159,5	159,5	159	158	158	157,5

$$\theta_a = 120^\circ$$

$I_c (A)$	0,15	0,15	0,15	0,15
$U_c (V)$	0,7	0,6	0,5	0,45

- N.B: Dans ce dernier cas le courant est très faible
Donc on ne peut apprécier sa variation.

C.2 CHARGE INDUCTIVE (Fig. 12)

$$\theta_2 = 0^\circ$$

$I_c (A)$	0,8	0,9	1	1,1	2,15	2,85	3,35	3,8	4,2	4,5
$U_c (V)$	319	319	318,5	318,5	318,5	317,5	317	316	314	314
									4,8	5
									313	313

$$\theta_2 = 30^\circ$$

$I_c (A)$	0,5	1	1,5	1,8	2	2,4	3,5	4,3	4,9	6,5
$U_c (V)$	284,5	282,5	281,5	281	380	279,5	278	277	277	276

$$\theta_2 = 60^\circ$$

$I_c (A)$	0,49	0,5	0,51	0,52	1,1	1,7	2,1	2,28	2,5	2,7
$U_c (V)$	155	155	154	153	152,5	151	151	151	151	151

$$\theta_2 = 90^\circ$$

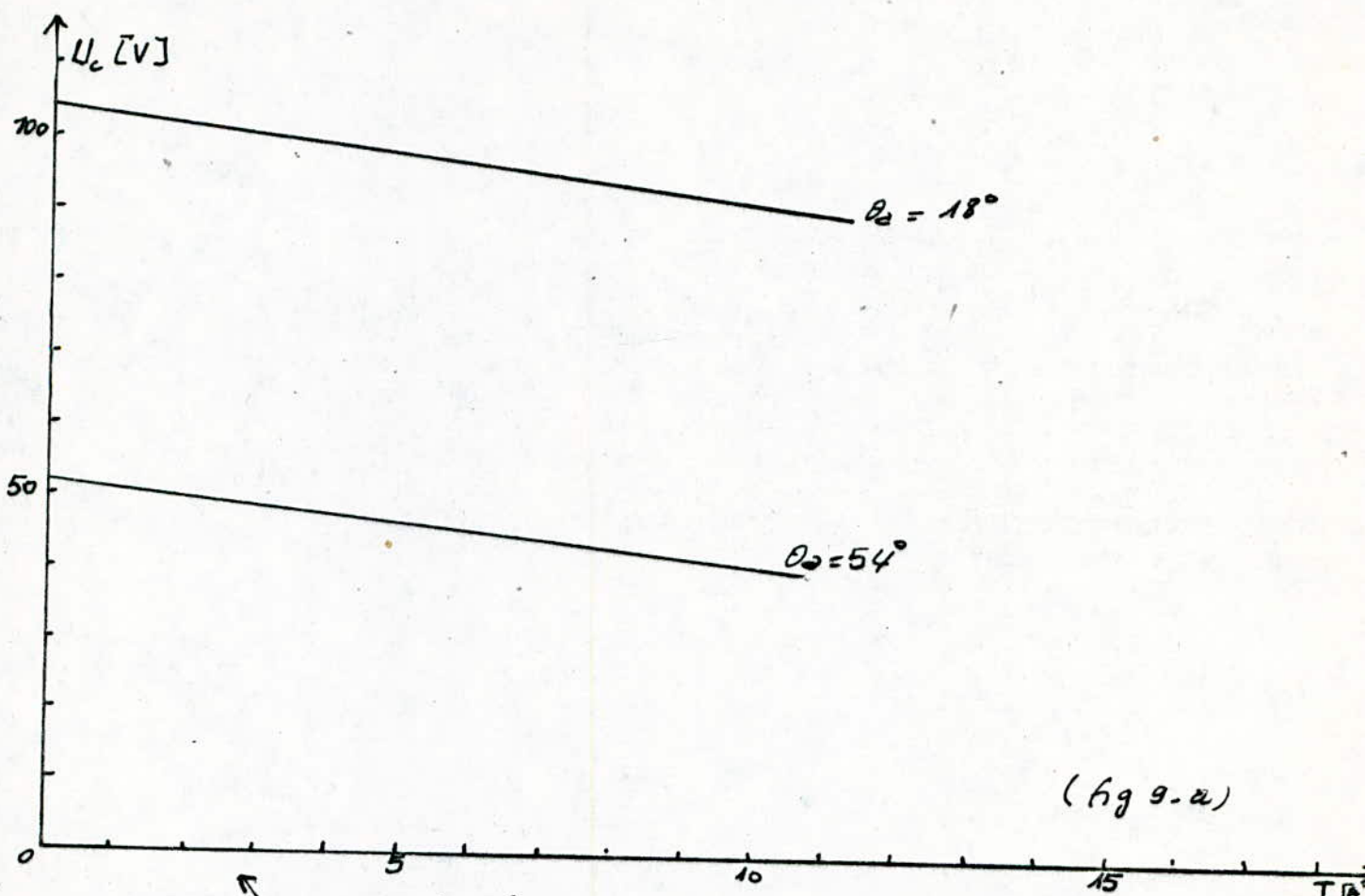
$I_c (A)$	0,3	0,3
$U_c (V)$	39	38,5

$$\theta_2 = 120^\circ$$

$$I_c = 0,15 \text{ A}$$

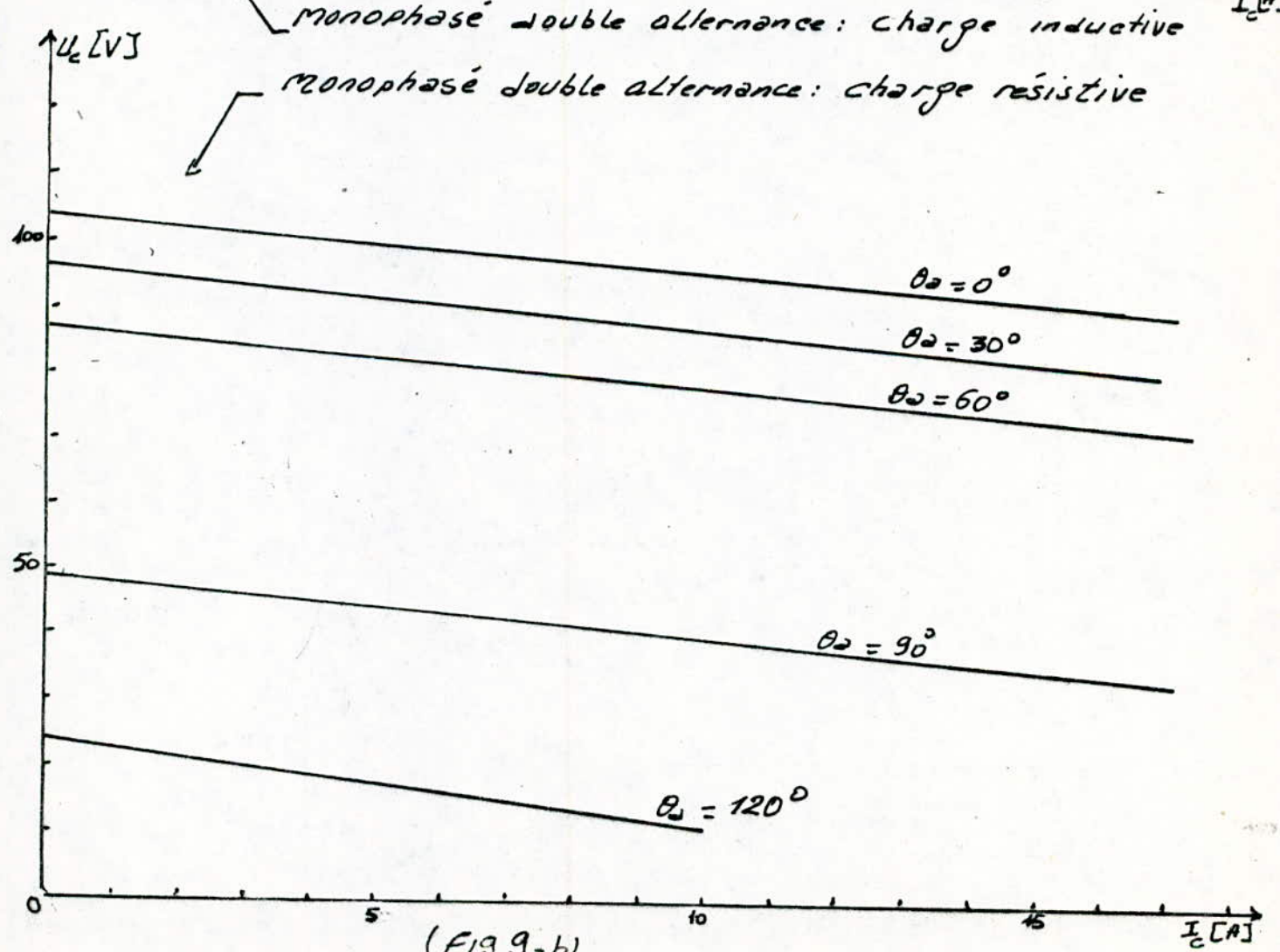
$$U_c = 0,25 \text{ V}$$

N.B: même remarque que précédemment

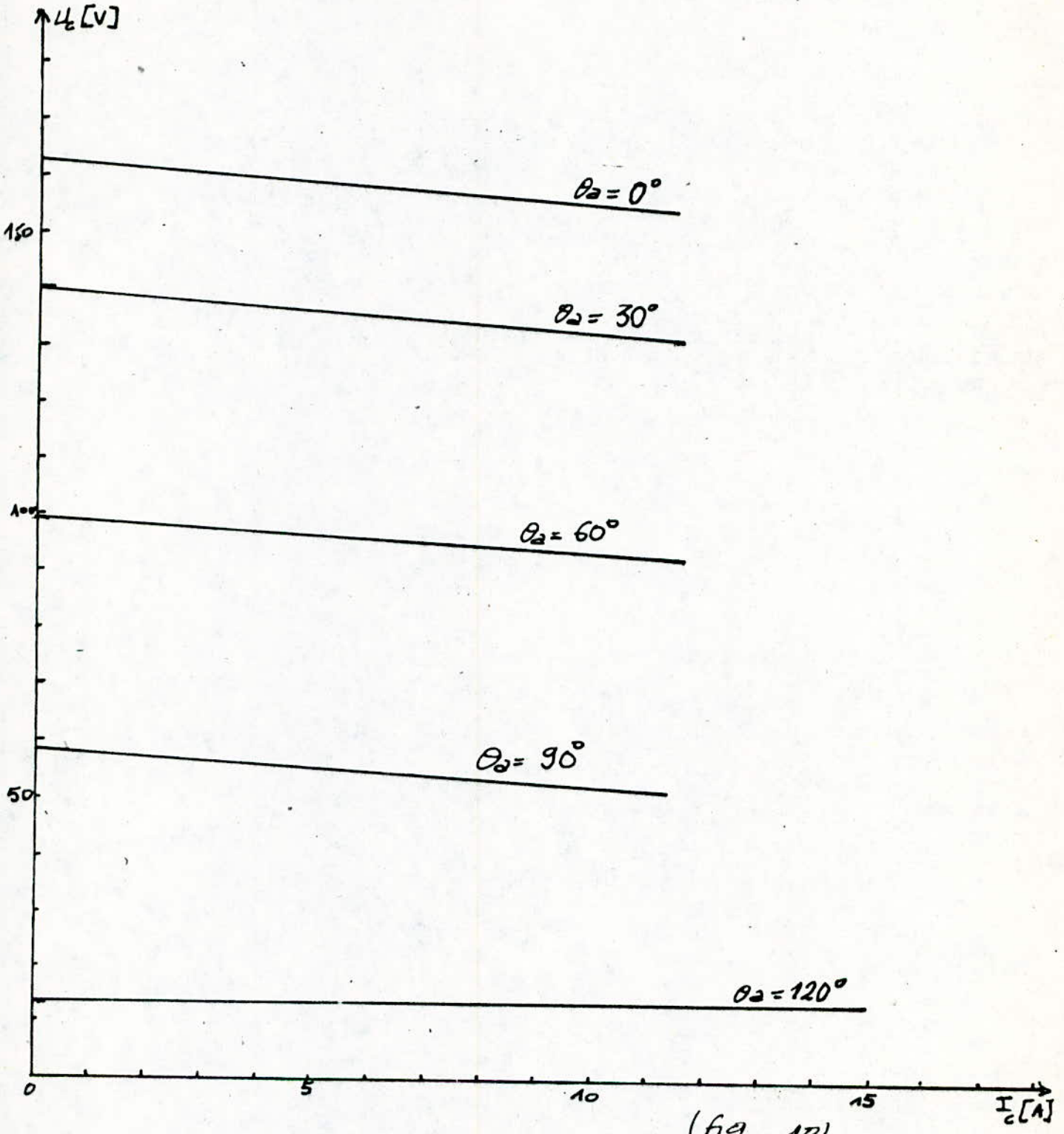


(Fig 9-a)

↖ monophasé double alternance: charge inductive
 ↙ monophasé double alternance: charge résistive

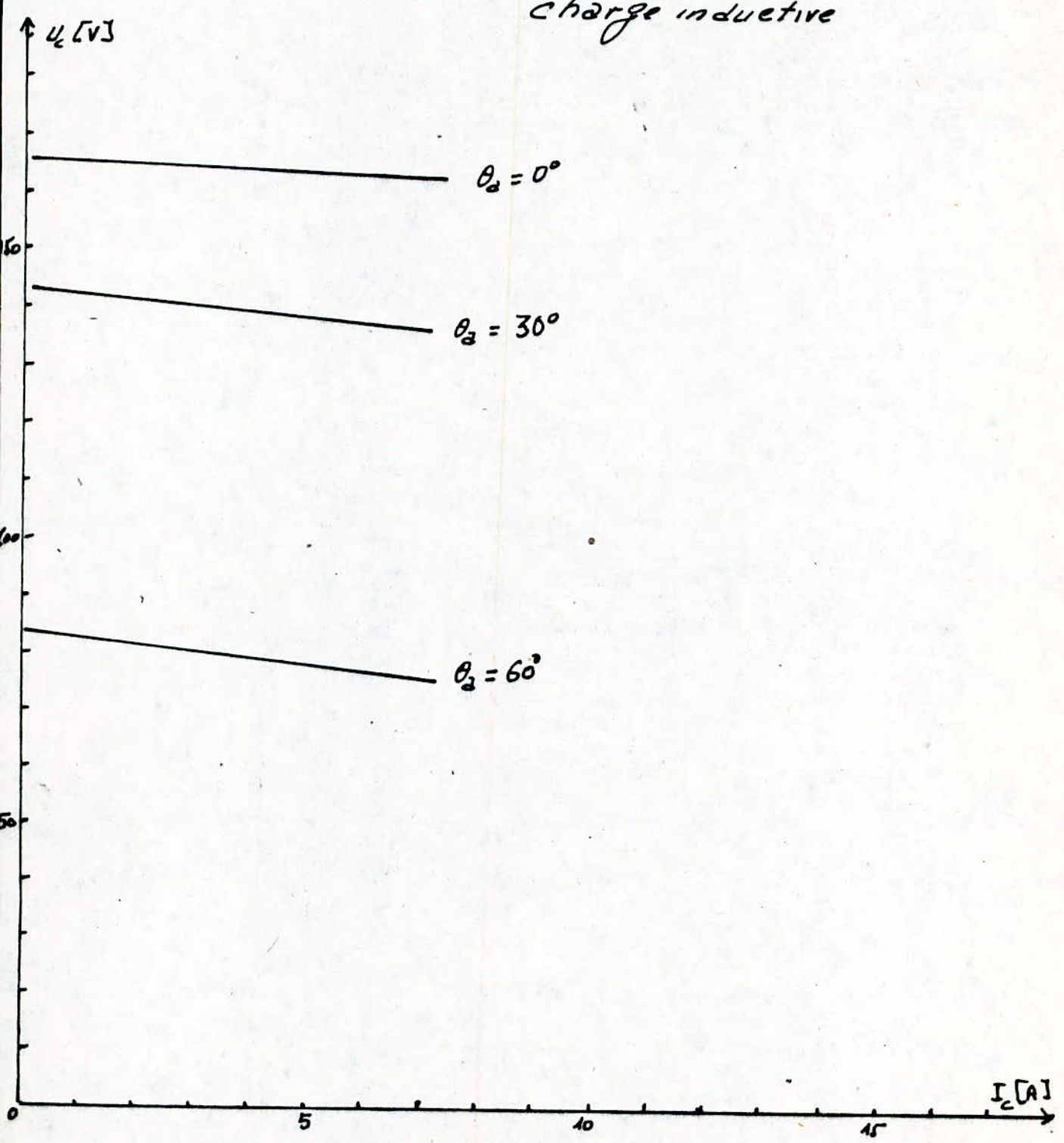


(Fig 9-b)



triphase simple voie : (fig - 10)
 charge résistive

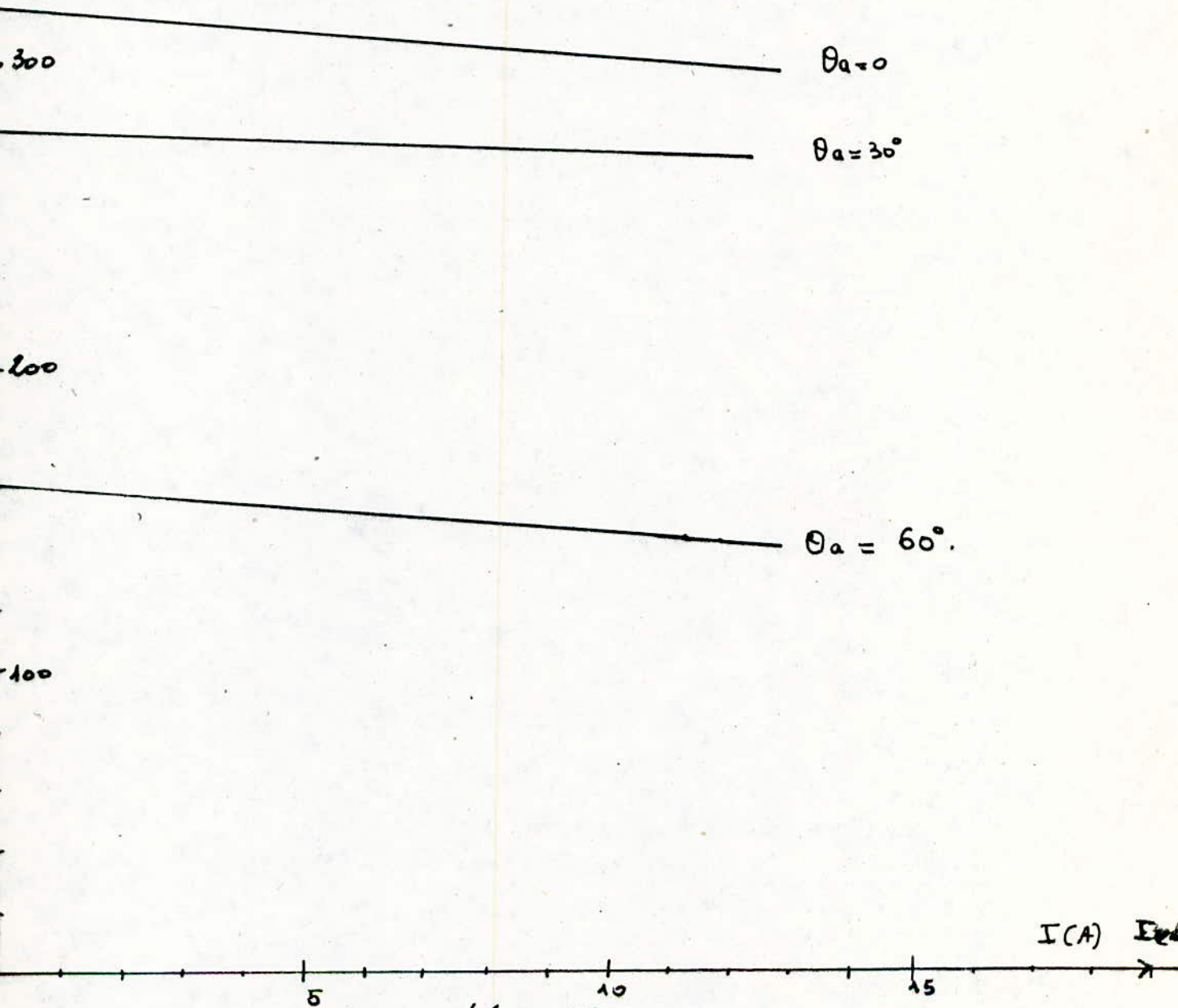
triphasé simple voie
charge inductive



(Fig - 11)

$V_c(V)$
400

- Pont-De. Graëtz triphasé
- charge resistive.



(fig. 12)

D: 1. Interpretation

10. La tension redressée moyenne en charge est plus faible qu'à vide. Cette chute de tension est due :
a) à une chute de tension dans les inductances du circuit d'alimentation lors de la commutation.
On la note ΔU_x .

b) Une chute de tension dans les résistances du circuit primaire : ΔU_r

c) Une chute de tension directe dans les thyristors : ΔU_d
On en déduit que
si la tension redressée à vide est U_c , celle en charge est :

$$U_c' = U_c - \Delta U_x - \Delta U_r - \Delta U_d$$

Dans le cas où la conduction est continue

$$U_c = U_{c0} \cos \theta_2$$

$$\text{et } U_c' = U_{c0} \cos \theta_2 - \Delta U_x - \Delta U_r - \Delta U_d = U_{c0} \cos \theta_2 - \Delta U$$

20) Ces droites sont presque parallèles. Ceci s'explique par le fait que la chute de tension totale $\Delta U = U_{c0} \cos \theta_2 - U_c'$ est constante pour un courant donné. Alors ΔU ne dépend pas de l'angle d'amorçage

30) Les droites correspondantes aux angles d'allumage θ_2 plus grand sont en bas car la tension moyenne diminue lorsqu'on augmente θ_2

401 On voit sur les graphes que la tension redressée ne s'annule pas pour un angle de 90° , pour 120° elle n'est pas négative.

Ce-ci est dû à la discontinuité de la conduction ce-ci s'éclaircit par les constatations suivantes.

a) sur l'oscilloscope la surface positive est supérieure à celle négative.

b) on a vu, précédemment que, dans ce cas $U_c > U_{c0} \cos \theta_2$

c) si on se réfère au graphes donnant les familles de courbes $\frac{U_c}{U_{c0}} = f(\theta_2)$ avec paramètre $\tau_{pL} = \frac{L\omega}{R}$

on constate qu'une seule courbe passe par $U_c = 0$

Pour $\theta_2 = 90^\circ$: celle qui correspond à

$$\tau_{pL} = \frac{L\omega}{R} = \infty$$

2. Comparaison

1. Quand l'angle d'allumage θ_2 atteint 90° ou le dépasse, on constate que les valeurs de la tension moyenne pour une charge résistive sont supérieures à celles pour une charge inductive

Exemple:

en triphasé simple voie

$$\theta_2 = 90^\circ \quad I_c = 0,3 \text{ A} \quad \text{on a: } U_c = 37,25 \text{ V} \rightarrow \text{charge résistive}$$

$$U_c = 23,5 \text{ V} \quad (\text{charge inductive})$$

$$\theta_2 = 120^\circ \quad I_c = 0,2 \text{ A} \quad \text{on a: } U_c = 12,3 \text{ V} \quad (\text{charge résistive})$$

$$U_c = 5,8 \text{ V} \quad (\text{charge inductive})$$

en triphasé Pont de Graëtz :

$$\theta_2 = 120^\circ, I_c = 0,15 A : U_c = 0,7 \text{ volts (charge résistive)}$$

$$U_c = 0,25 \text{ volts (charge inductive)}$$

Ce. s'explique par les graphes $\frac{U_c}{U_{c0}} = f(\theta_2)$ à charge donnée
On a vu que pour une charge infiniment inductive
(conduction toujours continue) la tension s'annule
exactement pour $\theta_2 = 90^\circ$, pour une charge peu inductive
la tension s'annule pour $\theta_2 > 90^\circ$

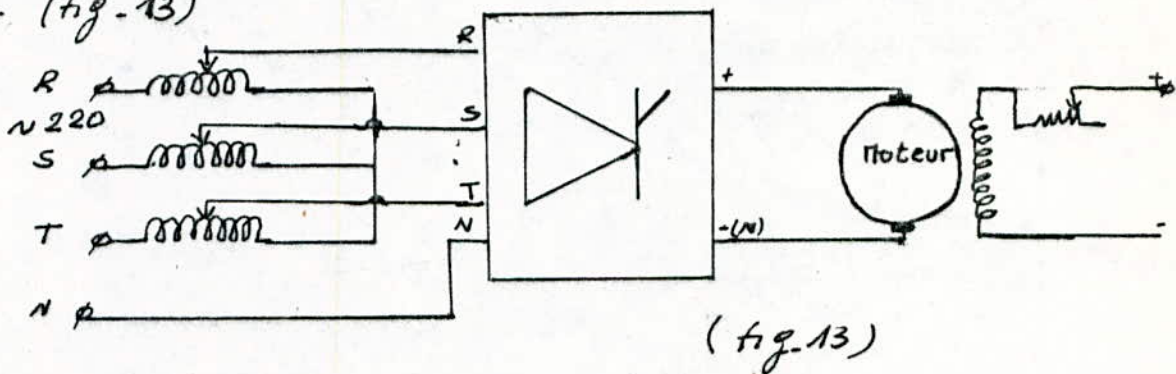
Mais pour une charge résistive la tension moyenne
s'annule ^{pour} $\theta_2 \approx \frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{9}$

c. à. d. la courbe $\frac{U_c}{U_{c0}} = f(\theta_2)$ pour une charge
partiellement inductive. et au dessous de celle pour une
charge résistive.

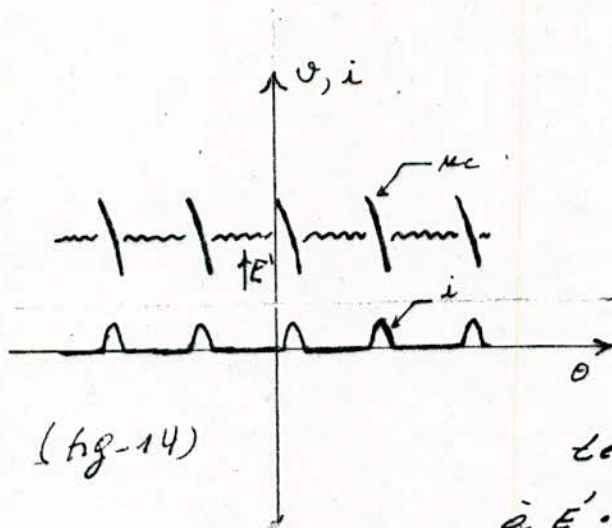
CH-5 DÉBIT DU CONVERTISSEUR SUR LE MOTEUR

La tension nominale d'induit de notre moteur est $U_n = 120V$ alors que pour les essais sur le Pont de Graetz, on a atteint la valeur $U_c = 319V$. Théoriquement pour $\theta_a = 0$, $U_c = 1,35 \cdot U$ $U = 240V$ donc $U_c = 324V$ d'où l'utilisation de l'Alternostat pour diminuer la tension.

A. Montage : (fig. 13)



Les courbes de tension obtenues ne diffèrent de celles obtenus pour une charge passive que, pendant la durée de discontinuité. Pendant cette durée la tension U est remplacé par la force contre électromotrice du moteur. (fig. 14)



Entre les impulsions d'alimentation, on observe la F. c. é. m. é., légèrement ondulée. Lors des impulsions, le convertisseur conduit: la tension U du secteur se substitue à E ; le courant se prolonge pour $U < E$ en raison de l'inductance de l'induit du moteur.

TRIPHASÉ SIMPLE VOIE (Voir page 41 fig 23-a)

$\theta_2 = 30^\circ$

$I_c (A)$	3,15	8	10	12	13,5	15,5	18,5	19,5	20,75	21,5	26,5
$U_c (V)$	68	55	52	50	48,5	48	46	46	45	44	42
$N(\text{tr/min})$	1133	866,67	800	750	716,67	700	650	633	616,67	600	500

$\theta_2 = 45^\circ$

$I_c (A)$	3,5	6	7,75	9,25	11,5	13,5	14,25	15	16	18
$U_c (V)$	60	51,5	46	42,5	32,75	31,5	31	30	29,5	29
$n(\text{tr/min})$	1000	833	725	650	554,2	483,3	458,3	444,7	408	350

$\theta_2 = 60^\circ$

$I_c (A)$	7,25	8,5	10,5	12	13,25	14,25	15	—
$U_c (V)$	41,5	38,5	34	31	28,5	27,25	25,5	—
$N(\text{tr/min})$	658,3	587,5	491,7	433,3	383,3	350	316,7	

PONT DE GRHÉTZ (Voir page 42 - fig-24-a)

$\theta_2 = 30^\circ$

$I_c (A)$	4,29	9	13,25	17,25	21	23,5
$U_c (V)$	106	98	93	90	85	82
$N(\text{tr/min})$	1816,7	1616,7	1500	1416,7	1333,3	1250

$\theta_2 = 60^\circ$

$I_c (A)$	3,5	6	10,25	13,5	15,75	17,5	18	18,5	20,5	21,5
$U_c (V)$	67	55	46,5	44	42	39	37,5	37	35,75	34
$N(\text{tr/min})$	1116,7	883,3	733,3	641,7	575	533,3	491,7	475	450	400

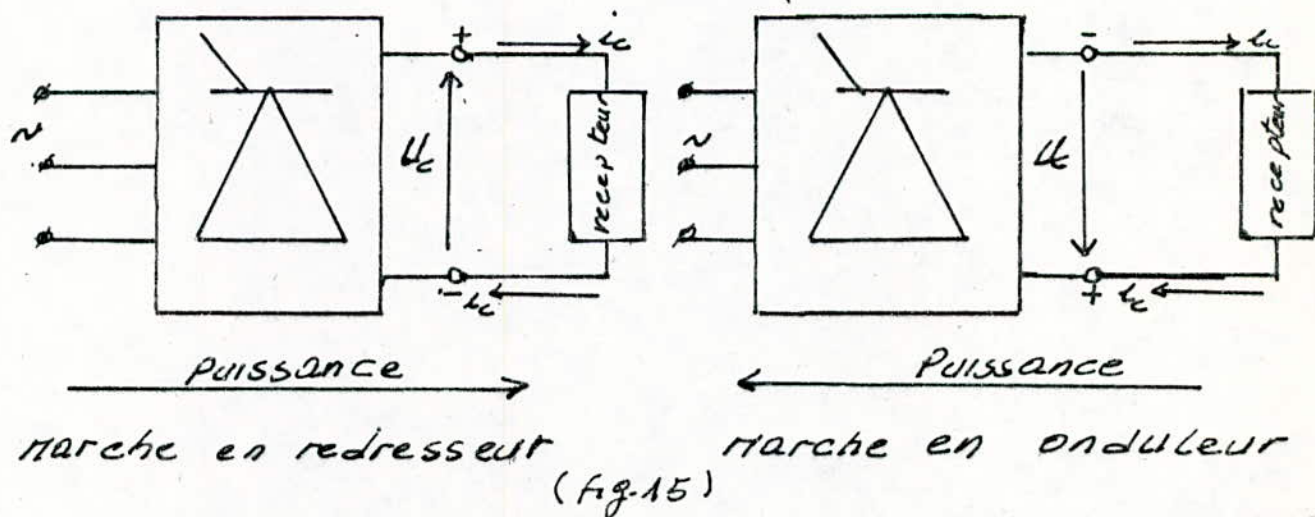
$\theta_2 = 78^\circ$

$I_c (A)$	3	4,25	5,25	6,25	7	7,5	8	8,5
$U_c (V)$	38,25	29,5	25	20,25	17,75	16,5	15,5	14
$N(\text{tr/min})$	625	458	375	283,3	220	206,7	187,5	154,2

CH-6 ONDULEUR NON AUTONOME

Un montage tout thyristors est réversible du point de vue énergétique. Le courant le garde forcément le même sens, il ne peut que sortir par le point de jonction des cathodes. Mais la tension moyenne devient négative pour $\alpha > \frac{\pi}{2}$, si la charge assure la continuité du courant. De l'énergie transite alors depuis la charge vers le réseau pour cela il est nécessaire que la charge comporte une f.é.m. La charge active donc devient alors une source d'énergie.

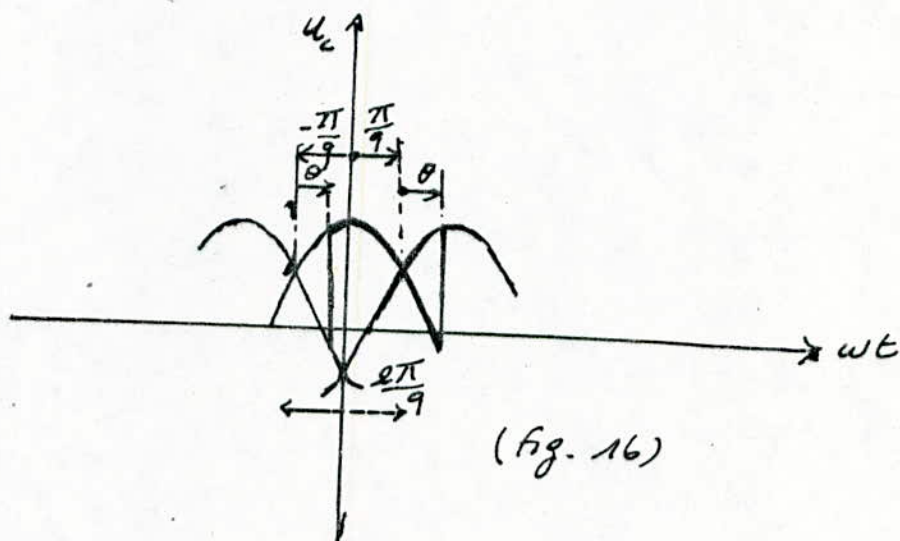
Pour montrer la différence essentielle existant entre un redresseur proprement dit et un onduleur on a indiqué sur la figure ci-dessous le sens réel de la tension continue et l'écoulement de la puissance active (fig.15)



Dans la marche en onduleur, le réseau alternatif reçoit de la puissance active mais continue à fournir de la puissance réactive. surtout il continue à imposer la forme d'onde et la fréquence des tensions alternatives.

Valeur de la tension redressée (fig. 16)

La tension redressée u_c est formée, par période T , de 9 calottes de sinusoides ainsi pour $-\frac{\pi}{9} + \theta_2 < \omega t < \frac{\pi}{9} + \theta_2$
 $u_c = V_m \cos \omega t$. Vu la périodicité de $\frac{2\pi}{9}$ de u_c , il est suffisant d'intégrer et de déterminer la valeur moyenne sur un intervalle de $\frac{2\pi}{9}$



$$u_c = \frac{9}{2\pi} \int_{-\frac{\pi}{9} + \theta_2}^{\frac{\pi}{9} + \theta_2} V_m \cos \theta_2 d\theta_2 = \frac{9V_m}{2\pi} [\sin(\frac{\pi}{9} + \theta_2) - \sin(-\frac{\pi}{9} + \theta_2)]$$

$$= \frac{9}{2\pi} V_m [2 \sin \frac{\pi}{9} \cos \theta_2] = \frac{9}{\pi} V_m \sin \frac{\pi}{9} \cos \theta_2$$

on pose $u_{c0} = \frac{9}{\pi} V_m \sin \frac{\pi}{9}$

Tel que u_{c0} est la tension continue qu'un groupe de commutation est capable de

Fournir en fonctionnement en redresseur

$$\text{Donc } U_c = U_{c0} \cos \theta_0$$

Si l'on représente la courbe $U_c = f(\theta_0)$, on peut définir deux domaines de fonctionnement

Pour $0 < \theta_0 < \frac{\pi}{2}$ la tension U_c est positive

l'appareil fonctionne en redresseur de courant.

Pour $\frac{\pi}{2} < \theta_0 < \pi$, la tension U_c a changé de

signe alors que le courant I_c conserve

toujours le même sens dans le récepteur, ainsi

la puissance continue fournie ($P_c = U_c I_c$) est-elle

devenue négative. On dit que l'appareil

fonctionne en onduleur non autonome. Mais

le fonctionnement en onduleur n'est

susceptible que si on remplace le récepteur passif par une

source d'énergie continue telle que la machine à courant continu

l'inversion de U_c (courbe 1. fig. 17) suppose que l'appareil

placé du côté continu du récepteur devienne générateur.

Si entre cathodes communes et anodes communes

du convertisseur il n'y a toujours qu'un récepteur

U_c ne peut être que positive ou nulle. Si ce

récepteur était infiniment inductif U_c

serait égale à $U_{c0} \cos \theta_0$ pour $\theta_0 < \frac{\pi}{2}$, puis nul pour

$\theta_0 > \frac{\pi}{2}$ (courbe 2. fig. 17)

- Si le récepteur est une résistance pure U_c

comme I_c ne peut s'inverser, tant que U_c ayant

servi au calcul de la relation précédente

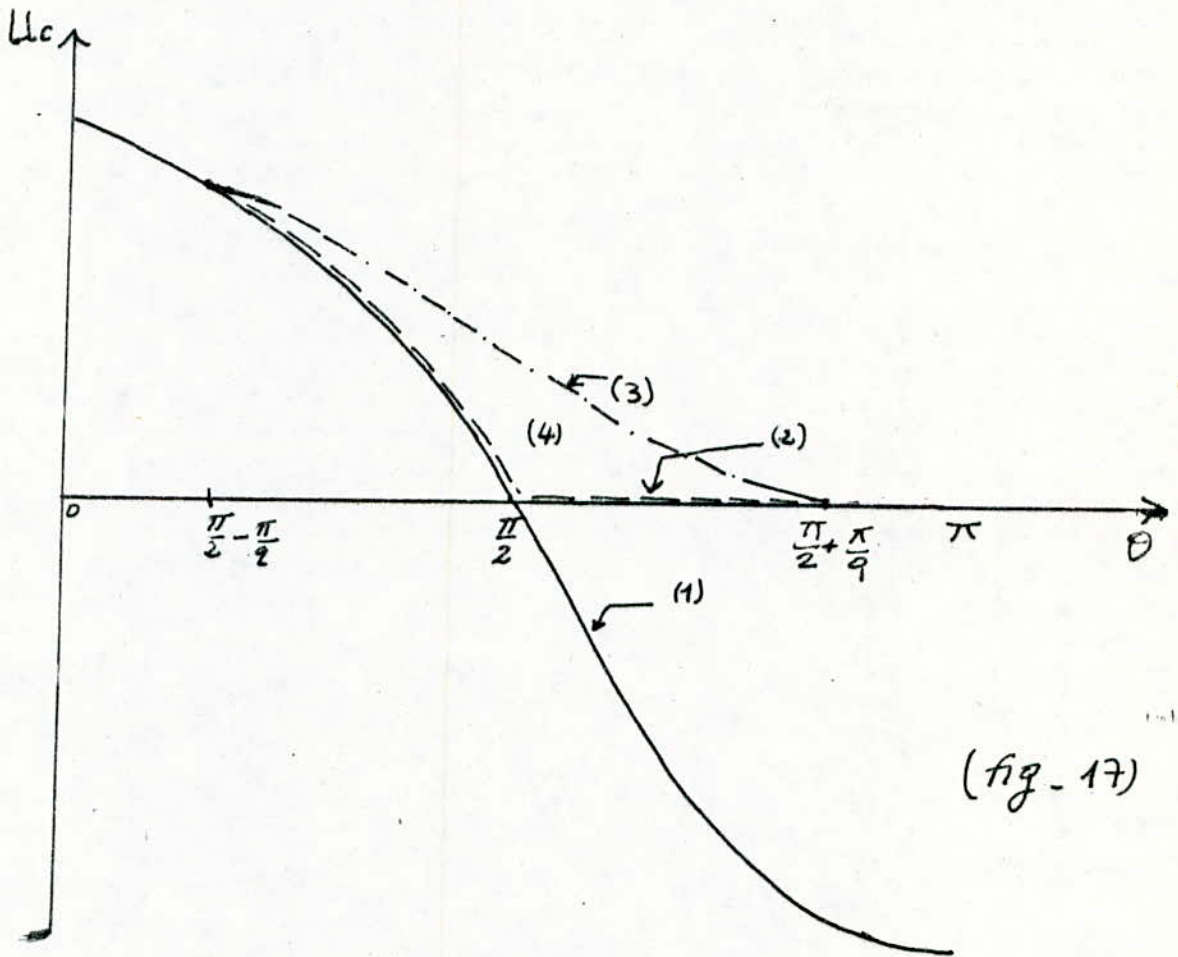
est toujours positive c.à.d tant que

$$\theta_0 < \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{9}, \quad U_c \text{ est donnée par } U_c = U_0 \cos \theta_0$$

Pour les valeurs supérieures de θ_0 c.à.d $\theta_0 > \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{9}$,

U_c est formée à chacune de ses périodes d'une portion de sinusoïde et d'un segment à tension nulle (courbe 3, fig. 17)

Dans le cas d'un récepteur inductif la courbe $U_c = f(\theta_0)$ est comprise entre les courbes (2) et (3)



(fig. 17)

- (1) ——— pour un générateur d'énergie.
- (2) - - - pour une charge inductive infinie
- (3) - · - · - pour une charge purement résistive.
- (4) Zone comprise entre (3) et (2) : pour une charge inductive dont l'inductance m est pas infinie

B. NECESSITE DE LA MISE D'UNE INDUCTANCE FORTE EN SERIE AVEC LE CIRCUIT D'INDUIT DE LA M.C.C

On a vu que si l'inductance de la charge n'est pas infinie (très forte) la conduction sera interrompue.

Ceci se passe surtout pour des angles d'amorçage élevés (c.à.d pour des courants faibles). Dans ce régime la valeur instantanée du courant s'annule pendant une certaine durée, avant que le prochain thyristor ne soit amorcé.

Comme le convertisseur est lié à l'induit dont l'inductance est relativement faible le problème est présent. Pour y remédier on a besoin d'insérer en série avec le circuit d'induit une importante inductance. Mais dans la pratique il est pénible d'avoir un régime continu pour des angles d'amorçage élevés. On s'est contenté d'atteindre environ 120° pour le montage triphasé simple voie. Pour le montage triphasé en pont de Graetz on peut atteindre $\alpha_2 = 150^\circ$.

Pour le régime continu on a la tension moyenne telle que : $U_c = U_{c0} \cos \alpha_2$

U_{c0} : tension moyenne pour un retard à l'amorçage nul.

C - PROCEDURE

1. Puisque le fonctionnement cité n'est possible que si la charge est active, on utilise une machine à courant continu fonctionnant en génératrice. La polarité de la machine doit être de telle façon que le courant passe toujours dans le sens direct des thyristors c.à.d le sens anode - cathode
2. En premier lieu on fait fonctionner le convertisseur comme redresseur débitant sur une résistance. Pour ce, on mesure à l'aide d'un voltmètre la tension aux bornes de la génératrice à courant continu. Puis on règle à l'aide d'un alternostat la tension redressée à la sortie du redresseur pour qu'elle égale la tension aux bornes de la machine
3. La connexion des bornes doit être correcte c.à.d les potentiels des bornes connectées doivent être les mêmes. Pour s'en assurer on mesure la tension différentielle entre les deux bornes positives (du convertisseur et de la génératrice) on porte cette tension, au voisinage de zéro, en agissant sur la commande du convertisseur. A cet instant, les 2 potentiels sont les mêmes; on peut coupler. Ainsi le convertisseur et la génératrice débiteront tous deux dans la résistance. c'est le fonctionnement redresseur.
4. Quand le couple est assuré, on agit sur la commande pour annuler le courant. Quand l'ampèremètre indique un courant trop faible et que l'angle d'amorçage lu

sur l'oscilloscope est voisin de 90° , on inverse les Polarités Pour Passer au fonctionnement Onduleur.

5. La tension moyenne est encore positive mais de valeur faible, on le diminue jusqu'à avoir une valeur nulle. On inverse les bornes du voltmètre. et on enlève la résistance

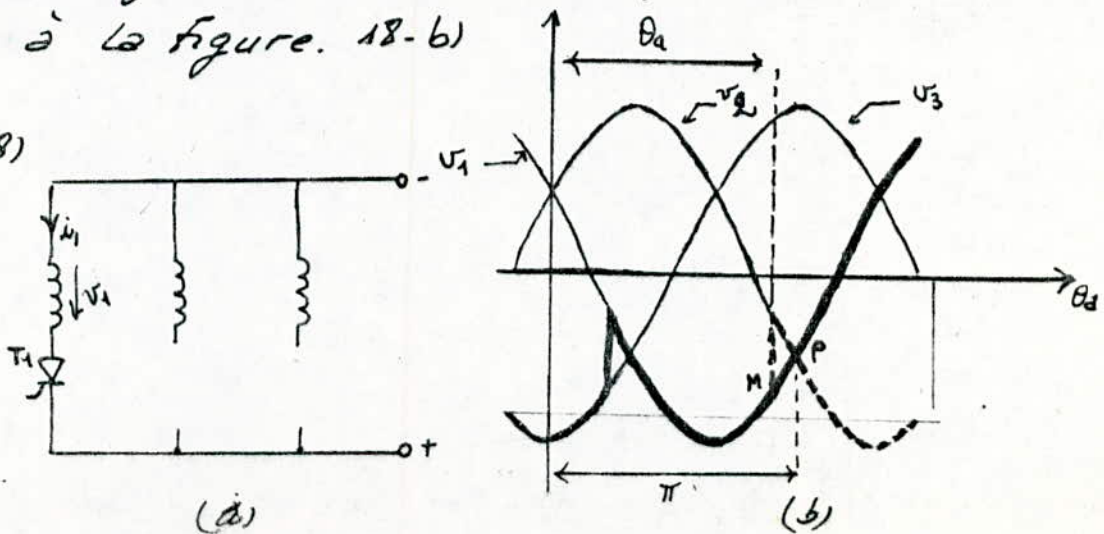
6. si la Procédure est réussie, sans faute, on voit sur l'oscilloscope la tension inversée. Le voltmètre indique une tension moyenne avec ses bornes inversées donc c'est une tension négative. Le courant garde toujours le même sens car il est imposé par les thyristors la puissance est fournie au réseau à travers le convertisseur car elle est négative $P = U_c I_c < 0$

7. Ce. Ci est mis en évidence par la déviation en sens inverse de l'aiguille d'un Wattmètre mis du côté alternatif

D - PHÉNOMÈNE DE DÉCROCHAGE DE L'ONDULEUR

Ce phénomène est très dangereux pour le convertisseur ainsi que la génératrice pour expliquer ce phénomène on se réfère à la figure. 18-b)

(fig. 18)



la commutation de T_1 sur T_2 doit se faire au point M. A partir de ce point le thyristor T_2 s'amorce et T_1 cesse de conduire. Mais si T_2 ne s'amorce pas T_1 reste conducteur et la tension de sortie du convertisseur, au lieu de suivre la courbe en trait interrompu, suit la courbe en trait plein représentant la tension instantanée v_a .

Quand on dépasse le point P il est inutile pour le thyristor de recevoir une impulsion car sa tension anode-cathode est $v_2 - v_1 < 0$. Après un tiers de période à partir de M le thyristor T_3 reçoit une impulsion, mais en vain, car $(v_3 - v_1) < 0$. Il faut attendre la prochaine impulsion de T_2 pour que T_1 cesse de conduire. La tension aux bornes du convertisseur va passer par V_m tension maximale de v_a et le courant i_c est $i_c = \frac{\sqrt{2} V + E}{R}$. C'est un courant supérieur au courant de court-circuit de la source continue

CAUSES DE NON AMORÇAGE DU THYRISTOR

Le non-amorçage est dû à plusieurs causes.

1. Disparition du réseau alternatif: Pour l'onduleur non autonome la commande est alimentée par le réseau alternatif donc sa disparition empêche le blocage et le déblocage des thyristors.
2. Manque d'impulsion: Le générateur d'impulsions, à cause d'un certain défaut, ne fournit pas l'impulsion nécessaire pour amorcer le thyristor concerné. L'impulsion de trop faible amplitude entraîne la même conséquence.

3. Défaut dans le thyristor

4. Application de l'impulsion avec un retard θ_a voisin de π
D'où l'utilisation de la butée:

Si on examine la figure (19-b) on voit que l'impulsion d'amorçage doit arriver, au plus tard, un peu avant P correspondant à $\theta = \pi$. Puisque, à partir de ce point la courbe donnant v_1 et en dessous de v_2 donc toujours $v_2 - v_1 < 0$.

si les thyristors étaient parfaits le blocage est instantané et l'impulsion pourrait être appliquée juste avant le point P ($\theta = \pi$) sans rien risquer. Mais en réalité ils ne le sont pas; donc il faut tenir compte du temps de blocage. Il faut que le thyristor en conduction soit totalement désamorçé avant que $\theta = \pi$ sinon le thyristor se réamorç.

Alors l'angle d'amorçage doit être au moins inférieur à $\theta_a = \pi - \omega t_b$ où t_b : temps de blocage du thyristor.

Pour éviter, ce problème, on a pris, comme c'est toujours le cas en pratique, un angle de garde de $30^\circ \Rightarrow \theta_a \leq 150^\circ$

. Pour protéger le convertisseur contre les surintensités qui peuvent être la conséquence du phénomène cité, on utilise des fusibles, dont la réponse est très rapide pour les forts courants, du côté alternatif et continu (voir montage page 31).

la présence de l'inductance diminue la variation du courant pendant l'amorçage.

F. ESSAIS EN FONCTIONNEMENT ONDULEUR

on a fait des essais sur l'onduleur pour trois montages

1. montage monophasé en Pont de Graetz
2. Montage triphasé simple voie
3. Montage triphasé en Pont

Pour chaque montage on a relevé, en fonction du courant moyen I_c , pour différentes valeurs constantes de l'angle d'allumage α ,

- la tension moyenne U_c à la sortie du convertisseur
- la puissance active fournie au réseau alternatif

Interprétation:

on a tracé les caractéristiques $U_c(I_c)$ à α constant pour le fonctionnement onduleur et pour le débit sur le moteur sur un même graphique. ont fait les mêmes remarques que pour le cas du récepteur passif: descente des courbes et chutes dues à la commutation.

Mais pour le débit sur le moteur la pente des courbes est grande. car l'augmentation du courant entraîne une diminution de la vitesse du moteur donc une diminution de la f.c.e.m qui est proportionnelle à la vitesse

- ce qu'on a vu théoriquement en ce qui concerne l'annulation de la tension pour un angle

d'allumage voisin de 90° est réalisé pratiquement

dans nos essais. ce qu'on a pas pu obtenir pour les essais sur charge passive

Pour les faibles courants, dans le cas du sémit sur le moteur la tension moyenne n'est pas linéaire car les faibles courants impliquent une discontinuité on a relevé les puissances alternatives et calculé la puissance continue ($P_c = U_c I_c$). On en a déduit le rendement du convertisseur.

On remarque que: le rendement est compris entre 70% et 75%.

1. le rendement augmente avec la tension pour un angle d'allumage donné. C. ci s'explique théoriquement:

Si on calcule le rendement:

$$\eta = \frac{P_c}{P_a} = \frac{U_c I_c - P_{\text{pertes}}}{U_c I_c} = 1 - \frac{P_{\text{pertes}}}{U_c I_c}$$

Les pertes sont dues essentiellement aux résistances du circuit primaire et pertes dans le thyristor.

$$P_{\text{pertes}} = R_c I_c^2 + \Delta U_d I_c$$

avec ΔU_d : chute directe dans le thyristor

$$\eta = 1 - \frac{R_c I_c^2 + \Delta U_d I_c}{U_c I_c} = 1 - \frac{R_c I_c}{U_c} - \frac{\Delta U_d}{U_c} = 1 - \frac{R_c}{\omega B} - \frac{\Delta U_d}{U_c}$$

$$\eta = 1 - k - \frac{\Delta U_d}{U_c}$$

U_c augmente implique $\frac{\Delta U_d}{U_c}$ diminue implique le rendement η augmente

2. Le rendement augmente avec l'angle d'allumage θ_2 . D'après l'expression précédente des Pertes on voit que pour I_c donné elle ne dépend pas de l'angle d'allumage. or ces pertes sont rapportées à une puissance augmentant avec $|\cos \theta_2|$ c. à d. avec θ_2 ($\theta_2 > 90^\circ$).

MONOPHASE DOUBLE ALTERNANCE

$\theta_2 = 93^\circ \rightarrow \text{fig. 20-a.}$

U_c (V)	25	27,5	27,5	29	29,5
I_c (A)	1,5	4	5	7	8
$P_c = U_c I_c$ (W)	37,5	110	137,5	203	236
P_a	26,25	76	95	142	167
η	0,7	0,69	0,69	0,7	0,71

$\theta_2 = 108^\circ$

U_c (V)	49,5	49,5	50	51
I_c (A)	2,5	3	3,5	5
$P_c = U_c I_c$ (W)	122,5	148,5	175	255
P_a	87	105,5	126	184
η	0,71	0,71	0,72	0,72

$\theta_2 = 115^\circ \rightarrow \text{fig. 20-b.}$

U_c (V)	60	60,4	60,7
I_c (A)	1,5	1,6	2
$P_c = U_c I_c$ (W)	90	96,6	121,4
P_a	65,5	71,5	90
η	0,73	0,74	0,74

TRIPHAASE SIMPLE VOIE

$\theta_2 = 93^\circ \rightarrow \text{fig. 21-a.}$

$U_c (V)$	14,2	14,9	15	16
$I_c (A)$	2	3	4,5	6
$P_c = U_c I_c (W)$	28,4	44,7	67,5	96
$P_2 (W)$	19,6	31,3	48	68,2
η	0,69	0,7	0,71	0,71

$\theta_2 = 100^\circ \rightarrow \text{fig. 21-b.}$

$U_c (V)$	29	29,5	30	30,5
$I_c (A)$	3,5	4	4,5	4,75
$P_c = U_c I_c (W)$	101,5	118	135	144,8
$P_2 (W)$	73	85	98,5	106
η	0,72	0,72	0,73	0,73

$\theta_2 = 118^\circ \rightarrow \text{fig. 21-c.}$

$U_c (V)$	62	65	66	66,5
$I_c (A)$	1,5	2	4	6
$P_c = U_c I_c (W)$	93	130	264	399
$P_2 (W)$	68	95,5	195	295
η	0,73	0,735	0,74	0,74

PONT DE GRAETZ : $\theta_a = 90^\circ \rightarrow \text{fig. 22-a.}$

$U_c (V)$	0,75	1,44	2,6	3,1
$I_c (A)$	3,5	5	6,75	7,5
$P_c = U_c I_c (W)$	2,625	7,2	17,55	23,25
$P_2 (W)$	1,8	5	12,5	16,25
η	0,68	0,7	0,71	0,7

$$\theta_a = 102^\circ$$

$U_c (V)$	14	17	18	19	20
$I_c (A)$	2	3,5	4	5	6
$P_c = U_c I_c (W)$	28	59,5	72	95	120
β	20	43	52,5	69,5	87,5
η	0,72	0,72	0,73	0,73	0,73

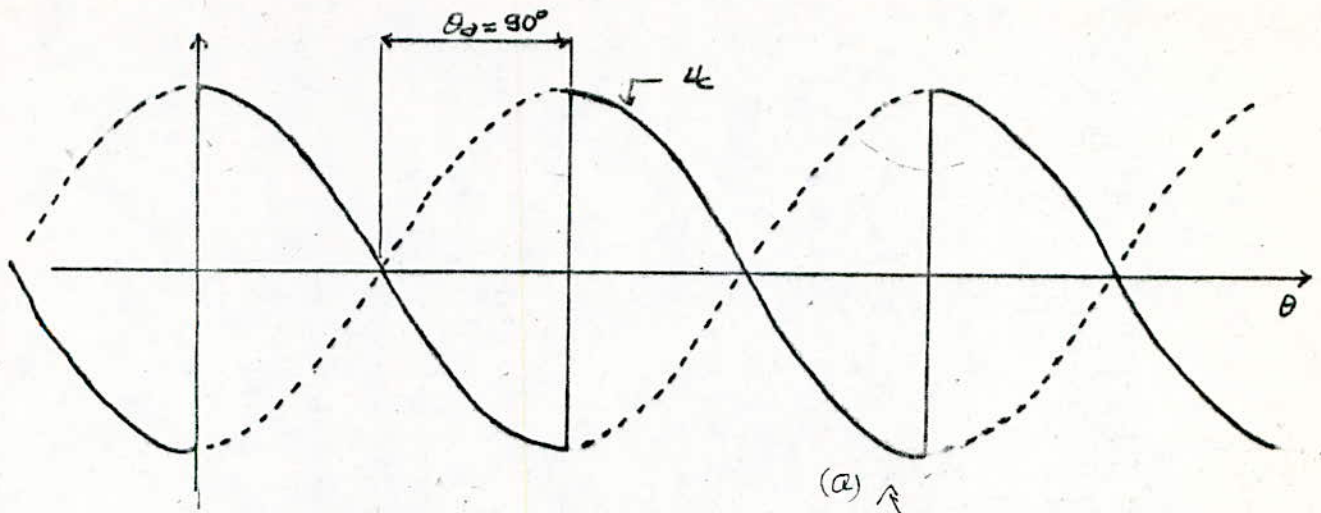
$$\theta_a = 120^\circ \rightarrow \text{fig. 22-b.}$$

$U_c (V)$	26,75	28	29,75	30	31,5
$I_c (A)$	1,7	2,5	3,25	4	5
$P_c = U_c I_c (W)$	45,47	70	96,7	120	157,5
β	33	52	71,6	89	118
η	0,73	0,74	0,74	0,74	0,75

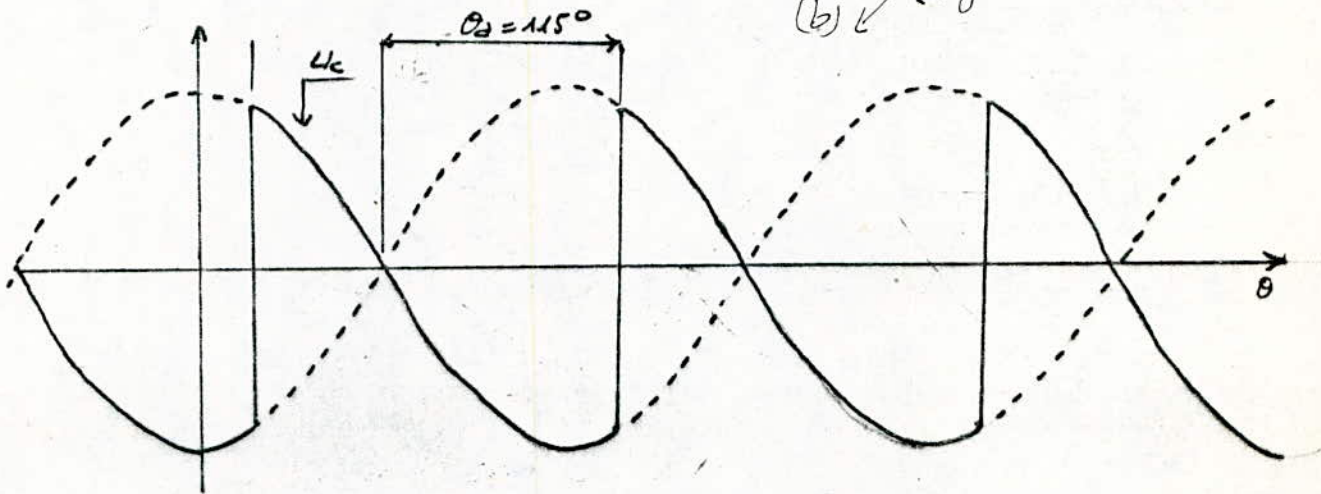
$$\theta_a = 150^\circ \rightarrow \text{fig. 22-c.}$$

$U_c (V)$	65,5	66
$I_c (A)$	1,5	2
$P_c = U_c I_c (W)$	98,25	132
β	78,5	99
η	0,74	0,75

Pour les graphes Voir Page 41 et 42.

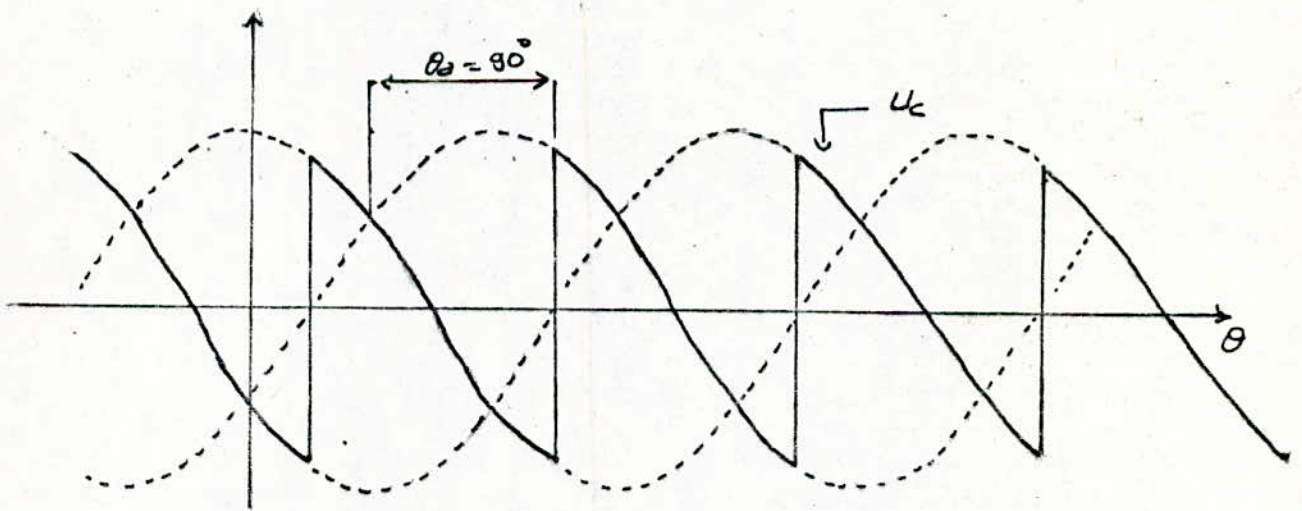


(a) $\left(\frac{f_g}{f_g - 20} \right)$
 (b)

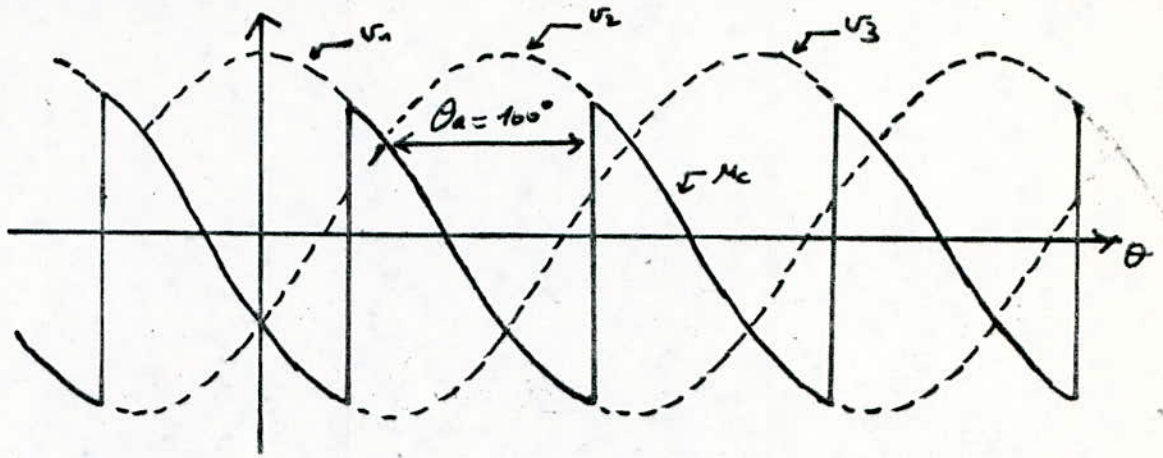


- Monophasé double alternance

- Fonctionnement en ondulateur



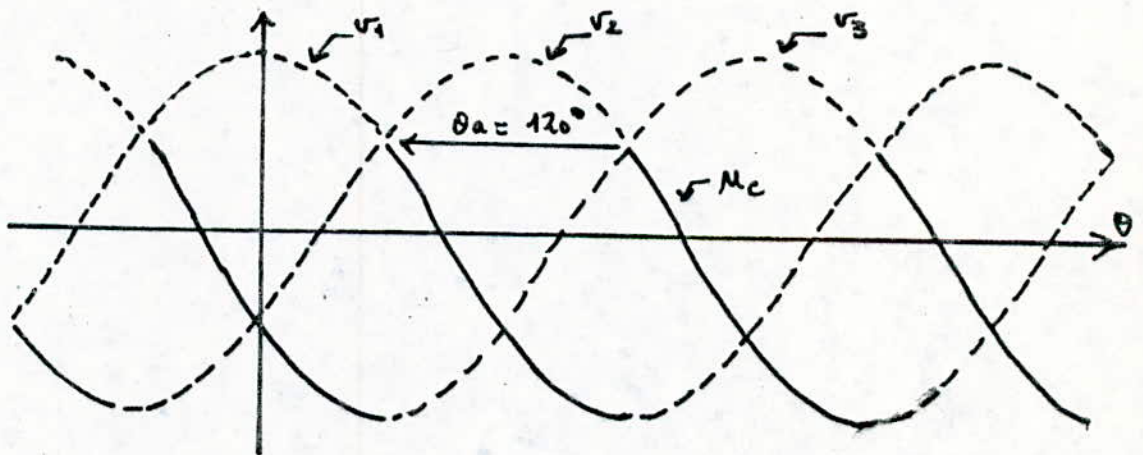
- Triphasé simple voie (fig-21-a)



$\theta_a = 100^\circ$

(fig. 21 b)

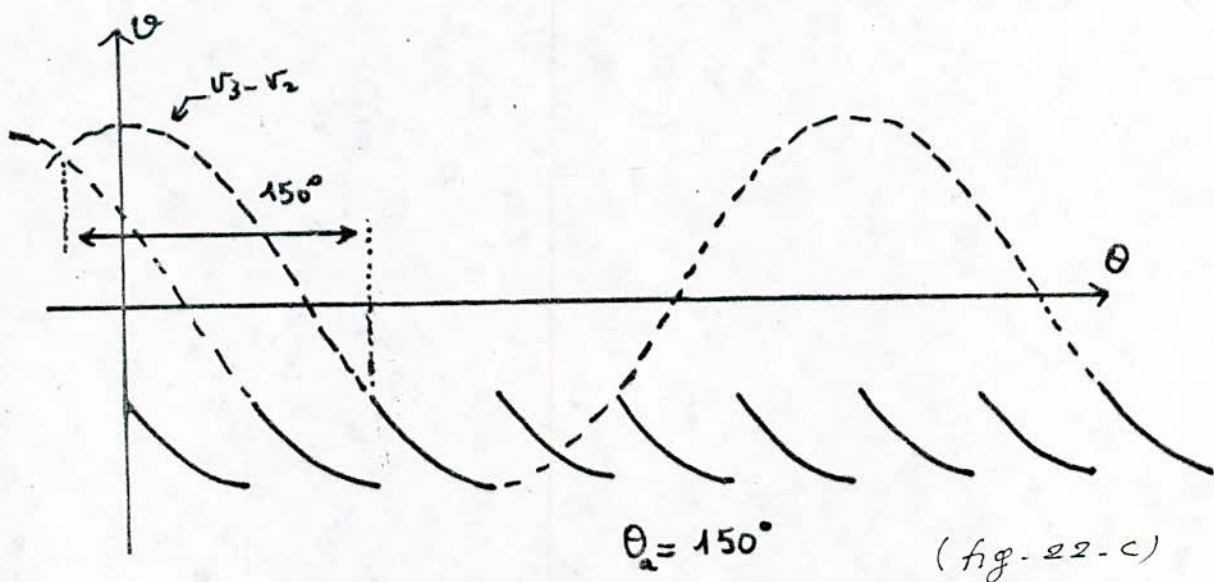
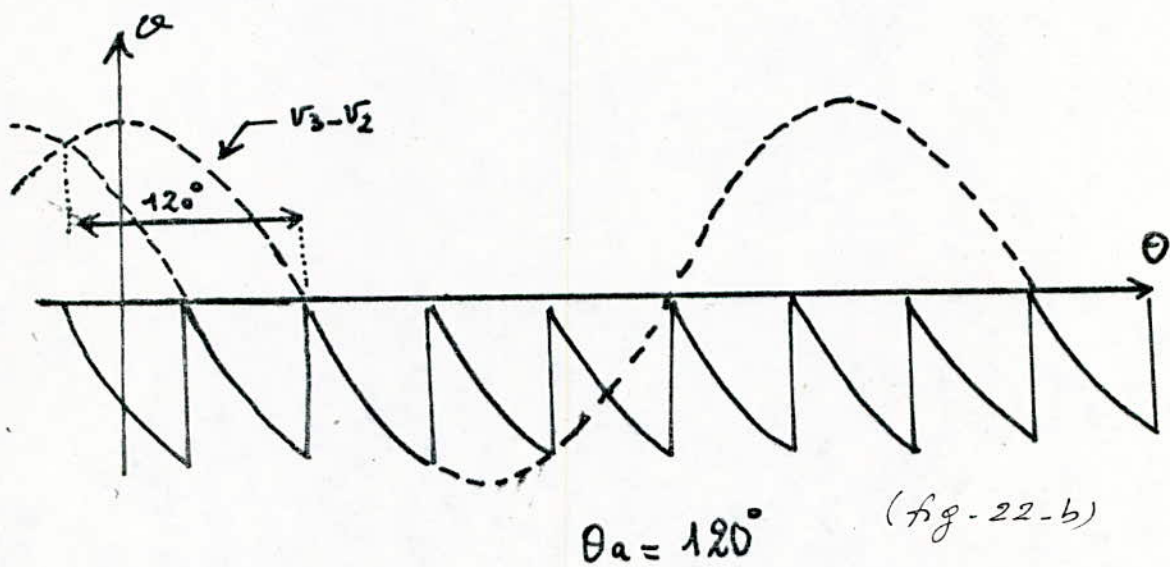
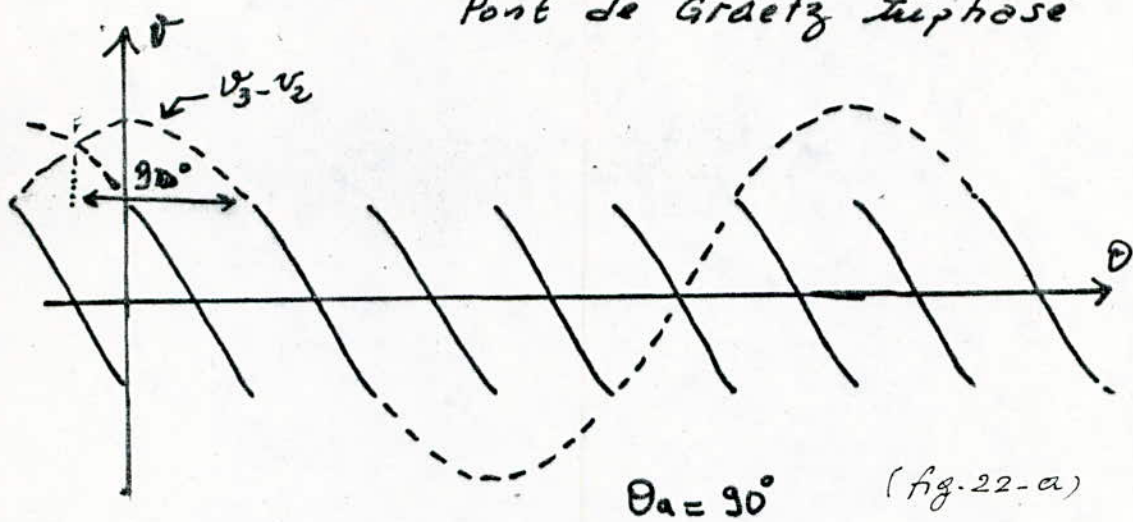
Fonctionnement en Onduleur
Triphasé simple vote



$\theta_a = 120^\circ$

(fig. 21 - c)

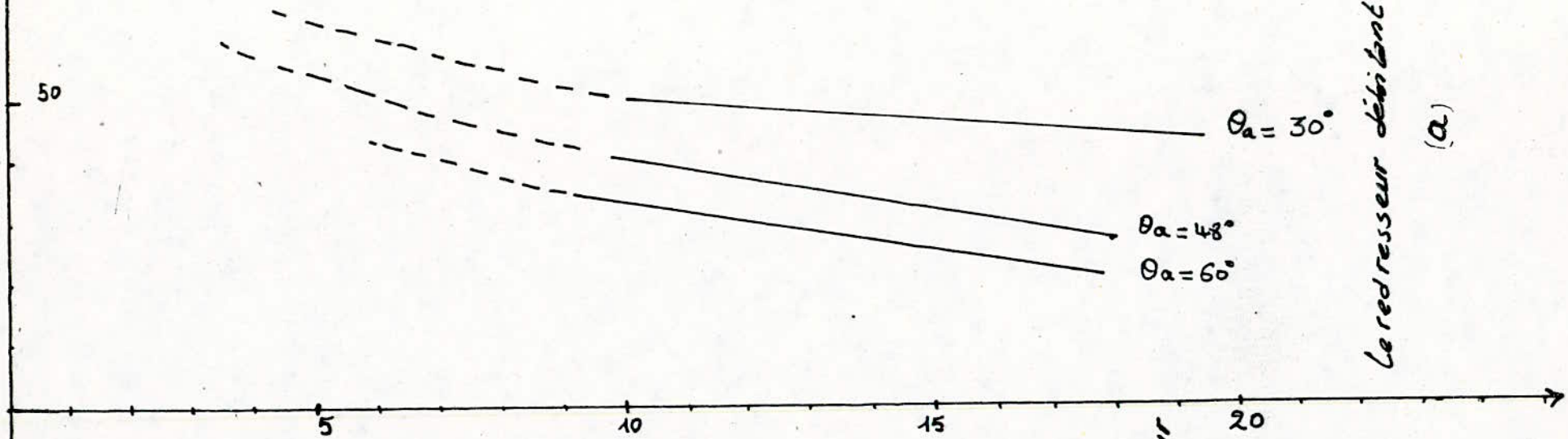
fonctionnement en onduleur
Pont de Graëtz triphasé



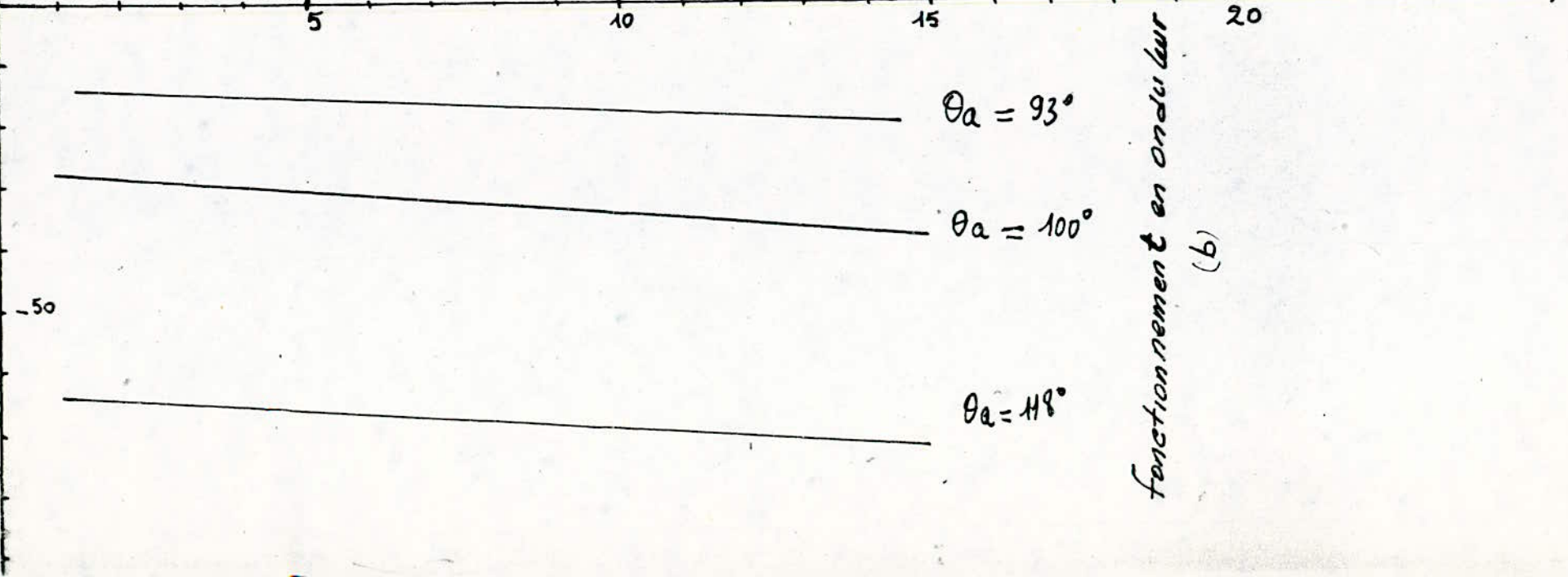
100
 $\Delta U_c [V]$

(27-64)

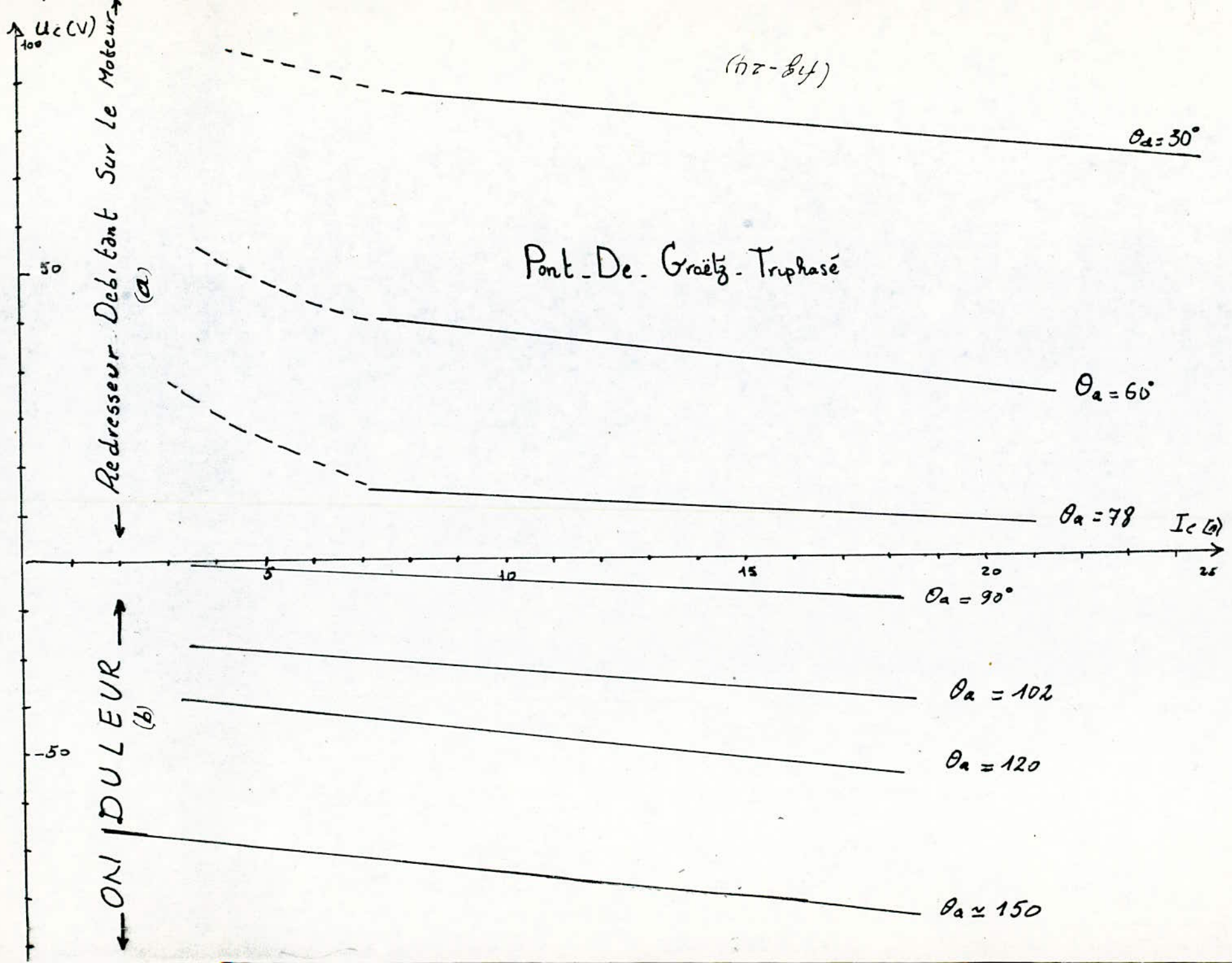
TRIPHASÉ SIMPLE VOIE



Le redresseur débranché sur le moteur



fonctionnement en onduleur



Reglage de la Puissance à $E = cte$

On a fait ces essais, en variant l'angle d'allumage et en ne touchant plus aux paramètres de la machine. La tension mesurée aux bornes de la génératrice est presque constante.

- On mesure les valeurs moyennes I_c et U_c , du courant et de la tension redressés. On en déduit la puissance fournie. On veut voir pour quel angle θ_2 on tourne la puissance maximum au réseau alternatif.

U_c (V)	6	10	16	20	26	32	40	44	50
I_c (A)	17,25	16	14,25	13,25	11,5	9,5	7,5	6,5	5,75
θ_2 en°	92,4	99,6	105	110,4	114	117,6	126,6	130,2	135,2
$U_{générateur}$ (V)	69,75	69,75	69,75	69,75	69,75	69,75	69,75	70	70,5
P_c (W)	297,5	286	300	304	299	270	228	160	103,5

On trace le graphe $P = f(U_c)$. On voit que la puissance est maximum quand $U_c = \frac{U_g}{2}$.

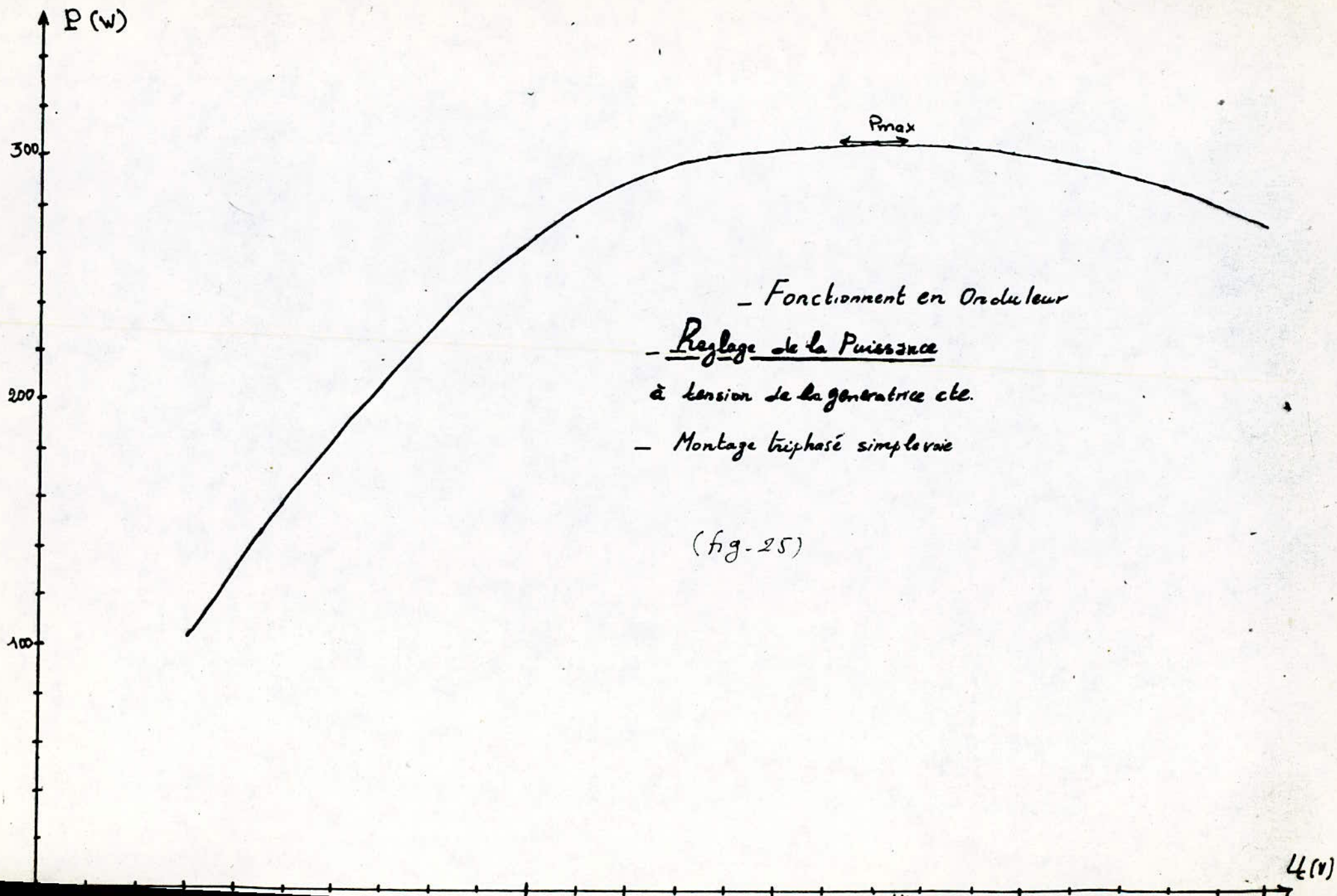
$$U_c \approx \frac{U_g}{2} : U_c = 34 \text{ volts.}$$

$$U_g = 69,75 \text{ volts.}$$

Ceci est expliqué par la théorie comme suit.

$$P = \frac{U_c \cos \theta_2}{R} (U_g + U_c \cos \theta_2) = \frac{U_c}{R} (U_g + U_c) \quad U_c < 0$$

$$P_{\max} \text{ implique } \frac{dP}{dU_c} = 0 \text{ implique } \frac{U_g + U_c}{R} + \frac{U_c}{R} \rightarrow |U_c| = \frac{U_g}{2}$$



- Fonctionnement en Onduleur
- Reglage de la Puissance
à tension de la génératrice cte.
- Montage triphasé simplifié

(fig-25)

CONCLUSION

Les résultats obtenus pour l'onduleur sont bons : on a atteint un angle d'allumage $\theta_a = 150^\circ$ sans avoir de phénomène de discontinuité.

Le rendement du convertisseur est bon : il atteint à peu près 75%. Pour résoudre finalement le problème de discontinuité il faut une étude théorique rigoureuse donnant pour chaque angle d'amorçage l'inductance critique. Il faut aussi avoir en possession un matériel spécifique de fonctionnement onduleur non autonome. Trouve plusieurs applications tel que le freinage par récupération. Dans ce but ce sujet sera achevé, le semestre prochain, en utilisant un convertisseur alternatif / continu réversible.

BIBLIOGRAPHIE

1. Cours d'électronique : T. V : Edition : Eyrolles
Auteur : Francis MILSANT
2. Electronique de puissance : Edition : Dunod
Auteur : H. Bühler
3. Commande électronique des moteurs à
Courant Continu
Edition : Eyrolles
Auteur : Chauprade
4. Electronique : Redressement : 2^e partie
Edition : Foucher :
Auteur : Mounic
5. Electronique de puissance : Séguier
Edition : Dunod.
6. Techniques de l'ingénieur : D₃ - Electrotechnique
7. Machines électriques et électronique de puissance
Edition - Dunod.
Auteurs : ALAIN HEBERT
 CLAUDE NAUDET
 MICHEL PINARD
8. Cours d'électrotechnique . T: 2 Traitement
de l'énergie électrique (convertisseur statique)
Auteur . J.L. DALMASSO : Edition BELIN

Département: .GENIE.ELECTRIQUE.....

Auteurs: .MAAZI.Abdelhamid...TÄHMI Redhouane

et Ingénieurs ...RQUHAFER..Aziz....

et HAMAIZIA Slimane

صحة

وجه

لمهندس

- الموضوع : ربط مجدل التيار (جسر قريتز) بالة تيار متواصل
- الملخص : موضوع بحثنا هو الدراسة النظرية والتطبيقية لاشتغال مبدل لتيار جسر قريتز
مرتبط بالة تيار متواصل والمساهمة في حل مشاكل هذا الارتباط،

Objet: .!... ASSOCIATION . PONT DE GREATZ . . . MACHINE A COURANT CONTINU . . . !.....

Résumé:

- L'objet de notre travail est l'étude théorique et pratique du fonctionnement d'un convertisseur de courant (Pont de Graëtz) associé à une M.C.C. et de contribuer à la résolution des problèmes liés à cette association. -

Subject: .!... GREATZ . BRIDGE . . . DIRECT CURRENT MACHINE ASSOCIATION . . . !.....

Abstract:

- Our subject work is the theoretical and practical study of working of current converter (Bridge of Graëtz) associated with D.C.M. and to contribute to problems resolution of this association. -