

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche scientifique



Université Mohamed Khider Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrique
Filière : Electrotechnique
Option : Machines électriques

Réf:.....

Mémoire de Fin d'Etudes
En vue de l'obtention du diplôme:

MASTER

Thème

*Etude et réalisation d'un redresseur
triphase commandé à thyristor*

Présenté par :
Cherfi Abdennour
Soutenu le : 02 Juin 2016

Devant le jury composé de :

Mr	Bouallagua Rabhi	MCA	Président
Mr	Ghamri Ahmed	MCA	Encadreur
Mme	Saadi Aicha	MCB	Examineur

Année universitaire : 2015 / 2016

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la recherche scientifique



Université Mohamed Khider Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrique
Filière : électrotechnique
Option : Machines électriques

Mémoire de Fin d'Etudes
En vue de l'obtention du diplôme:

MASTER

Thème

***Etude et réalisation d'un redresseur triphasé
commandé à thyristor***

Présenté par :

Cherfi Abdenmour

Avis favorable de l'encadreur :

Dr. Ghamri Ahmed

Avis favorable du Président du Jury

Pr . Bouallagua Rabhi

Cachet et signature

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche scientifique



Université Mohamed Khider Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrique
Filière : électrotechnique

Option :

Thème :

Etude et réalisation d'un redresseur triphasé commandé à thyristor

Proposé par : Cherfi Abdennour

Dirigé par : GHAMRI Ahmed

RESUME

Convertisseur statique découvert il y a plusieurs décennies dans le but de convertir la courant alternative en continue et j'ai pris une grande importance dans de nombreuses études. A cet effet, nous avons étudié dans cette mémoire à l'étude générale de convertisseur statique et certaines parties de composants (diode , thyristor , Transistor) Légende de l'image certains concepts pour ce type de convertisseur .

Et dédié dans cette mémoire, redresseur triphasés qui ont une signification dans l'industrie comme nous avons parlé à fonctionnement de son travail redresseur ou onduleur.

المخلص

لقد اكتشفت المقومات الساكنة منذ عقود لغرض تحويل التيار من المتناوب الى المستمر و لقد أخذت أهمية كبيرة في كثير من الدراسات ، ولهذا الغرض تطرقنا في هذه المذكرة الي دراسة عامة للمقوم الساكنة والى بعض الاجزاء المكونة لها (الصمام، التيرستور، الترنزستور) كصورة توضيحية و تبيينيه لبعض المفاهيم لهذا النوع من المقومات . وخصصنا في هذه الدراسة المقومات ثلاثية الطور التي لها اهمية في مجال الصناعة كما تطرقنا الى وضايف عمله كمحول تيار من المتناوب الى المستمر او الى محول من المستمر الى المتناوب.

Remerciement

Mes Remerciement vont tout premièrement, à Dieu le tout puissant qui

M'a donné la foi, le courage et la patience de parvenir à finir ce modeste travail.

J'adresse tout d'abord ma profonde reconnaissance à mon encadreur **Dr ghamri Ahmed** pour l'honneur qu'il m'a fait en acceptant de diriger ce travail, et pour ses conseils et encouragements réguliers, qualités scientifiques et humaines ont toujours été une source de motivation.

Je remercie aussi tous les enseignants et les responsables du département De génie électrique d'université **Mohammed khidur** leur aide et leurs encouragements. Sans oublier mes amis d'étude.

Je ne saurais oublier d'adresser mes vifs remerciements à toute ma famille pour leur collaboration.

Je tiens enfin à remercier vivement toute les personnes qui ont contribué de près ou de lion a l'aboutissement a de ce travail.

Cherfi Abdenmour

dédicace

J'ai le grand plaisir de dédie ce modeste Travail a La mémoire de
Ma très cher père

Ma chère mère, l'amour de ma vie et le

Source de douceur que ma encouragé.

Mes frères et mes sœurs qui je leur

Souhaite le bonheur.

Je dédie également aux personnes les

Chères aman cœur :

Toute la famille Cherfi et drisse

Tous les amis et groupe machine électrique.

Liste de figure

Figure I.1: Représentation symbolique d'une diode.....	4
Figure I.2: a : Caractéristique idéale - b : caractéristique réelle.....	4
Figure I.3 : Représentation symbolique d'un thyristor.....	5
Figure I.4 : Caractéristique statique réelle d'un thyristor.....	6
Figure I.5: Représentation symbolique des transistors NPN et PNP.....	6
Figure I.6: Caractéristiques du transistor NPN.....	7
Figure I.7: redresseur monophasé mono alternance.....	7
Figure I.8: l'allure de tension et courant redressée.....	8
Figure I.9 : redresseur monophasé double alternance à point milieu.....	8
Figure I.10 : signal aux borne de la charge.....	9
Figure I.11: redressement monophasé non commandé en pont charge résistive.....	10
Figure I.12: signal aux borne de la charge tension et le courant.....	11
Figure I.13: redressement monophasé non commandé en pont charge inductive.....	11
Figure I.14: signal aux borne de la charge tension et le courant.....	12
Figure I.15: redressement monophasé non commandé pont (PD2) charge RLE.....	12
Figure I.16: signal de courant aux borne de la charge.....	13
Figure I.17: Symbole de Redressement monophasé commandé.....	13
Figure I.18: redresseur monophasé commandé.....	14
Figure I.19 : l'allure de tension et de courant.....	14
Figure I.20: Redressement monophasé commandé à point milieu charge résistive...	15
Figure I.21: Allures des tensions et le courant aux borne la charge.....	15
Figure I.22: Redressement monophasé commandé à point milieu charge inductive..	16
Figure I.23: Redresseurs monophasée double alternance.....	17
Figure I.24: Allures des tensions et le courant aux borne la charge.....	17
Figure I.25: Redresseurs monophasée double alternance charge RLE.....	18
Figure I.26: Allures des tensions et le courant aux borne la charge.....	19

Figure I.27: Redressement triphasé simple alternance.....	19
Figure I.28: Allures des tensions aux borne la charge et diode D1.....	20
Figure I.29: Redressement triphasé double alternance.....	20
Figure I.30: Allures des tensions aux borne la charge et diode D1.....	21
Figure I.31: Redresseurs triphasés commandé simple alternance.....	22
Figure I.32: Allures des tensions aux borne la charge et thyristor.....	22
Figure II.19: impulsion de commande du thyristor.....	24
Figure II.2 : allure de tension redressée pour $\alpha= \pi/6$	24
Figure II.3: allure de tension redressée pour $\alpha= 2\pi/3$	25
Figure II.4:: redresseur triphasé commandé tout thyristor.....	26
Figure II.5: Allure des tensions et des courants	27
Figure II.6: la tension redressée.....	29
Figure II.7: la tension redressée.....	29
Figure II.8: la tension redressée.....	30
FigureII.9: la tension redressée:.....	30
Figure II.10: l'allure de tension redressée et courant de thyristor.....	31
Figure II.11: l'allure de tension et le courant de phase 1.....	31
Figure II.12: l'allure de courant de thyristor.....	32
Figure II.13: l'allure de courant de phase 1.....	32
Figure II.14: l'allure de tension appliquée aux thyristors V_{th1}	33
Figure II.15: $\alpha < \pi/2$ marche en redresseur	33
Figure II.16: $\alpha > \pi/2$ marche en onduleur non autonome.....	34
Figure II.17: commande de thyristor	35
Figure II.18: Commande des montages triphasés tout thyristors.....	36
Figure II.1: montage de redresseur mixtes PD3.....	36

Figure III.1: schéma de montage de redresseur triphasé commandé.....	39
Figure III.2 : signal de générateur d'impulsions de commande de la thyristors.....	40
Figure III.3 : montage de redresseur on pratique.....	40
Figure III.4: la tension redressé de la charge et la tension composé.....	41
Figure III.5: la tension redressé de la charge et la tension composé.....	42
Figure III.6: la tension et courant de thyristor 1.....	42
Figure III.7: le courant et tension de thyristor et courant de la charge.....	43
Figure III.8: courant de la charge et tension redressé et impulsion.....	43
Figure III.9: courant de la charge et tension redressé et impulsion.....	43
Figure III.10: la tension redressé de la charge et la tension composé.....	44
Figure III.11: la tension redressé de la charge et la tension composé.....	44
Figure III.12: la tension et courant de thyristor 1.....	45
Figure III.13: le courant et tension de thyristor et courant de la charge.....	45
Figure III.14: courant de la charge et tension redressé et impulsion.....	45
Figure III.15: courant de la charge et tension redressé et impulsion.....	46
Figure III.16: la tension redressé de la charge et la tension composé.....	46
Figure III.17: la tension redressé de la charge et la tension composé.....	47
Figure III.18: la tension et courant de thyristor 1.....	47
Figure III.19: le courant et tension de thyristor et courant de la charge.....	48
Figure III.20: courant de la charge et tension redressé et impulsion.....	48
Figure III.21: courant de la charge et tension redressé et impulsion.....	49
Figure III.22: la tension redressé de la charge et la tension composé.....	49
Figure III.23: la tension redressé de la charge et la tension composé.....	50
Figure III.24: la tension et courant de thyristor 1.....	50
Figure III.25: le courant et tension de thyristor et courant de la charge.....	51
Figure III.26: courant de la charge et tension redressé et impulsion.....	51
Figure III.27: courant de la charge et tension redressé et impulsion.....	51

Figure III.28: la tension redressé de la charge et la tension composé.....	52
Figure III.29: la tension redressé de la charge et la tension composé.....	52
Figure III.30: la tension et courant de thyristor 1.....	53
Figure III.31: le courant et tension de thyristor et courant de la charge.....	53
Figure III.32: courant de la charge et tension redressé et impulsion.....	53
Figure III.33: courant de la charge et tension redressé et impulsion.....	54

NOTATION

V_e :	Tension d'entrée.
I_e :	Courant d'entrée.
V_s :	Tension de sortie.
I_s :	Courant de sortie.
U_{moy}, U'_c :	tension moyenne
I_{moy} :	courant moyenne
$R(\Omega)$:	Résistance de la charge.
$L(H)$:	L'inductance.
V_D :	La tension aux bornes de la diode.
α :	l'Angel d'amorçage
αT :	Le rapport cyclique.
T :	La période du hachage.
F :	La fréquence du hachage.
D :	sont diode
$K1, K2$:	Sont des interrupteurs.
P :	La jonction positive.
N :	La jonction négative.
V_{th} :	tension de thyristor
I_{th} :	courant de thyristor

Sommaire

Introduction Générale	1
Chapitre I :	
I.1. Introduction	3
I.2. Généralité et classification des convertisseurs statiques	3
I.3. Interrupteurs de l'électronique de puissance.....	4
I.3.1. La diode.....	4
I.3.2 Le thyristor	5
I.3.3 Le transistor bipolaire	6
I.4. Redressement mono alternance	7
I.5.Redressement monophasé double alternance	8
I.5.1.Redressement monophasé double alternance à point milieu (P2)	8
I.5.2. Redressement monophasé non commandé pont de Graëtz (PD2).....	10
I.5.3. Redressement monophasé non commandé (PD2)charge inductive.....	11
I.5.4. Redressement monophasé non commandé (PD2) charge RLE.....	12
I.6. Redressement monophasé commandé	13
I.6.1. Le redresseur monophasée simple alternance	14
I.6.2. Redressement monophasé commandé à point milieu avec charge résistive ..	15
I.6.2. Redressement monophasé commandé à point milieu charge inductive	16
I.6.4. Redressement monophasé commandé (PD2) charge résistive	17
I.6.5. Redressement monophasé commandé (PD2) charge RLE	18
I.7.Redressement triphasé non commandé.....	19
I.7.1 .Redressement triphasé simple	19
I.7.2.Redressement triphasé (PD3)	20
I.8. Les redresseurs triphasés commandés	21
I.8.1. Le redresseur triphasée simple alternance	21
I.9. Conclusion	22

Chapitre II:

II.1.Introduction	23
II.1.1. Définition.....	23
II.2. Etude du montage mixtes PD3	24
II.2.1 Allure des tensions et des courants.....	24
II.2.2 Calcul des grandeurs caractéristiques.....	25
II.2.2.1 Valeur moyenne de u	25
II.2.2.2.Valeurs moyennes et efficaces des courants	26
II.3.Etude du montage tout thyristor PD3	26
II.3.1.Le redressement triphasé commandé.....	26
II.3.2.Allure des tensions et des courants.....	27
II.3.3. Calcule des grandeurs caractéristiques	27
II.3.3.1.Valeur moyenne de la tension redressée u	27
II.3.3.2. Valeurs moyennes et efficaces des courants:.....	28
II.3.3.3. Facteur de puissance	28
II.4. Allure de V_s pour une charge inductive et active	29
II.5. Allure de V_s pour une charge résistive	29
II.6. Valeur moyenne disponible.....	30
II.7. Courants dans les thyristors et facteur de puissance	31
II.8. Tension appliquée aux thyristors.....	32
II.9. Fonctionnement en redresseur et en onduleur.....	33
II.9.1. Commande des thyristors	34
II.9.1.1.Commande brève – Commande longue.....	34
II.9.1.2.Commande des montages triphasés tout thyristors	36
II.9.2.Utilisation d'une impulsion de confirmation	36
II.10. Conclusion.....	37

Chapitre III :

III. Introduction:.....	38
III.1. Généralités sur le Simulink :	38
III.2. Paramètres du réseau:	38
III.3. Montage de simulation de redresseur triphasé commandé avec une charge RLE	39
III.4. Description fonctionnelle de générateur d'impulsions.....	39
III.5. Montage de redresseur triphasé commandé avec une charge RLE on pratique:	40
III.5.1.Principe fonctionnement de montage	41
III.6. L'allure pour chaque angle d'amorçage:	41
III.7. Fonctionnement de redresseur triphasé commandé charge RLE :	54
III.8. Conclusion.....	56
Conclusion générale.....	57
Bibliographies	

Introduction Générale

Les technologies avancées obtenues ces dernières années dans le domaine des composants de l'électronique de puissance ont favorisé une croissance du marché des convertisseurs de puissance. L'électronique de puissance c'est imposée comme un des éléments essentiels dans la conversion de l'énergie électrique.

Permis Les convertisseurs les plus utilisés, on trouve les redresseurs .Ces derniers assurent directement la conversion alternatif –continu, alimentés par une source de tension alternative monophasée ou polyphasée, ils permettent d'alimenter en courant continu le récepteur branché à leur sortie.

On utilise un redresseur chaque fois qu'on a besoin de continu alors que l'énergie électrique est disponible en alternatif. Comme c'est sous cette seconde forme que l'énergie électrique est presque toujours générée et distribuée, les redresseurs ont un très vaste domaine d'applications.

Le remplacement des redresseurs à vapeur de mercure par des semi-conducteurs au silicium, diodes ou thyristors, n'a fait qu'entendre ce domaine. Les semi-conducteurs permettent en effet de réaliser des convertisseurs moins encombrants, moins onéreux, très faciles à mettre en œuvre et d'un meilleur rendement.

On différencie quatre types de convertisseurs

- Convertisseur alternatif-continu : redresseur ;
- Convertisseur continu-continu : hacheur ;
- Convertisseur continu-alternatif : onduleur ;
- Convertisseur alternatif-alternatif : c'est un gradateur lorsque seule la valeur efficace de la tension alternative est modifiée, sinon c'est un cyclo-convertisseur [1].

Les redresseurs à diodes, ou redresseurs non contrôlés, ne permettent pas de faire varier le rapport entre la ou les tensions alternatives d'entrée et la tension continue de sortie. De plus, ils sont irréversibles, c'est-à-dire que la puissance ne peut aller que du côté alternatif vers le côté continu.

Les redresseurs à thyristors, ou redresseurs contrôlés, permettent, pour une tension alternative d'entrée fixée, de faire varier la tension continue de sortie. Ils sont

de plus réversibles ; lorsqu'ils assurent le transfert de puissance du côté continu vers le côté alternatif, on dit qu'ils fonctionnent en onduleurs non autonomes .

De manière à atteindre ces objectifs de recherche, ce mémoire sera divisé en trois chapitres .

Dans le première chapitre de ce mémoire, nous présenterons une synthèse et les type de redresseur commandé et non commandé (définition, principe de fonctionnement et classification)

Le deuxième chapitre consacrera à l'étude analytique en générale des convertisseurs statiques, (redresseurs triphasé commandé charge RLE).et commande de impulsion .

Le troisième chapitre, présentera des simulations numériques sous Matlab-Simulink et pratique, pour redresseurs triphasé commandé avec un charge RLE ; en présentant les allures de la tension et courant redressée et tension et courant de thyristor et on utilise set montage on pratique .
Et nous finissons par une conclusion générale.

I.1. Introduction

Dans ce premier chapitre nous exposons un rappel théorique concernant les convertisseurs alternatif-continu. En premier lieu, nous donnons une classification des principaux convertisseurs de puissance, puis une brève description des composants de puissance les plus employés est présentée. Puis, nous passons en revue les montages les plus célèbres dans les applications dédiées aux redressements commandés et leurs performances pour des charges résistives et inductives et active.

I.2. Généralité et classification des convertisseurs statiques

Les convertisseurs statiques sont des dispositifs à composants électroniques semi-conducteurs capables de modifier la forme et/ou la fréquence d'une onde électrique. Ils sont réalisés à l'aide de circuits électroniques qui permettent la liaison entre deux réseaux électriques parcourus par des courants de natures différentes, cette liaison est obtenue en reliant entre elles, d'une manière déterminée périodique et unidirectionnelle, les bornes des deux réseaux de façon à obtenir la conversion désirée. On distingue deux types de source :

- les sources de tension continue caractérisée par la valeur U de la tension ;
- les sources de tension alternative définie par les valeurs de la tension efficace et de la fréquence f , Les interrupteurs électroniques les plus couramment utilisés actuellement dans les convertisseurs statiques sont les diodes, les thyristors, les thyristors GTO, les transistors bipolaires.

Les convertisseurs statiques peuvent être classés de la manière suivante :

- a) **Les redresseurs** : Ce sont des convertisseurs alternatif-continu qui permettent de convertir une tension alternative en une tension continue unidirectionnelle, si ils sont commandés la valeur moyenne de la tension obtenue est alors réglable.
- b) **Les hacheurs** : Ce sont des convertisseurs continu-continu délivrant une tension continue réglable à partir d'une tension continue de valeur fixe, ils jouent ainsi le rôle de transformateur à courant continu.
- c) **Les onduleurs** : Ce sont des convertisseurs continu-alternatif, ils permettent donc de convertir une tension continue en une tension alternative, on les désigne alors d'onduleurs de tension .
- d) **Les gradateurs** : Ce sont des convertisseurs alternatif-alternatif, ou variateur

de courant alternatif lorsque $f_1=f_2$. Les gradateurs produisent des tensions et des courants alternatifs à partir d'une alimentation alternative sans modifier la fréquence des tensions, ils jouent ainsi le rôle des autotransformateurs abaisseurs réglables.

e) **Les cyclo-convertisseurs** : Ce sont des convertisseurs alternatif-alternatif (ou convertisseur de fréquence), c'est-à-dire qu'il permet la conversion d'une tension alternative de fréquence f_1 en tension alternative de fréquence f_2 .

I.3. Interrupteurs de l'électronique de puissance

I.3.1. La diode

La diode est un élément redresseur non commandé constitué d'une jonction PN, sa représentation symbolique est donné sur la figure(I.1).

✚ Principe de fonctionnement

Une diode conduit le courant dans le sens anode (A) - cathode (K), tandis qu'elle est bloquée dans l'autre sens. Dans le cas d'une caractéristique parfaite, on suppose que la chute de tension entre (A) et (K) est nulle dans le sens de la conduction et que le courant est nul dans le sens du blocage [2], comme le montre la figure (I.2).

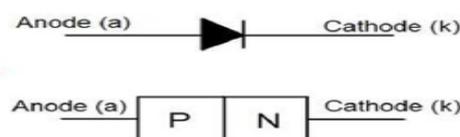


Figure I.1: Représentation symbolique d'une diode

✚ Caractéristique statique d'une diode

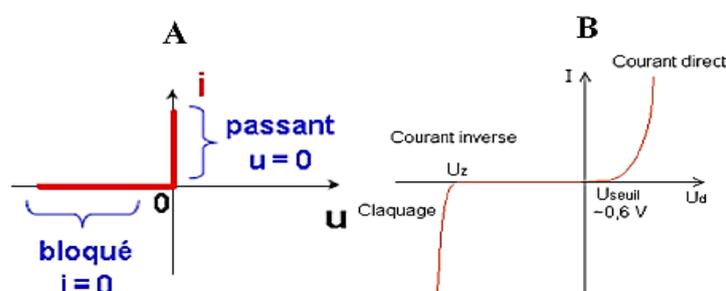


Figure I.2: a : Caractéristique idéale - b : caractéristique réelle

I.3.2 Le thyristor

Le thyristor est un élément semi-conducteur qui possède quatre couches respectivement dopé PNPN, trois jonctions PN et trois électrodes : l'Anode (A), la cathode (K) et la gâchette (G). Comme la diode, le thyristor laisse passer le courant électrique dans un seul sens, de l'anode vers la cathode. Mais le thyristor ne conduira que si un courant minimum positif est fourni à la gâchette. En fait, s'il est polarisé en direct ($V_{AK} > 0$), une impulsion positive suffira pour le rendre conducteur. C'est donc une diode commandée et plus spécifiquement un redresseur commandé, d'où son nom anglais 'Silicon Controlled Rectifier' (SCR), ce qui signifie (Redresseur commandé au silicium)[3]. La figure (I.3) donne la représentation symbolique d'un thyristor.

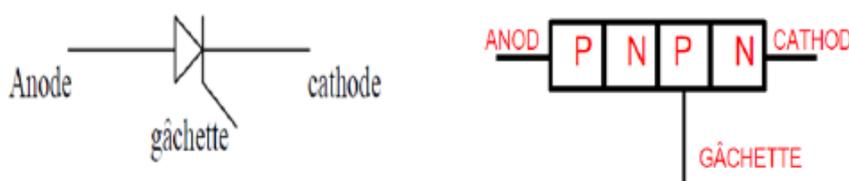


Figure I.3 : Représentation symbolique d'un thyristor.

✚ Principe de fonctionnement

- **Amorçage**

L'amorçage d'un thyristor est obtenu par différents phénomènes physiques, dans tous les cas l'amorçage rend le thyristor conducteur et un courant circule de l'anode vers la cathode ($I_{AK} > 0$). La tension V_{AK} est alors faible, environ de l'ordre de quelques dixièmes de volts. Il est à noter que pour le thyristor reste conducteur, son courant d'anode I_{AK} doit rester supérieur à une certaine valeur appelée courant de maintien.

- **Blocage**

Sous tension inverse, la tension anode cathode notée V_{AK} est négative, la première et la dernière jonctions sont polarisées en inverse et donc bloquées, le courant de fuite a une intensité très faible en raison des différences de dopage entre les couches. C'est la jonction d'anode qui supporte la plus grande partie de la tension

inverse. Pour bloquer un thyristor il suffit de lui imposer une tension V_{AK} négative, alors même une impulsion positive appliquée sur la gâchette ne pourra l'amorcer.

✚ Caractéristique statique

La caractéristique statique réelle d'un thyristor est représenté sur la figure(I.4).

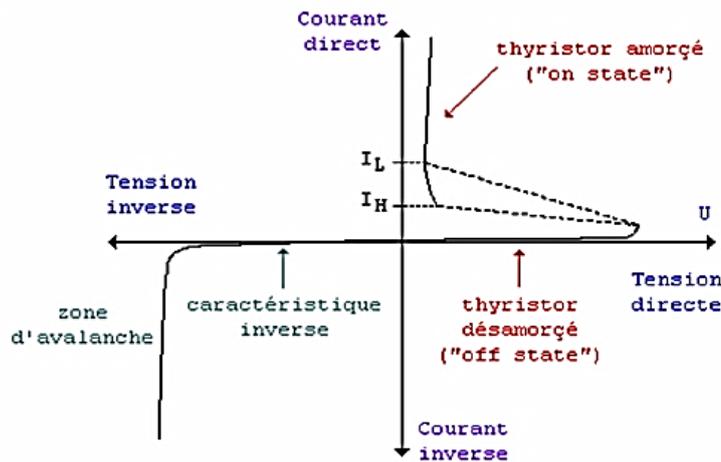


Figure I.4 : Caractéristique statique réelle d'un thyristor.

I.3.3 Le transistor bipolaire

Un transistor bipolaire est un dispositif électronique à base de semi-conducteur. Son principe de fonctionnement est basé sur deux jonctions PN, l'une en direct et l'autre en inverse. La polarisation de la jonction PN inverse par un faible courant électrique (parfois appelé effet transistor) permet de commander un courant beaucoup plus important, suivant le principe de l'amplification de courant [4].

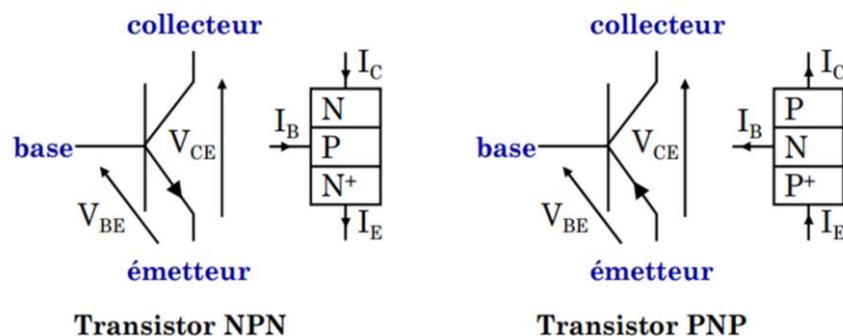


Figure I.5: Représentation symbolique des transistors NPN et PNP

✚ Caractéristiques du transistor NPN

Pour débloquer (rendre passant) le transistor, il faut que la jonction base-émetteur soit polarisée en direct avec une tension supérieure à la tension de seuil, V_S de cette jonction figure (I.6.A).

Si la jonction BC est polarisée en inverse, alors le courant des électrons peut traverser cette jonction, dans ce cas le courant de collecteur I_C est indépendant de la tension collecteur/émetteur V_{CE} (régime linéaire : $(I_C = \beta \cdot I_B)$). Le, le basculement entre ces deux fonctionnements se produit a la tension V_{CEsat} (sat pour saturation courant I_C n'est proportionnel à I_B .figure (I.6.B) [4].

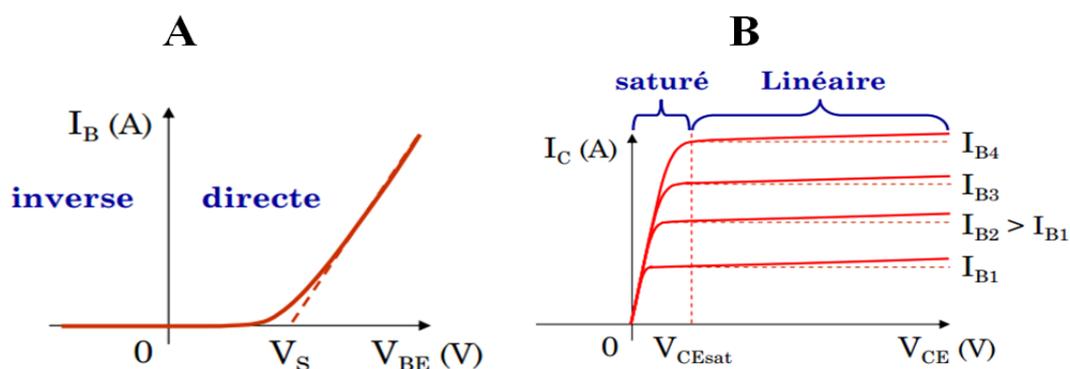


Figure I.6: Caractéristiques du transistor NPN

I.4. Redressement mono alternance

Ce type de redressement permet de supprimer l'alternance négative d'un signal en conservant l'alternance positive la figure (I.7).la diode toujours bloquée lorsque la tension V est négative et passe pour la tension V positive,

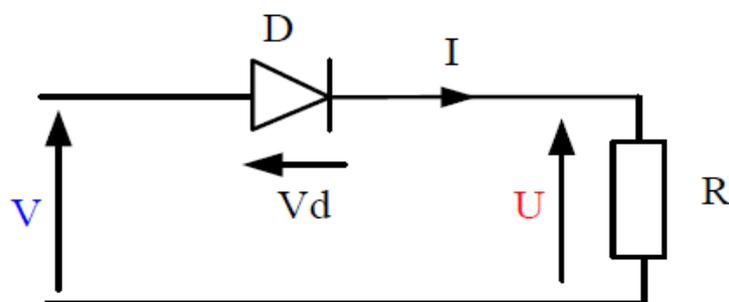


Figure I.7: redresseur monophasé mono alternance

La valeur moyenne de tension U : $U_{\text{moy}} = \frac{1}{\pi} \hat{U}$ (I.1)

La valeur efficace en entrée V : $V_{\text{eff}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot (\pi \cdot U)$ (I.2)

Figure représenté L'allure de tension et de courant

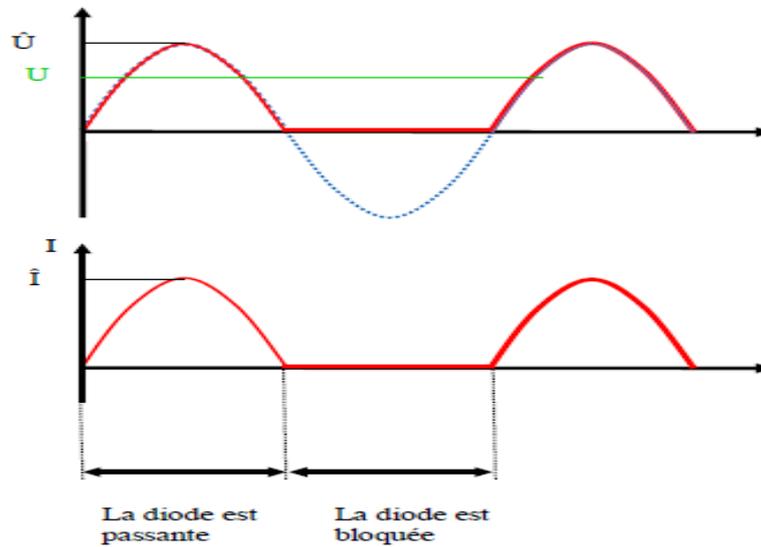


Figure I.8: l'allure de tension et courant redressée

I.5.Redressement monophasé double alternance

Le redressement double alternance peut s'effectuer avec un transformateur à point milieu et deux diodes ou avec un transformateur avec un seul bobinage secondaire et un pont de Graëtz constitué de quatre diodes.

I.5.1.redressement monophasé double alternance à point milieu (P2)

Dans ce mode de redressement double alternance, on fait appel à deux diodes et un transformateur ayant deux enroulements secondaires identiques.

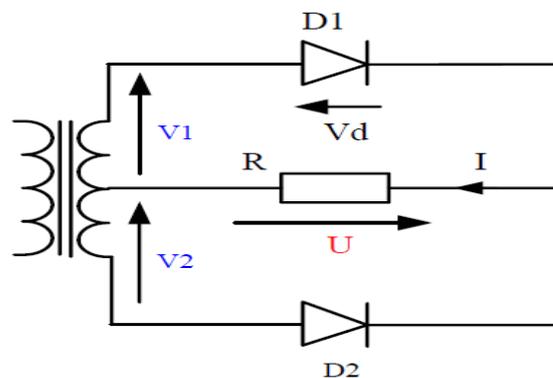


Figure I.9 : redresseur monophasé double alternance à point milieu.

Il est bon de rappeler le fonctionnement d'un transformateur double enroulement. Lorsque le signal primaire est alimenté sous tension alternative sinusoïdale, nous retrouvons deux potentiels au secondaire, l'un sur l'enroulement du dessus et le second sur l'enroulement du dessous. Si nous disons encore que ces deux derniers enroulements sont bobinés dans le même sens, on peut conclure que lorsque nous sommes sur l'alternance positive de la tension primaire, nous avons sur l'un des enroulement une alternance positive également tandis que sur l'autre nous aurons une alternance négative et vice versa pour l'alternance négative de la tension primaire.[5]

2 modes de fonctionnement :

==> D1 on et D2 off lorsqu'on a au secondaire une alternance positive

==> D1 off et D2 on lorsqu'on a au secondaire une alternance négative

valeur du courant et de la tension moyenne, s'agissant d'un redressement double alternance le principe de calcul est le même que sur le redressement mono alternance

$$\text{La valeur moyenne de } U \text{ est : } U_{\text{moy}} = \frac{2U_{\text{max}}}{\pi} = \text{ou } U_{\text{moy}} = \frac{2\sqrt{2}V}{\pi} \quad (\text{I.3})$$

$$\text{Courant moyen traversant la charge : } I_{\text{moy}} = \frac{2U_{\text{max}}}{\pi R} \quad (\text{I.4})$$

On peut donc déduire les allures suivantes :

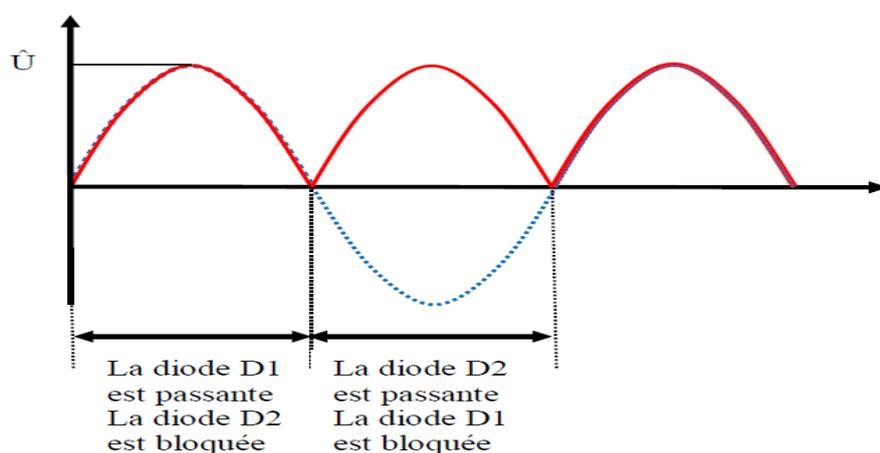


Figure I.10 : signal aux borne de la charge.

On peut donc dire que lorsque mon premier enroulement secondaire est dans son alternance positive, la diode D1 est dans le sens passant et conduira. La diode D2 est-elle à ce moment soumise à une tension inverse et est donc bloquée. Par contre

lorsque la tension dans ce même enroulement sera dans son alternance négative, la diode D2 sera dans le sens passant et conduira . La diode D1 est-elle à ce moment soumise à une tension inverse et est donc bloquée. La charge verra donc une tension du type double alternance.

I.5.2.Redressement monophasé non commandé pont de Graëtz (PD2)

Le pont de Graëtz est constitué de 4 diodes, c'est un type de redressement très utilisé.

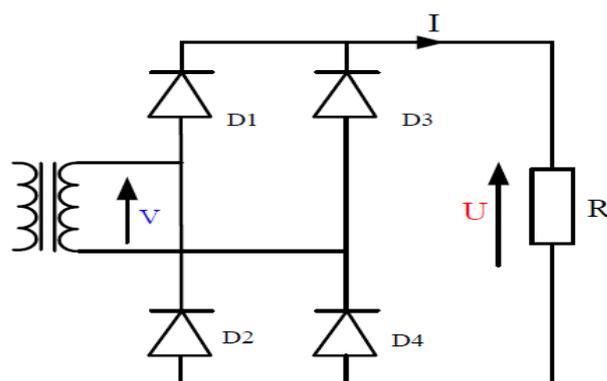


Figure I.11: redressement monophasé non commandé en pont charge résistive.

Comme le montre les courbes figure(I.11), nous retrouvons une tension redressée double alternance. Lors de l'alternance positive de la tension secondaire, seul les diodes D1 et D4 seront polarisée en direct, elles seront donc les seules à conduire. Les deux autres diodes seront bloquées car polarisée en inverse. on note que les diodes devront reprendre en inverse la moitié de la tension débitée par le secondaire. Pour l'alternance négative, les diodes D1 et D4 seront bloquées (polarisation inverse) et les diodes D2 et D3 seront en sens passant. on peut donc dire que la tension redressée est le résultat de la conduction simultanée de deux diodes.[5]

La valeur moyenne de la tension pourra être calculée comme suit :

$$U_{\text{moy}} = \frac{1}{T} \int_0^T V_m \sin(\omega t) . dt \text{ et le résultat nous donnera : } U_{\text{moy}} = 0.636 . V_m.$$

La valeur efficace de la tension pourra être calculée comme suit :

$$\text{et la résultat nous donnera : } V_{\text{eff}} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}, \quad V_{\text{eff}}^2 = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (V_m . \sin(\omega t))^2 . dt} \quad (\text{I.5})$$

$$\text{la valeur moyenne de tension: } U_{\text{moy}} = \frac{2\sqrt{2}V}{\pi} \quad (\text{I.6})$$

2 modes de fonctionnement :

==> D1 et D4 on et D2 et D3 off lorsqu'on a au secondaire une alternance positive

==> D1 et D4 off et D2 et D3 on lorsqu'on a au secondaire une alternance négative

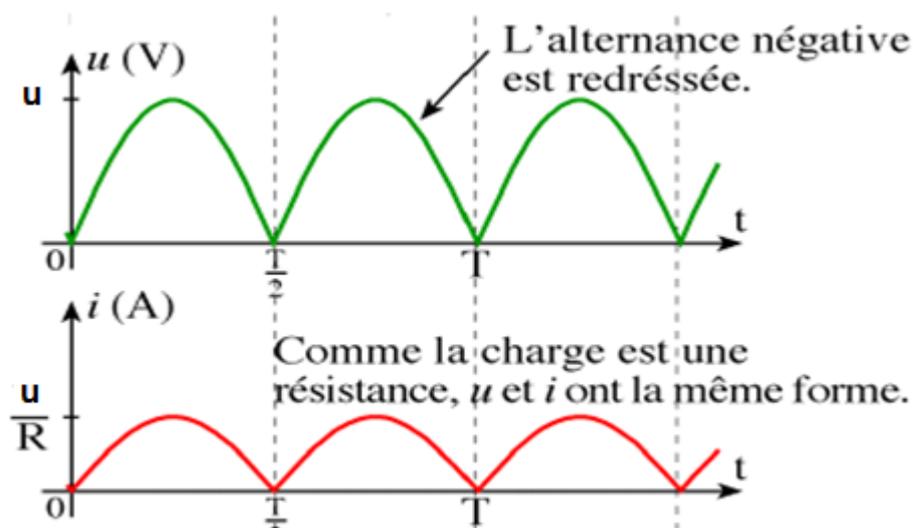


Figure I.12: signal aux bornes de la charge tension et le courant.

I.5.3. Redressement monophasé non commandé (PD2) charge inductive

Le circuit de principe est donné sur la figure (I.13).

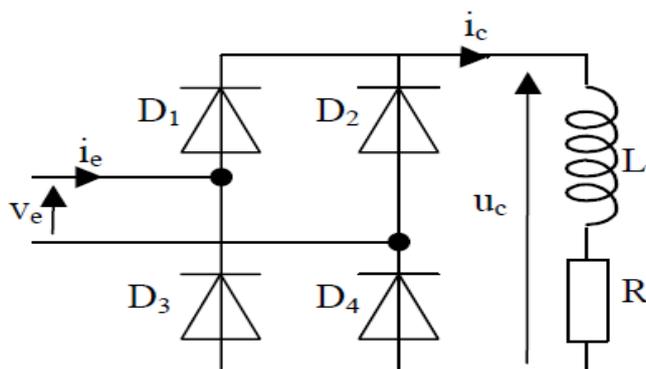


Figure I.13: redressement monophasé non commandé en pont charge inductive

✚ fonctionnement :

L'ondulation du courant est diminuée. Le courant ne passe plus par zéro. C'est le régime de conduction ininterrompue. Le lissage du courant par une inductance est utilisé pour de forts débits en électronique de puissance.

Loi des mailles : $u = u_L + u_c$

On passe aux valeurs moyennes : $u = u_L + u_c$

avec $u_L = 0$ toujours

Finalement : $U = u_c = Ri$ et donc $i = \frac{U_{moy}}{R} = \frac{2V}{\pi R}$ (I.7)

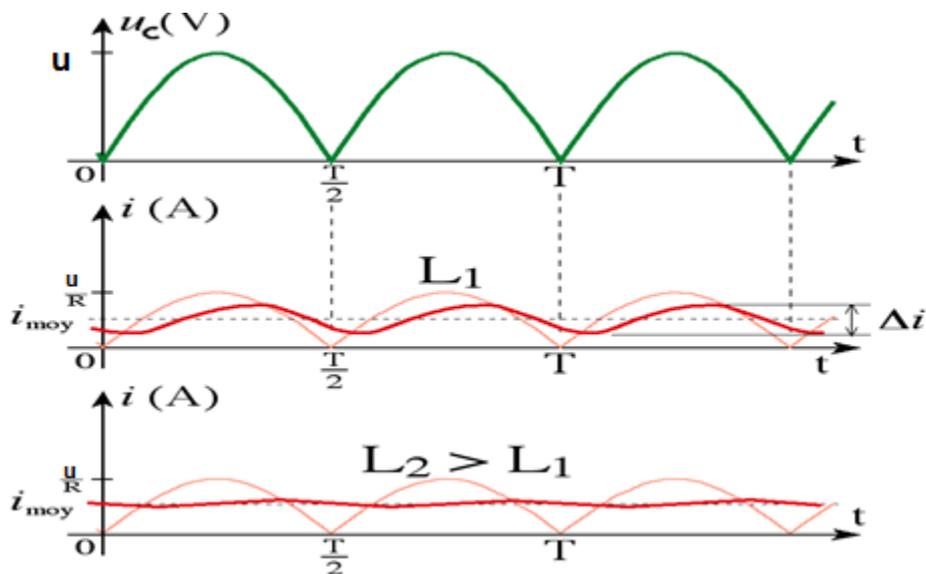


Figure I.14: signal aux borne de la charge tension et le courant

I.5.4. Redressement monophasé non commandé (PD2) charge RLE

Le pont monophasé à diodes ci-contre est alimenté par une tension alternative sinusoïdale $v_e(t) = V_{max} \cdot \sin(\omega.t)$. La tension u est imposée par le réseau, à travers le transformateur et le pont de Graëtz. Le courant i est lissé par la bobine d'inductance L . Son intensité est imposée par la charge R, E .

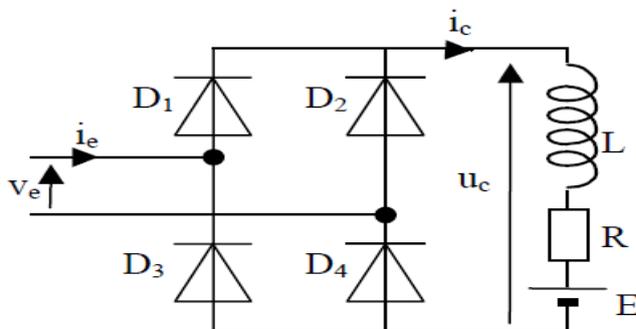


Figure I.15: redressement monophasé non commandé pont (PD2) charge RLE.

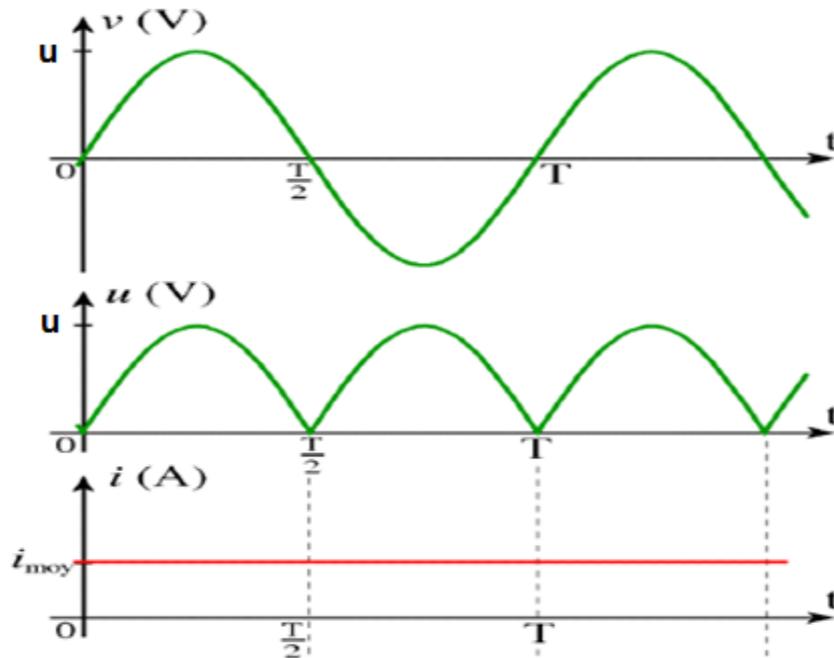


Figure I.16: signal de courant aux borne de la charge.

I.6. Redressement monophasé commandé

Un montage redresseur commandé permet d'obtenir une tension continue réglable à partir d'une tension alternative sinusoïdale. L'utilisation de composants tels que **les thyristors** permet de réaliser des redresseurs dont la tension moyenne de sortie peut varier en fonction de **l'angle de retard à l'amorçage**.

✚ Symbole synoptique

L'intérêt du redressement commandé est qu'il permette de faire varier la tension moyenne en sortie du pont et donc de faire varier par exemple la vitesse de rotation d'un moteur à courant continu.

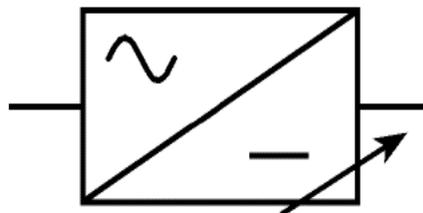


Figure I.17: Symbole de Redressement monophasé commandé.

I.6.1. Le redresseur monophasé simple alternance

Le circuit de principe est donné sur la figure(I.18).

✚ Principe de fonctionnement

Pendant l'alternance positive, on amorce le thyristor en injectant une impulsion sur sa gâchette à $\omega t = \alpha$, T1 conduit et l'entrée est repérée à la sortie. Quand la tension d'entrée change de polarité, le thyristor ne se bloque pas directement, l'inductance se décharge à travers celui-ci et le thyristor se bloque dès que le courant d'anode devient inférieur à son courant de maintien [6].

Les formes d'ondes sont donnée sur la figure I.19.

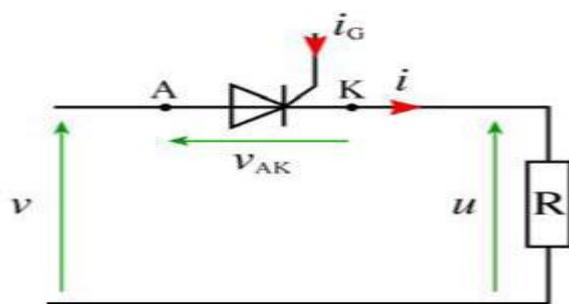


Figure I.18: redresseur monophasé commandé

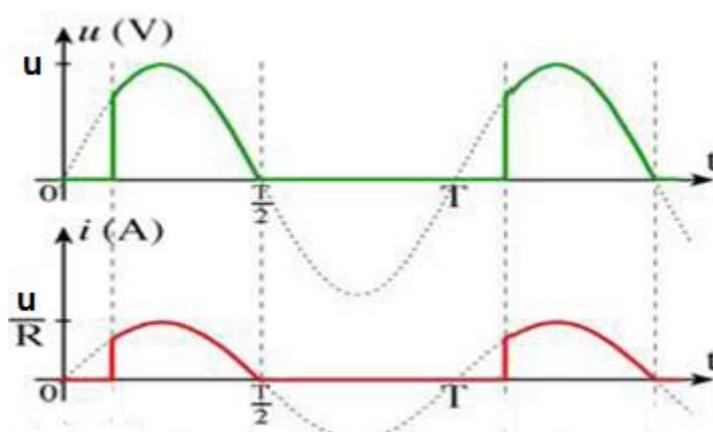


Figure I.19 : l'allure de tension et de courant

Valeur moyenne de la tension redressée

$$U_{\text{moy}} = \frac{1}{T} \int_1^T U(t) dt = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} U \sin \theta \cdot d\theta = \frac{U}{2\pi} [\cos \theta]_{\alpha}^{\pi}, \text{ donc } U_{\text{moy}} = \frac{U}{2\pi} (1 + \cos \alpha) \quad (\text{I.8})$$

$$\text{valeur moyenne de courant donné : } I_{\text{moy}} = \frac{U_{\text{moy}}}{R} \quad (\text{I.9})$$

I.6.2.Redressement monophasé commandé à point milieu avec charge résistive

Comme précédemment ,l'utilisation d'un redressement double alternance commandé a l'avantage de pouvoir réguler la tension moyenne et le courant moyen circulant dans la charge et donc par extension le courant et la tension efficace et donc la puissance fournit a la charge.

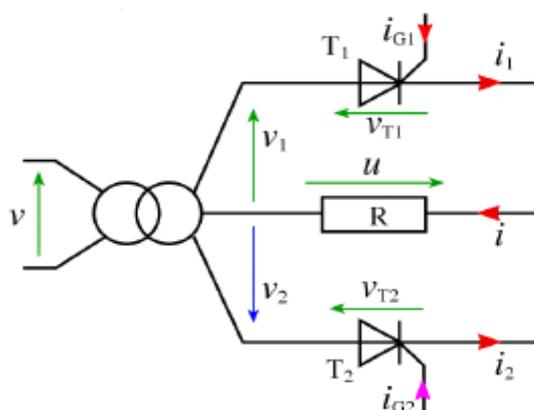


Figure I.20: Redressement monophasé commandé à point milieu charge résistive.

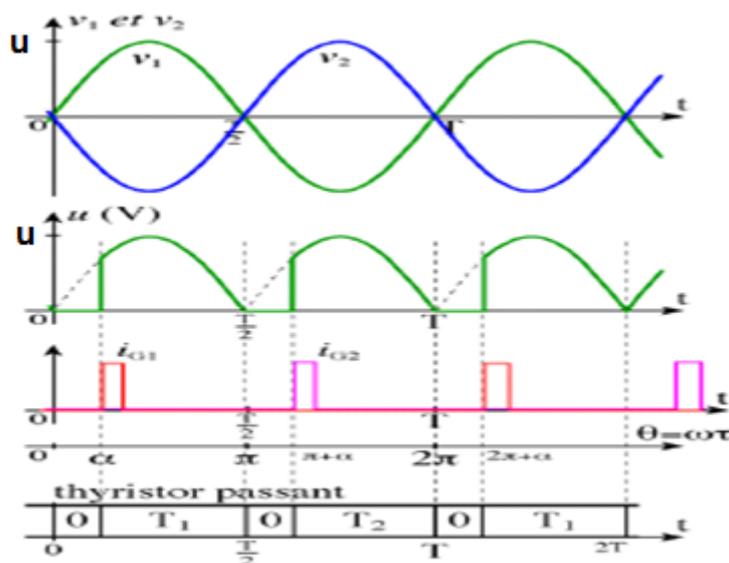


Figure I.21: Allures des tensions et le courant aux borne la charge.

Tension moyenne aux bornes de la charge :

$$U_{moy} = \int_0^t U_s(t). dt \quad , \quad U_{moy} = \frac{1}{t} \int_{\alpha}^{t/2} U_{max} \sin(\omega t). dt \quad \text{donc on trouve que valeur}$$

$$\text{moyenne de tension : } U_{moy} = \frac{U_{max}}{\pi} (1 + \cos \alpha) \tag{I.10}$$

Courant moyenne traversant la charge :

$$I = \frac{1}{t} \int_0^t i(t) \cdot dt \quad , \quad I = \frac{2}{t} \int_{\alpha t}^{t/2} \frac{U_{max}}{R} \sin(\omega t) \cdot dt. \text{ on trouve valeur moyenne de courant :}$$

$$I_{moy} = \frac{U_{max}}{\pi R} (1 + \cos \alpha) \quad (I.11)$$

I.6.3. Redressement monophasé commandé à point milieu charge inductive

Avec ce montage on obtient le même résultat trouvé avec l'utilisation d'un pont tout thyristor, mais la tension redressée représente la moitié de l'enroulement secondaire.

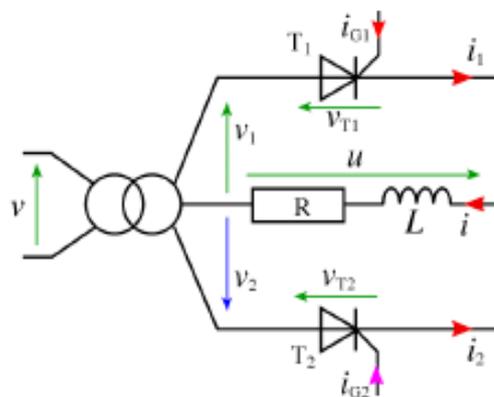


Figure I.22: Redressement monophasé commandé à point milieu charge inductive.

✚ Fonctionnement:

Le courant qui traverse le thyristor ne s'annule pas, ce dernier reste passant même lorsque v_1 devient négatif. Le thyristor se bloque à l'amorçage du second thyristor. Si l'inductance est assez grande, l'ondulation Δi devient négligeable et le courant est alors considéré constant.

Valeur tension moyenne aux bornes de la charge

$$U_{moy} = \frac{1}{T} \int_{\alpha}^{\alpha+T} U_s(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^{\pi} U_s \sin(\theta) \cdot d\theta = \frac{V}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} \sin \theta \cdot d\theta = \frac{U}{\pi} [-\cos \theta]_{\alpha}^{\pi+\alpha} \quad (I.12)$$

$$U_{moy} = \frac{2U}{\pi} \cos \alpha \quad (1.13)$$

I.6.4. Redressement monophasé commandé (PD2) charge résistive

Le circuit de principe est donné sur la figure (I.23).

✚ Principe de fonctionnement

Pendant l'alternance positive, les thyristor T1 et T2 sont amorçés à $\omega t = \alpha$, ainsi la charge est connectée à l'entrée, ces derniers continuent à conduire jusqu'à $\omega t = \alpha + \pi$, et ils se bloquent par l'amorçage de T3 et T4. Le courant de charge est transféré de T1 et T2 vers T3 et T4, d'où la continuité du courant [6].

Les formes d'ondes sont représentées sur la figure (I.24).

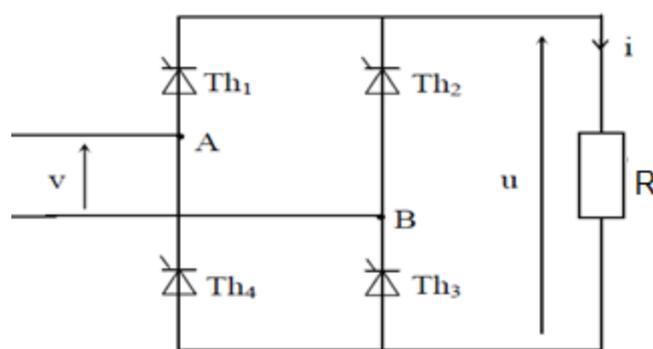


Figure I.23: Redresseurs monophasée double alternance.

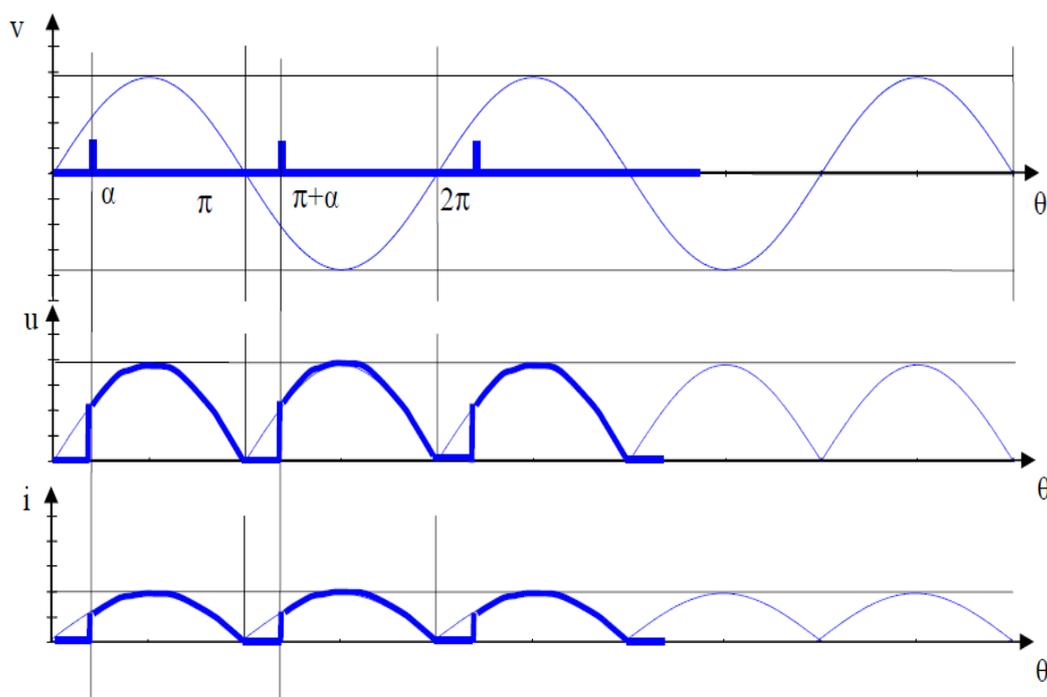


Figure I.24: Allures des tensions et le courant aux borne la charge.

I.6.5. Redressement monophasé commandé (PD2) charge RLE

tous les éléments sont parfaits, l'inductance L est suffisante pour que le courant dans la charge soit parfaitement lissé

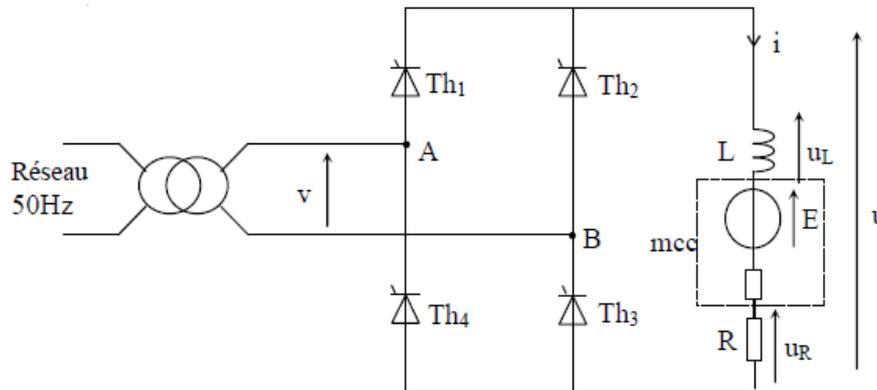


Figure I.25: Redresseurs monophasée double alternance charge RLE.

✚ fonctionnement:

Pour illustrer nos propos, nous supposons que le montage est de type PD2, mais ce qui va être dit est évidemment valable quel que soit le montage tout thyristors. La condition primordiale pour que le fonctionnement en onduleur soit possible est que le dipôle placé entre les bornes de sortie puisse se comporter comme un générateur avec le sens du courant imposé par les thyristors. Ce dipôle doit donc être actif (un débit sur un simple circuit RL ne pourrait pas donner lieu au fonctionnement en onduleur). Dans la pratique, il comporte une f.é.m. branchée comme indiqué sur la figure (I.25), où L matérialise l'inductance du circuit de charge (ou l'inductance de lissage additionnelle). On peut noter que l'hypothèse du courant strictement constant utilisé pour l'étude n'est pas indispensable, il n'est même pas obligatoire que ce courant soit ininterrompu (c'est, cependant, en général le cas lors du fonctionnement en onduleur).[7]

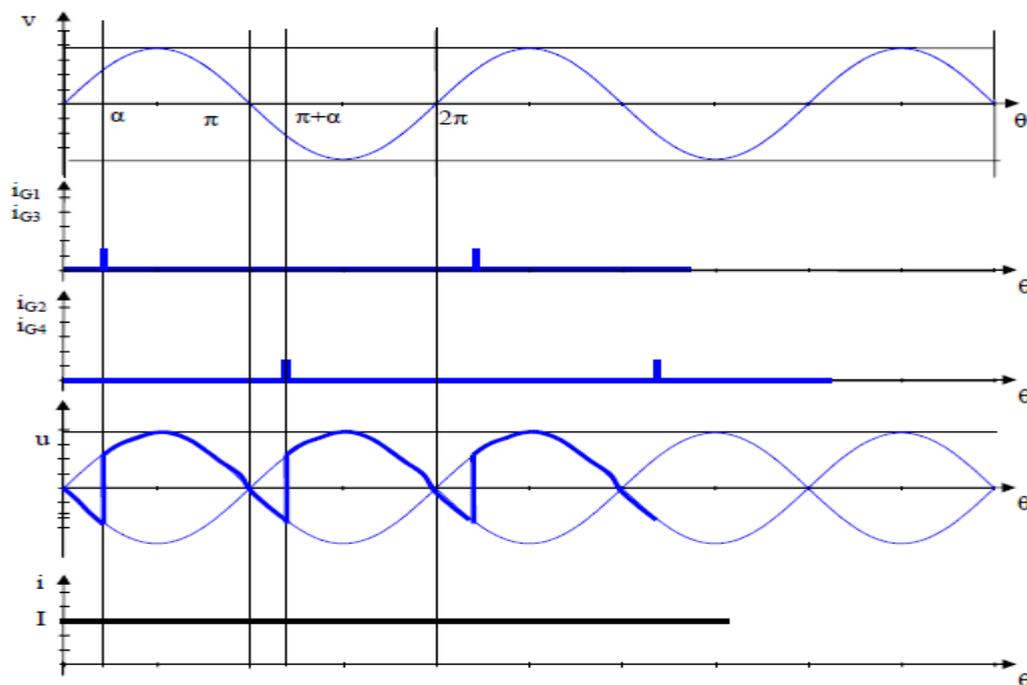


Figure I.26: Allures des tensions et le courant aux borne la charge

I.7.Redressement triphasé non commandé

I.7.1.Redressement triphasé simple

Les enroulements secondaires du transformateur sont couplés en étoile et le redresseur composé de trois diodes montés en cathode commune (nommé commutateur plus positif). La charge est placée entre la cathode et le neutre. Les tensions d'enroulements secondaire de valeur efficace forment un système triphasé direct. Les trois diodes étant à cathode commune choisissent à tout moment la plus positive des trois tensions: une seule diode conduit à la fois.

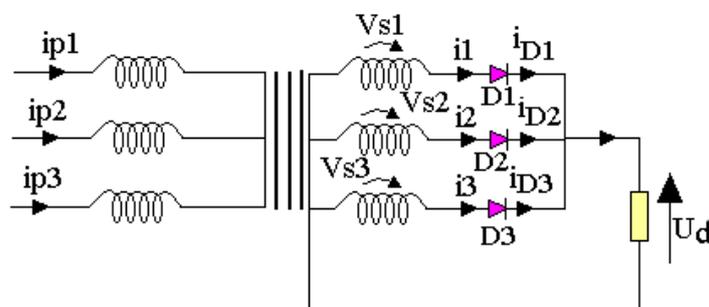


Figure I.27: Redressement triphasé simple alternance.

✚ Fonctionnement:

Les instants de commutation naturelle pour le redresseur à cathodes communes soumis au système de tensions triphasé décrit ci-dessus sont les croisements des tensions simples dans le domaine des tensions positives.

La diode conductrice entre 2 instants de commutation naturelle est celle qui voit son potentiel d'anode le plus élevé.

Lorsqu'une diode est passante, la tension de sortie vaut alors la tension d'anode de la diode considérée. L'allure de la tension de sortie ainsi que la séquence de conduction déduite des instants de commutation naturelle sont décrits sur la figure(I.28),[8]

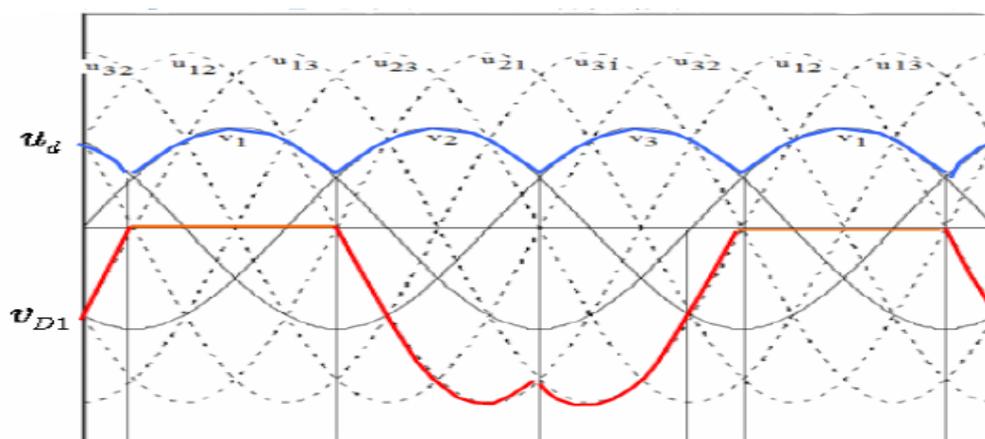


Figure I.28: Allures des tensions aux borne la charge et diode D1.

I.7.2.Redressement triphasé (PD3)

On appelle (PD₃) est appelé pont de Graëtz triphasé figure (I.29) représenté schéma d'un redresseur.

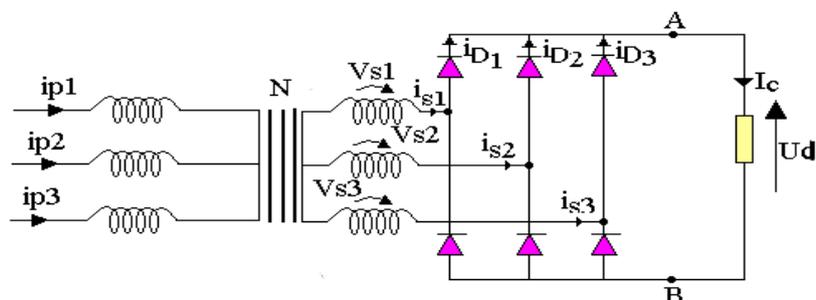


Figure I.29: Redressement triphasé double alternance.

✚ Fonctionnement:

Les diodes D_i à cathode commune choisissent parmi les tensions à redresseur, celle qui est la plus positive. Ce qui donne V_A-V_N tandis qu'au même moment les diodes D_j à anode commune choisissent, parmi ces tensions celle qui est la plus négative, ce qui donne V_A-V_N . La tension redressée sera alors $U_C=V_A-V_B= (V_A-V_N)-(V_B-V_N)$. Elle est périodique et formée de 6 calottes de sinusoïde par période T . Donc sa période est $T/6$ et dans chaque période T , deux diodes conduisent à la fois. $P=6$; $Q=3$.

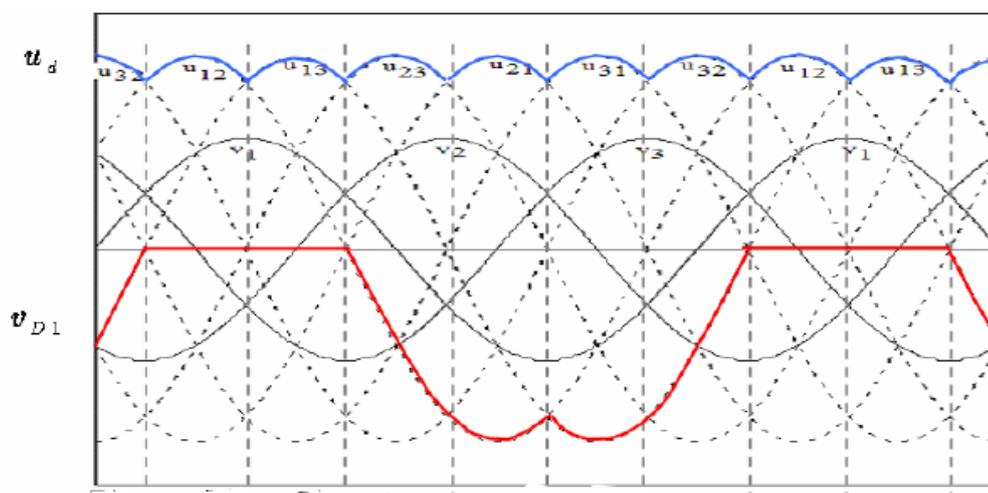


Figure I.30: Allures des tensions aux bornes de la charge et diode D1.

I.8. Les redresseurs triphasés commandés

I.8.1. Le redresseur triphasé simple alternance

Le circuit de principe est donné sur la figure (I.31).

✚ Principe de fonctionnement

Les thyristors sont amorçés avec un retard d' angle α , les impulsions sont donc envoyées sur les gâchettes des thyristors respectivement aux angles suivants [9] :

– pour T_1 : $\omega t = (\pi/6 + \alpha) + 2k\pi$

– pour T_2 : $\omega t = (5\pi/6 + \alpha) + 2k\pi$

– pour T_3 : $\omega t = (3\pi/2 + \alpha) + 2k\pi$

Les formes d'ondes sont représentées sur la figure (I.32).

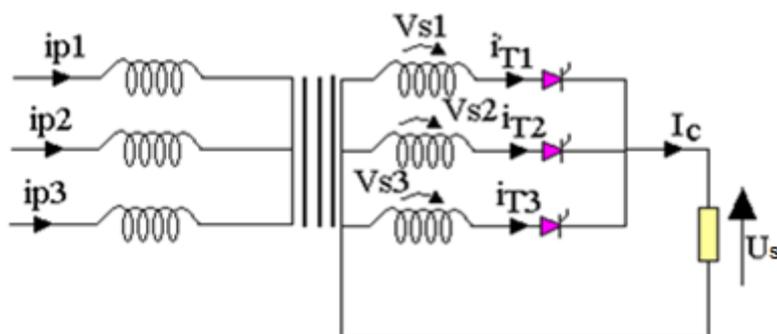


Figure I.31: Redresseurs triphasés commandé simple alternance.

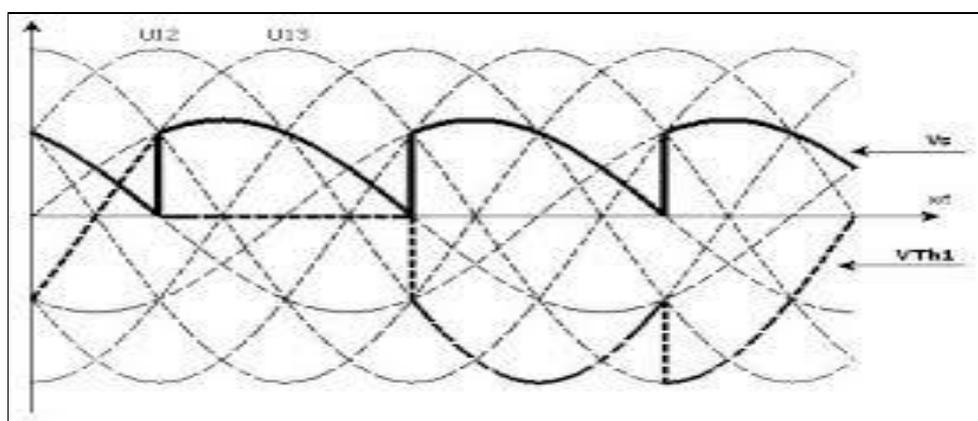


Figure I.32: Allures des tensions aux borne la charge et thyristor.

I.9. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté les différents types et classification des principaux convertisseurs de puissance, puis une brève description des composants de puissance les plus employés est présentée de redresseurs utilisés dans le domaine de l'électrotechnique ; on a commencé par leurs définitions, principe de fonctionnement, classification.

- Les redresseurs triphasés sont les plus utilisés dans le domaine industriel à cause de leur excellent rendement et possèdent un meilleur facteur de puissance
- Les redresseurs à thyristors, ou redresseurs contrôlés, permettent, pour une tension alternative d'entrée fixée, de faire varier la tension continue de sortie. Ils sont de plus réversibles , lorsqu'ils assurent le transfert de puissance du côté continu vers le côté alternatif, on dit qu'ils fonctionnent en onduleurs non autonome. On expliqué set redresseur on deuxième chapitre .

II.1.Introduction

Les redresseurs sont des convertisseurs statiques permettant, à partir de tensions alternatives, d'obtenir des grandeurs électriques dont la valeur moyenne est différente de zéro. L'intérêt des dispositifs statiques modernes réside dans le fait qu'ils effectuent toutes les transformations par fermeture et ouverture d'interrupteurs électroniques (appelées soupapes dans le cas général) présentant des temps de réponse faibles, des pertes faibles et un encombrement réduit [9].

Les redresseurs assurent la transmission de puissance du générateur vers le récepteur. Certains Montages (montages tout thyristors) peuvent également récupérer l'énergie depuis la charge vers le réseau d'alimentation, ils fonctionneront alors en onduleur assisté.

II.1.1. Définition

Les redresseurs, sont les convertisseurs de l'électronique de puissance qui assurent directement la conversion alternatif-continu. Alimentés par une source de tension alternative monophasée ou polyphasée, ils permettent d'alimenter en courant continu le récepteur branché à leur sortie.

Le redresseur triphasé à thyristors ou pont de Graëtz triphasé constitue l'un des montages de l'électronique de puissance les plus répandus dans le secteur industrie. Il permet de réguler la puissance délivrée à une charge en modifiant la tension continue appliquée à ses bornes à l'aide des thyristors.

Ceci se fait en jouant sur l'angle de commande des gâchettes, est défini par l'écart entre l'amorçage commande et l'amorçage naturel des thyristors ses utilisateurs sont nombreux [7]

Paramètre Système triphasé

On note les tensions secondaires par :

$$V_1 = V_{\max} \sin(\omega t) \quad (\text{II.1})$$

$$V_2 = V_{\max} \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) \quad (\text{II.2})$$

$$V_3 = V_{\max} \sin\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right) \quad (\text{II.3})$$

II.2. Etude du montage mixtes PD3

II.2.1 Allure des tensions et des courants

L'étude des intervalles de conduction montre qu'il faut distinguer deux cas, suivant que α est inférieur ou supérieur à $\pi/3$. Nous avons donc représenté sur les figures (II.1) et figure (II.2) les allures correspondant à $\alpha = \pi/6$ et à $\alpha = 2\pi/3$.

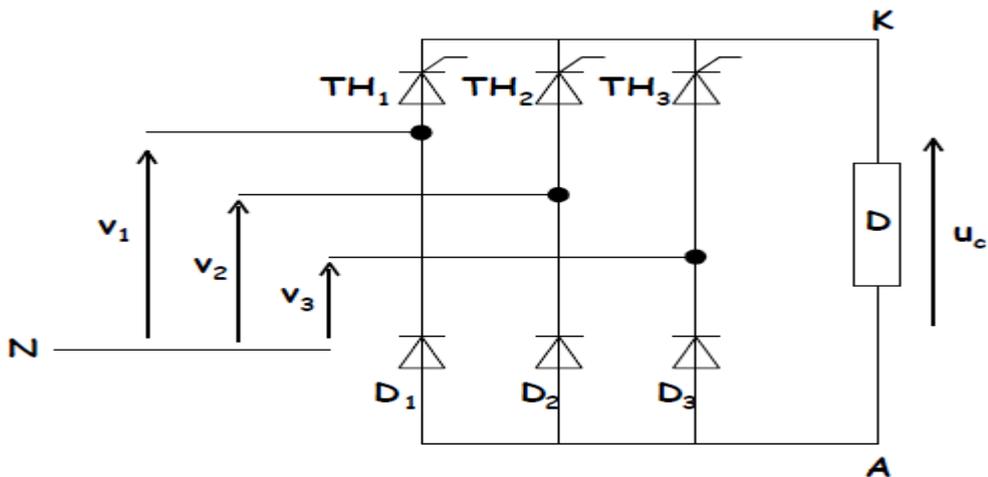


Figure II.1: montage de redresseur mixtes PD3.

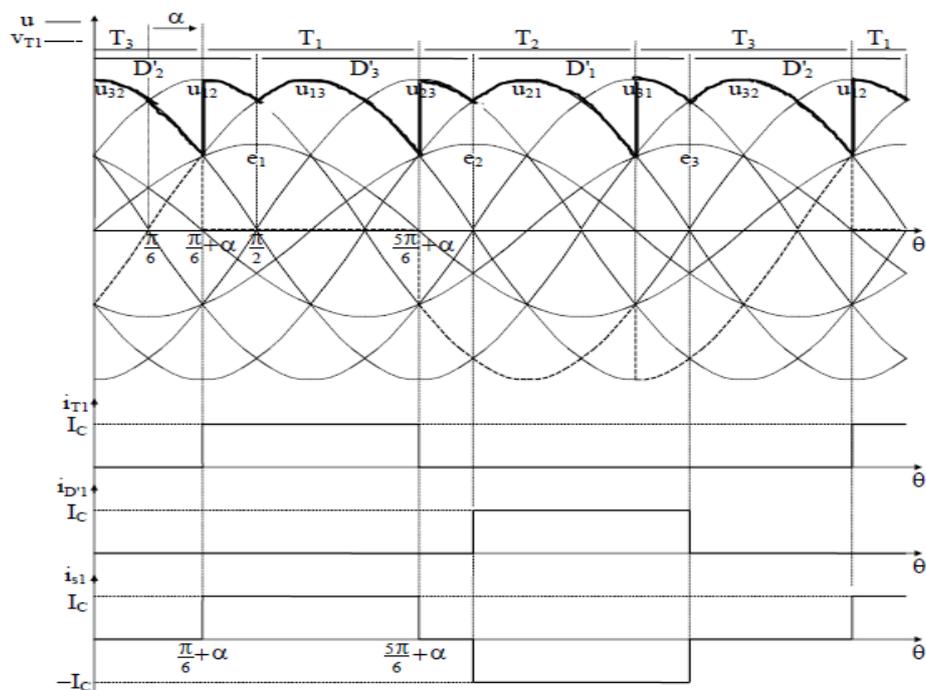


Figure II.2 : allure de tension redressée pour $\alpha = \pi/6$.

En comparant cette figure avec la suivante, on voit que le phénomène de roue libre n'apparaît que pour α supérieur à $\pi/3$. D'autre part, comme pour le montage PD2, le problème du défaut de blocage peut se poser aux valeurs élevées de α . Ici, seule la solution de la diode de roue libre est possible. Là encore, la présence de cette diode ne modifie pas les allures de u et de i_{s1} .

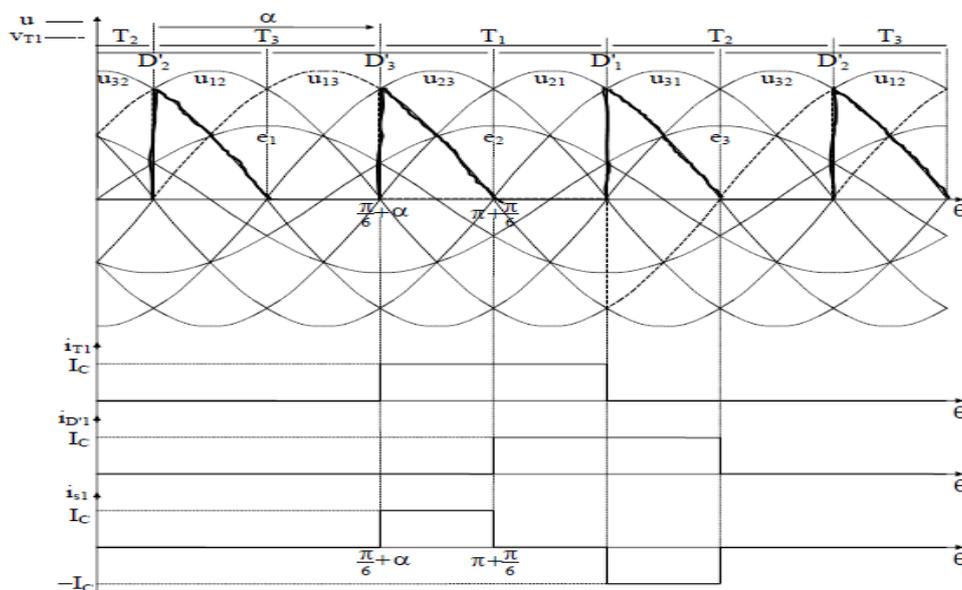


Figure II.3: allure de tension redressée pour $\alpha = 2\pi/3$.

II.2.2 Calcul des grandeurs caractéristiques

II.2.2.1 Valeur moyenne de u

Quel que soit α , la période de u est égale à $2\pi/3$. Vu ce qui précède, il semble a priori qu'il faille considérer deux cas. En réalité, il n'en est rien car, si on raisonne en termes d'association de deux montages parallèle, on constate que $\pi/3$ n'est une valeur critique pour aucun des deux montages (pour le redresseur à diodes, c'est évident, pour celui à thyristors, on peut se référer à l'étude faite ultérieurement pour le montage P3). Il suffit donc de faire le calcul dans le cas le plus simple, soit $\alpha \geq \pi/3$, pour lequel on a $u = u_{13}$ sur l'intervalle $[\pi/6 + \alpha; \pi + \pi/6]$ et $u = 0$ ensuite. Compte tenu de ceci, on a

$$U_c = \frac{1}{2\pi} \int_{\pi/6 + \alpha}^{\pi + \pi/6} E\sqrt{6} \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) d\theta = \frac{3\sqrt{6}E}{2\pi} \left[\sin\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) \right]_{\pi/6 + \alpha}^{\pi + \pi/6} \quad (II.4)$$

$$\text{Soit } U_c = \frac{3\sqrt{6}}{2\pi} \left[\sin\frac{\pi}{2} - \sin\left(\alpha - \frac{\pi}{2}\right) \right] = \frac{3\sqrt{6}E}{2\pi} (1 + \cos\alpha) \quad (II.5)$$

d'où, en faisant apparaître $U_c = \frac{3\sqrt{6} E}{\pi}$, $U'c = U_c \frac{1+\cos\theta}{2}$ (II.6)

On retrouve la même expression que pour le montage PD2. Ceci est d'ailleurs une règle générale. Pour tous les montages mixtes fonctionnant en courant ininterrompu, la valeur ,

moyenne de la tension de sortie peut se mettre sous la forme , $U'c = U_c \frac{1+\cos\theta}{2}$

II.2.2. Valeurs moyennes et efficaces des courants

a) Courant dans une diode et dans un thyristor

On a immédiatement $I_{DC} = I_{TC} = \frac{I_c}{3}$, $I_D = I_T = \frac{I_c}{\sqrt{3}}$ (II.7)

b) Courant dans le transformateur:

Il suffit, bien sûr, de déterminer sa valeur efficace. Ici, il faut considérer les deux cas possibles pour α car le raisonnement précédent, qui faisait intervenir le principe de superposition, n'est pas valable dans le cas d'une élévation au carré. Par contre, vu la symétrie des alternances, il suffit toujours d'intégrer sur une demi-période.

Pour $\alpha \leq \frac{\pi}{3}$; on détermine $I_s = \sqrt{\frac{2}{3}} I_c$ (II.8)

Pour $\alpha \geq \frac{\pi}{3}$; on détermine $I_s = \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi}} I_c$ (II.9)

II.3. Etude du montage tout thyristor PD3

II.3.1. Le redressement triphasé commandé

on obtient en principe la tension sortante d'un redresseur en pont triphasé commandé de la même façon qu'avec un redresseur en pont triphasé non commandé

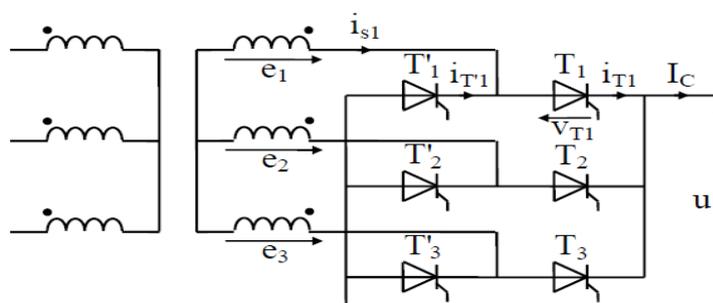


Figure II.4:redresseur triphasé commandé tout thyristor .

II.3.2. Allure des tensions et des courants

De même, on déduit les intervalles de conduction des thyristors des tracés de $e_1 = E \sqrt{2} \sin \theta$, $e_2 = E \sqrt{2} \sin(\theta - 2\pi/3)$ et $e_3 = E \sqrt{2} \sin(\theta - 4\pi/3)$. Les allures des courants et des tensions s'obtiennent ensuite par les raisonnements habituels (Cf. figure(II.5).

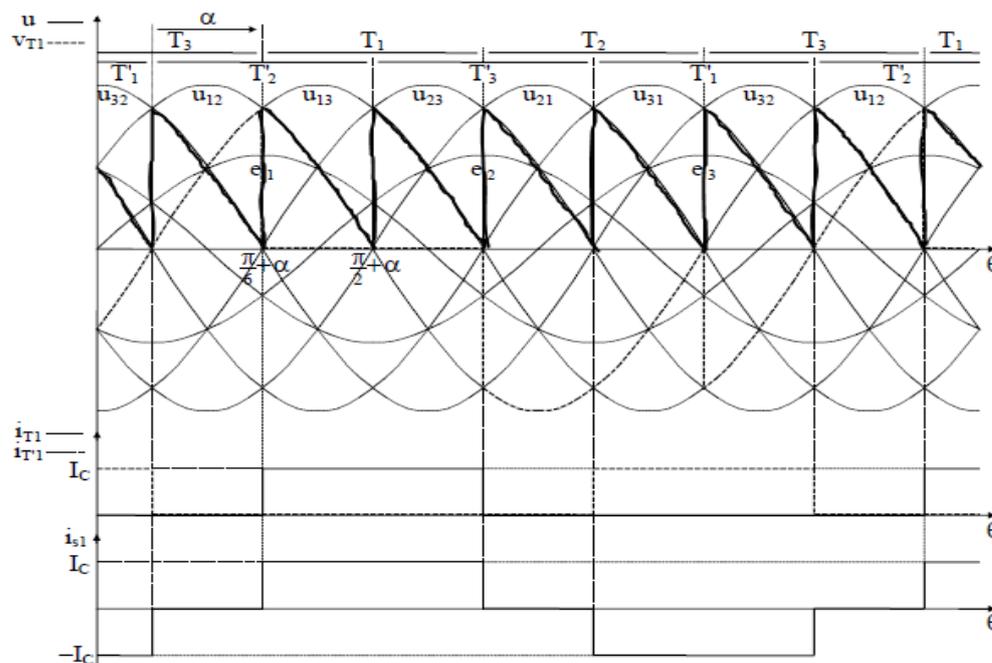


Figure II.5: Allure des tensions et des courants .

II.3.3. Calcul des grandeurs caractéristiques

II.3.3.1. Valeur moyenne de la tension redressée

De même

$$U'_c = \frac{1}{\pi} \int_{\frac{\pi}{6} + \alpha}^{\frac{\pi}{6} + \alpha} E \sqrt{6} \cos \theta d\theta = \frac{3E\sqrt{6}}{\pi} [\sin \theta]_{\frac{\pi}{6} + \alpha}^{\frac{\pi}{6} + \alpha} = \frac{3E\sqrt{6}}{\pi} \left[\sin \left(\frac{\pi}{6} + \alpha \right) - \sin \left(-\frac{\pi}{6} + \alpha \right) \right] \quad (II.10)$$

Ce qui donne, après regroupement des termes en sinus,

$$U'_c = \frac{3\sqrt{6}E}{\pi} \cdot \cos \alpha = U_c \cdot \cos \alpha \quad (II.11)$$

Rappelons que le retard à l'amorçage α est compris dans l'intervalle $[0, \pi [$.

Deux cas sont à considérer:

- $\alpha \leq \pi/2$, la valeur moyenne de la tension redressée est positive (figure.II.5), il en est donc de même pour la puissance active fournie par le réseau au récepteur ($P = U_{cmoy} I_c$); le transfert de puissance se fait du coté alternatif vers le coté continu, le système fonctionne en redresseur.

- $\alpha > \pi/2$, la valeur moyenne de la tension redressée est négative ainsi donc que la puissance active; le transfert de puissance se fait du coté continu vers le coté alternatif, le système fonctionne en onduleur ou redresseur inversé. Le réseau continu néanmoins à imposer la fréquence et à fournir de la puissance réactive, d'où la précision parfois ajoutée dans la dénomination d'onduleur non-autonome.[10]

II.3.3.2.Valeurs moyennes et efficaces des courants:

Les expressions sont les mêmes qu'en redressement non commandé.

a) Courant dans un thyristor: $I_{thc} = \frac{I_c}{3} \quad I_{th\ eff} = \frac{I_c}{\sqrt{3}}$ (II.12)

b) Courant dans le transformateur: $I_s = \sqrt{\frac{2}{3}} I_c$ (II.13)

II.3.3.3. Facteur de puissance

de $f' = \frac{|U'_c I_c|}{3E I_c}$, avec $U'_c = \frac{3\sqrt{6}E}{\pi} \cos \alpha$ et $I_s = \sqrt{\frac{2}{3}} I_c$, (II.14)

on tire $f' = \frac{|\frac{3\sqrt{6}E}{\pi} \cos \alpha I_c|}{3E \sqrt{\frac{2}{3}} I_c}$, soit $f' = \frac{3}{\pi} |\cos \alpha| = f |\cos \alpha|$ (II.5)

❖ Remarque:

Le fait d'obtenir systématiquement $f' = f \cdot \cos \alpha$ provient, en particulier, de ce que les courants gardent la même forme qu'en redressement non commandé. La puissance apparente S reste donc la même et dans l'expression de f' , on peut faire apparaître le terme constant $U_c \cdot I_c / S$, qui est par définition le facteur de puissance du montage à diodes correspondant.

II.4. Allure de V_s pour une charge inductive et active

Dans ce cas, le courant I_s n'est jamais interrompu et se trouve commuté par une paire de thyristors.

- Allure pour $\alpha = 45^\circ$:

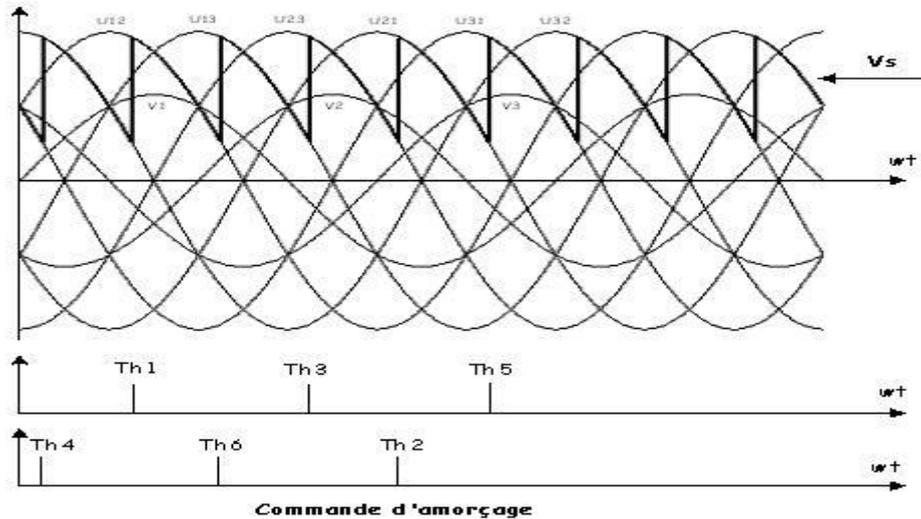


Figure II.6: la tension redressée.

- Allure pour $\alpha = 120^\circ$:

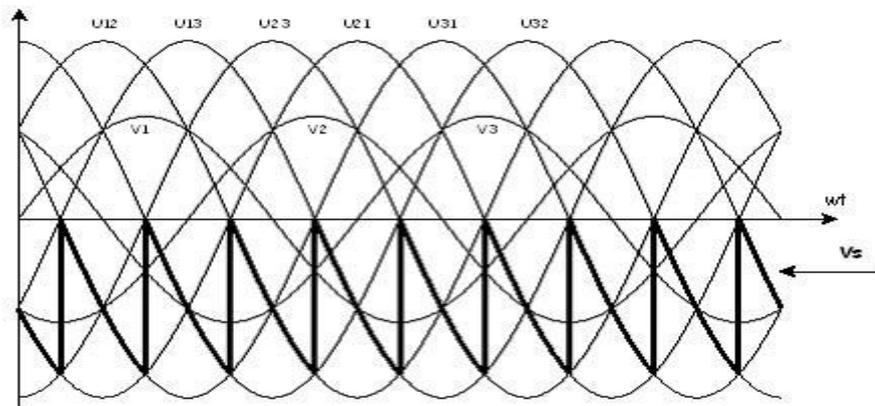


Figure II.7: la tension redressée.

II.5. Allure de V_s pour une charge résistive

La différence est que la tension ne peut plus devenir négative (blocage spontané de la paire de thyristors). Pour reprendre la conduction, un des deux thyristors de la nouvelle paire devra être réamorçé en lui envoyant une « **pulse de**

confirmation ». Par exemple, si Th1 et Th4 étaient en conduction, et que si U12 devient négative, ces deux thyristors seront bloqués. Le thyristor à commander pour la séquence suivante est Th6 et $V_s = V_1 - V_3 = U_{13}$. Mais le thyristor Th1 étant déjà bloqué doit être réamorcé également par cette « pulse de confirmation ».[11]

- Allure pour $\alpha = 60^\circ$:

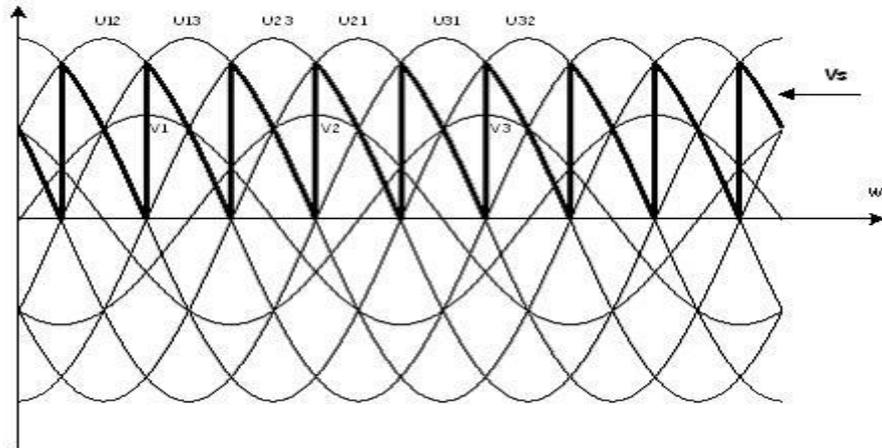


Figure II.8: la tension redressée.

- Allure pour $\alpha = 90^\circ$:

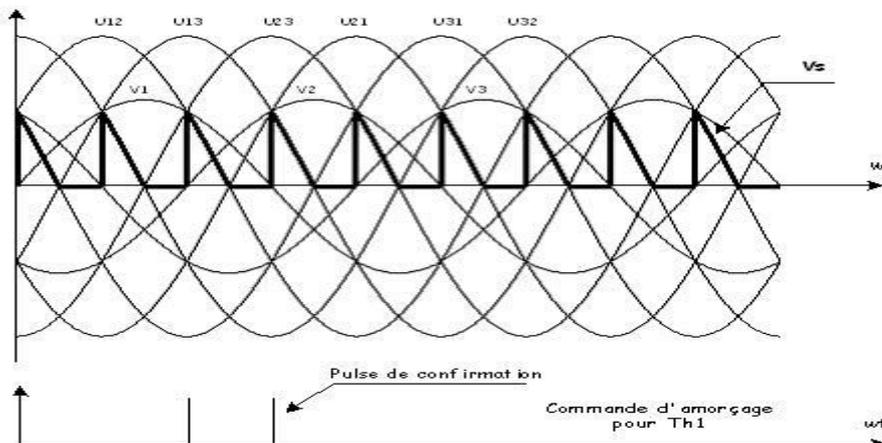


Figure II.9: la tension redressée.

II.6. Valeur moyenne disponible

On démontre que la valeur moyenne récupérée pour une conduction continues' écrit : $V_{s\text{ moy}} = (3\sqrt{3}/\pi) V_{\text{max}} \cos\alpha$. Cette valeur est comprise entre

$$-(3\sqrt{3}/\pi)V_{\max} \text{ et } +(3\sqrt{3}/\pi)V_{\max}.$$

II.7. Courants dans les thyristors et facteur de puissance

a) Cas d'une charge inductive

Sous l'hypothèse que le courant de sortie est constant et non interrompu, chaque thyristor en conduction sera parcouru par le courant I_s . Ainsi on aura les formes d'onde suivantes pour I_{Th1} et I_{Th2} ($\alpha=30^\circ$) :

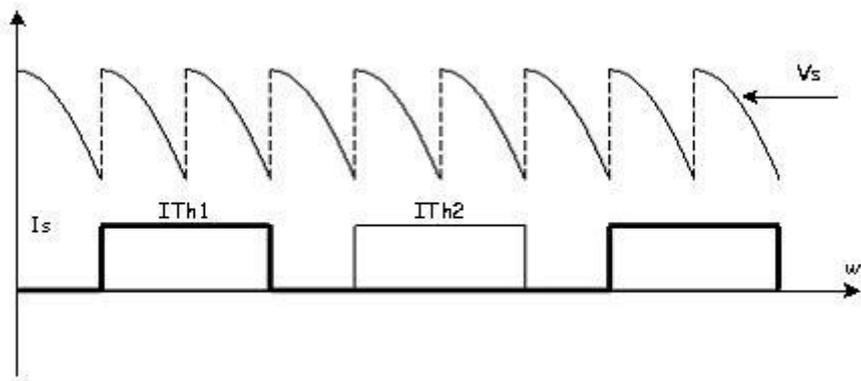


Figure II.10: l'allure de tension redressée et courant de thyristor.

Chaque thyristor devra supporter les valeurs de courant suivantes $I_{thmax}=I_s$; $I_{thmoy}= I_s/3$ et $I_{theff} = I_s/\sqrt{3}$. (II.16)

Le courant débité par la phase 1 s'écrit $I_1=I_{th1}-I_{th2}$ et possède la forme d'onde suivante :

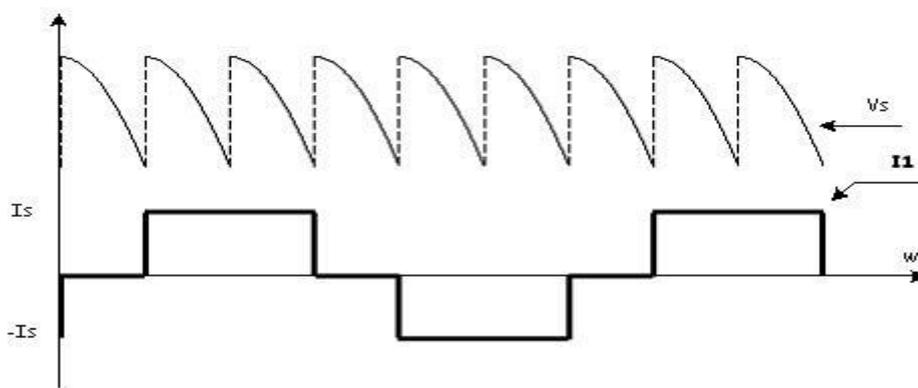


Figure II.11: l'allure de tension et le courant de phase 1

Ce courant possède une valeur moyenne nulle et une valeur efficace $I=I_s.\sqrt{(2/3)}$. Le facteur de puissance vaut alors

$$F_p= (V_{\max}.I_s.\cos\alpha.(3\sqrt{3}/\pi)) / (3V_{\max}/\sqrt{2}).I_s.\sqrt{(2/3)}= \cos\alpha.3/\pi. \tag{II.17}$$

$$F_p = 0.95 \cdot \cos\alpha \tag{II.18}$$

On distingue bien que le facteur de puissance se dégrade lorsque l'angle de retard α augmente.

b) Cas d'une charge résistive

Dans ce cas les courants dans les thyristors ont la même forme d'onde que la tension de sortie lorsqu'ils sont en conduction. Pour ce tracé $\alpha = 90^\circ$.



Figure II.12: l'allure de courant de thyristor

Le courant débité par la phase 1 aura alors la forme d'one suivante :

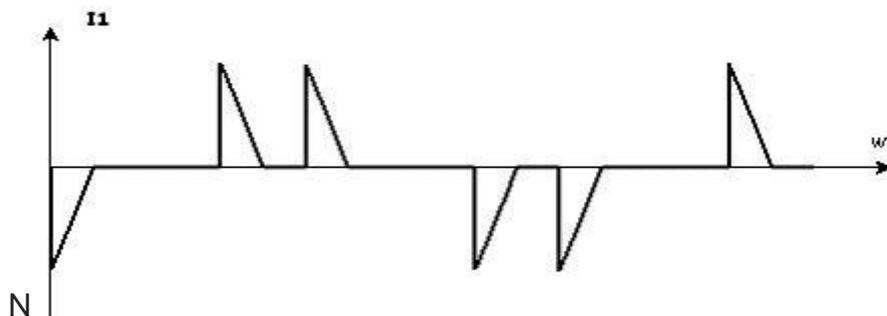


Figure II.13: l'allure de courant de phase 1

II.8. Tension appliquée aux thyristors

Si l'on s'intéresse au thyristor Th1, la tension à ses bornes est donnée par $V_{Th1} = V_1 - pp$, ou pp est la tension la plus positive des composantes V_1, V_2 et V_3 . Le tracé ci-dessous correspond à un angle de retard à l'amorçage $\alpha = 90^\circ$. On voit bien que chaque thyristor devra supporter en direct et en inverse une tension de valeur $\sqrt{3} \cdot V_{max}$.

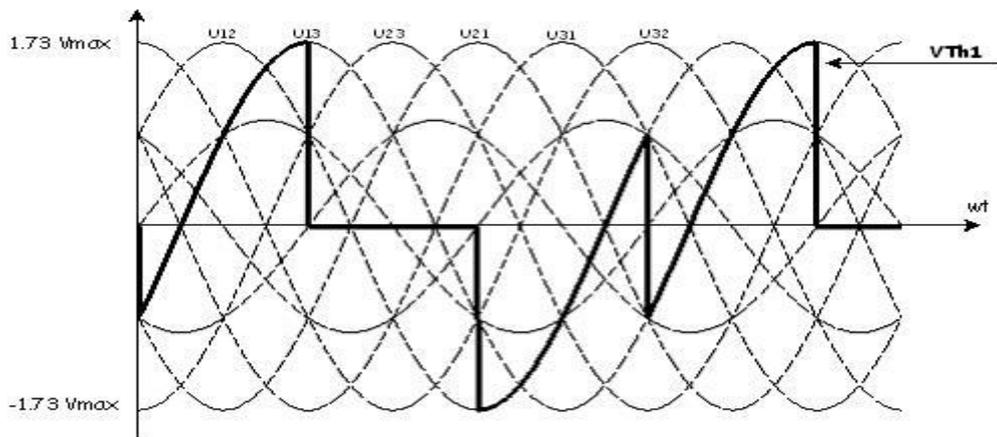


Figure II.14: l'allure de tension appliquée aux thyristors V_{th1} .

II.9.Fonctionnement en redresseur et en onduleur

Nous avons déjà signalé que, pour α supérieur à $\pi/2$, U_c pouvait devenir négatif. Avant d'envisager ce cas, revenons quelques instants sur le fonctionnement pour α inférieur à $\pi/2$. Tant que la condition $\alpha < \pi/2$ reste vérifiée, la puissance $U_c \cdot I_c$ fournie par le montage redresseur est positive. Celui-ci fonctionne donc en générateur. En fait le redresseur ne sert que d'intermédiaire, c'est en réalité le réseau d'alimentation qui fournit la puissance absorbée par la charge. On peut résumer ce fonctionnement par le schéma de la figure (II.15), sur lequel figurent la polarité réelle de la "tension continue" U_c et le sens du transfert de puissance.[10]

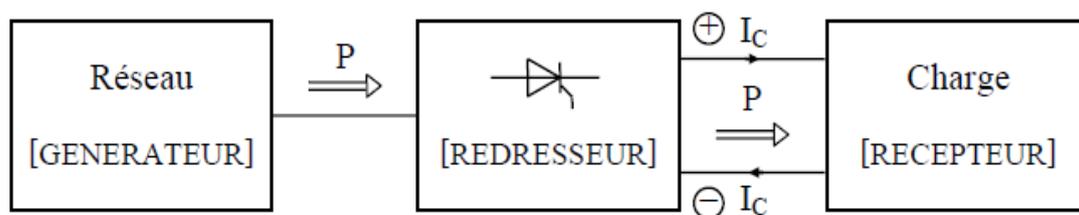


Figure II.15: $\alpha < \pi/2$ marche en redresseur .

Pour α supérieur à $\pi/2$, U_c devient négatif. Les thyristors imposant le sens du courant, I_c reste positif ce qui entraîne que la puissance $U_c \cdot I_c$ est négative et que le montage redresseur fonctionne en récepteur. Mais, là encore, il ne sert que d'intermédiaire et transfère sur le réseau

la puissance reçue. Cette puissance ne pouvant provenir que du circuit de charge, celui-ci devra pouvoir fonctionner en générateur, donc répondre à certaines conditions

sur lesquelles nous reviendrons. Ces conditions étant supposées vérifiées, on peut résumer ce fonctionnement par le schéma de la figure (II.16).

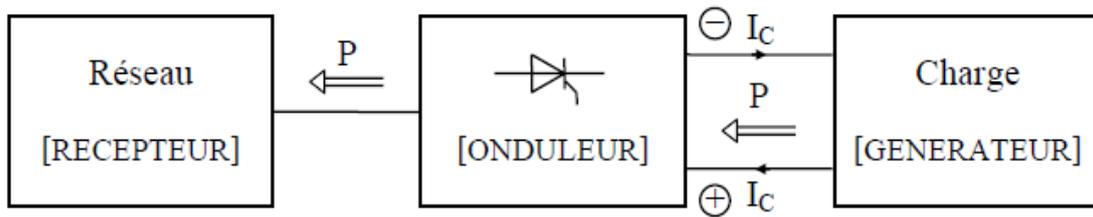


Figure II.16: $\alpha > \pi/2$ marche en onduleur non autonome .

❖ Remarques sur le fonctionnement en onduleur:

- Le réseau n'étant pas uniquement connecté au montage redresseur, la puissance restituée vient en déduction de celle qu'il doit fournir aux autres charges (la puissance globale fournie étant toujours très supérieure à celle récupérée). Toutes proportions gardées, ce fonctionnement est donc équivalent à la mise en service d'un alternateur supplémentaire.
- En fournissant une puissance "continue" à une charge alternative, le montage se comporte bien en onduleur, mais contrairement à certains montages que nous verrons plus loin, il n'élabore pas les signaux alternatifs. La conversion ne peut donc se faire qu'en présence d'un réseau adéquat qui fournit les signaux (ainsi d'ailleurs que les tensions de blocage des thyristors). C'est pourquoi on parle de marche en onduleur non autonome (ou "assisté").
- Le fonctionnement étant lié au fait que la tension moyenne de sortie puisse devenir négative, les montages mixtes, pour lesquels U_c reste positif quel que soit α , ne peuvent en aucun cas fonctionner en onduleur.

II.9.1. Commande des thyristors

II.9.1.1. Commande brève – Commande longue

Le fonctionnement interne du thyristor fait que celui-ci peut être amorcé par des signaux de gâchette de très courte durée. La commande d'un certain nombre de montages se fait donc par une impulsion unique, dont la durée ne dépasse habituellement pas une centaine de microsecondes.

L'inconvénient de ce mode de commande est que, si le thyristor n'est pas encore polarisé positivement au moment où arrive l'impulsion (ce qui peut se produire par

exemple en régime transitoire dans un variateur de vitesse), l'amorçage ne peut pas se produire. Pendant une ou plusieurs alternances du réseau, le redresseur restera donc bloqué et on assistera à une anomalie de fonctionnement. Lorsque ce défaut est susceptible de se produire, on utilise, à la place de la commande brève, une commande longue qui consiste, soit à alimenter la gâchette jusqu'à la fin de la demi-alternance, soit à répéter les impulsions (Cf. figure II.17). Dans ce cas, la commande sera encore présente au moment où le thyristor peut redevenir passant, ce qui élimine le problème signalé précédemment. Il faut cependant noter que, dans ce cas, l'amorçage est régi par des conditions internes de fonctionnement et ne dépend plus formellement de la commande.

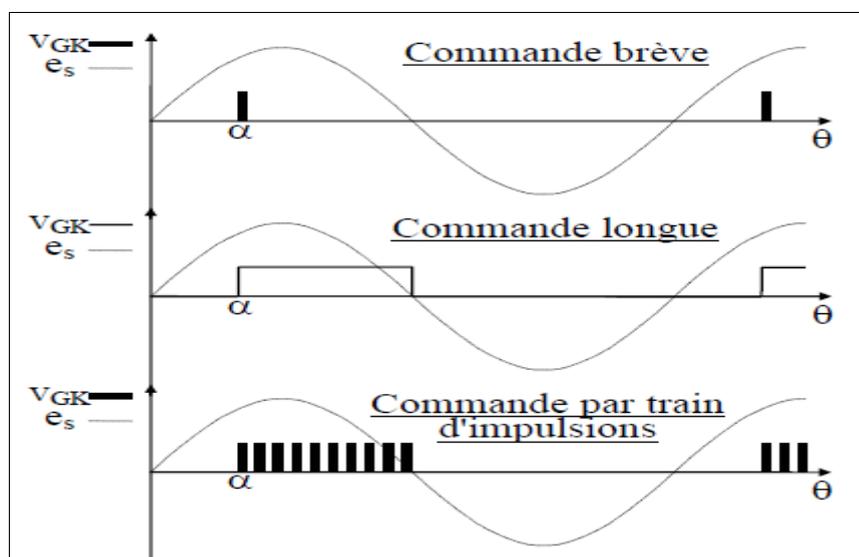


Figure II.17: commande de thyristor .

Remarque: Sur la figure (II.17), es désigné la tension de synchronisation du dispositif électronique fournissant les signaux de commande. Pour que α puisse être réglé entre 0 et 180° , il faut que le passage par zéro de e_s coïncide avec celui de la tension aux bornes du thyristor bloqué. Etant donné que les problèmes en courant interrompu peuvent être résolus comme indiqué ci-dessus, on se contente de réaliser cette condition en courant ininterrompu, en imposant que e_s soit l'image de la tension d'alimentation en monophasé, et celle de la tension composée adéquate en triphasé (ou de la tension simple, si on veut obtenir automatiquement une butée onduleur de 30° – mais, dans ce cas, le début de la caractéristique de réglage du dispositif de commande doit être neutralisé, pour éviter d'envoyer des impulsions sur un thyristor polarisé négativement).[10]

II.9.1.2. Commande des montages triphasés tout thyristors

L'utilisation des circuits habituels de commande brève conduirait à une répartition temporelle des signaux de commande comme indiqué ci-dessous.

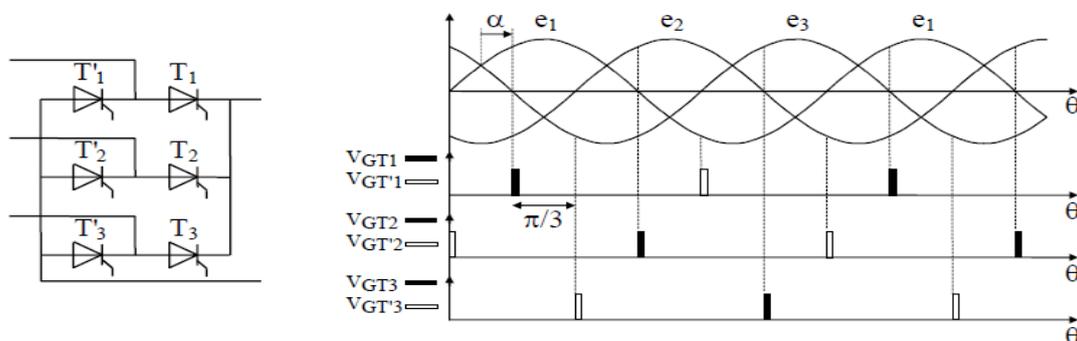


Figure II.18: Commande des montages triphasés tout thyristors.

A cause de cette répartition, la mise en conduction du pont est impossible. En effet, celle-ci suppose que deux thyristors soient amorcés simultanément (par exemple T1 et T'3), donc qu'il y ait coïncidence d'arrivée des impulsions de commande, ce qui n'est pas le cas ici. Pour y remédier, deux solutions sont possibles:

II.9.2. Utilisation d'une impulsion de confirmation

Chaque thyristor reçoit une première impulsion, normalement retardée de α , suivie d'une deuxième, retardée de $\alpha + \pi/3$, qui coïncide donc avec la première impulsion de commande du thyristor de l'autre montage parallèle (Cf. schéma partiel ci-contre). Ce procédé est répété pour tous les thyristors, car, lors d'un fonctionnement en courant interrompu (cas qui est loin d'être exceptionnel), le problème se repose à chaque nouvel amorçage d'un thyristor.[10]

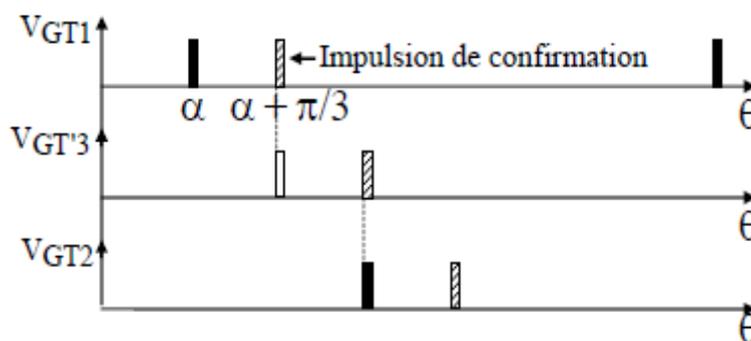


Figure II.19: impulsion de commande du thyristor.

II.10. Conclusion

Dans ce chapitre expliqué les étude de redresseur triphasé commandé pur chaque charge et comment généré les impulsion de thyristor ,

- Redresseurs alimentés en triphasé: Le choix est moins évident, car certains paramètres sont meilleurs pour le montage mixte, d'autres le sont pour le montage tout thyristors. En principe, aux faibles et moyennes puissances, on opte pour le montage mixte, moins coûteux et plus facile à commander. Aux puissances élevées, où le problème le plus important est celui des harmoniques du courant en ligne, on utilise le montage tout thyristors, bien que la réversibilité ne soit pas exigée. Notons également que, comme ce dernier est plus intéressant en ce qui concerne le filtrage du courant de sortie, il arrive très souvent qu'on l'emploie à la place du montage mixte dans le cas des puissances moyennes.

III. Introduction

Dans ce chapitre nous allons présenter la simulation et le travail pratique d'un pont de Graëtz triphasé à thyristors pour chaque valeur de l'angle d'amorçage. Pour la simulation on va utiliser le logiciel Matlab / Simulink, et pour la validation pratique on va utiliser le Kit d'électronique de puissance du laboratoire d'électrotechnique. pour les deux cas, nous allons utiliser un pont de diode pour charge active, une charge résistive en série avec une charge inductive. Ceci dans le but de représenter les signaux de tension redressé du courant de la charge et voir le courant et la tension de thyristor pour lieux modes de fonctionnement redresseur et Onduleur.

III.1. Généralités sur le Simulink

Simulink est une plate-forme de simulation multi-domaine et de modélisation de systèmes dynamiques. Il fournit un environnement graphique et un ensemble de bibliothèques contenant des blocs de modélisation qui permettent le design précis, la simulation, l'implémentation et le contrôle de systèmes de communications et de traitement du signal. Simulink est intégré à MATLAB, fournissant ainsi un accès immédiat aux nombreux outils de développement algorithmique, de visualisation et d'analyse de données de MATLAB

III.2. Paramètres du réseau

Le réseau est un système de tension triphasé parfaitement sinusoïdal, tel que :

La tension simple : $V=150$ v et la fréquence : $f=50$ Hz donc:

$$V1=212.\sin (\omega t), \quad (\text{III.1})$$

$$V2=212.\sin (\omega t +120), \quad (\text{III.2})$$

$$V3=212.\sin (\omega t -120), \quad (\text{III.3})$$

III.3. Montage de simulation de redresseur triphasé commandé avec une charge RLE

Le montage suivant représente un redresseur triphasé commandé avec une charge résistive, une charge inductive et une charge active qui est remplacé par un pont de diode. Le système est alimenté par une source de tension triphasé $U_S=188V$; fréquence $f=50Hz$, et le système est commandé par un générateur de signaux synchronisés avec le tension d'alimentation,

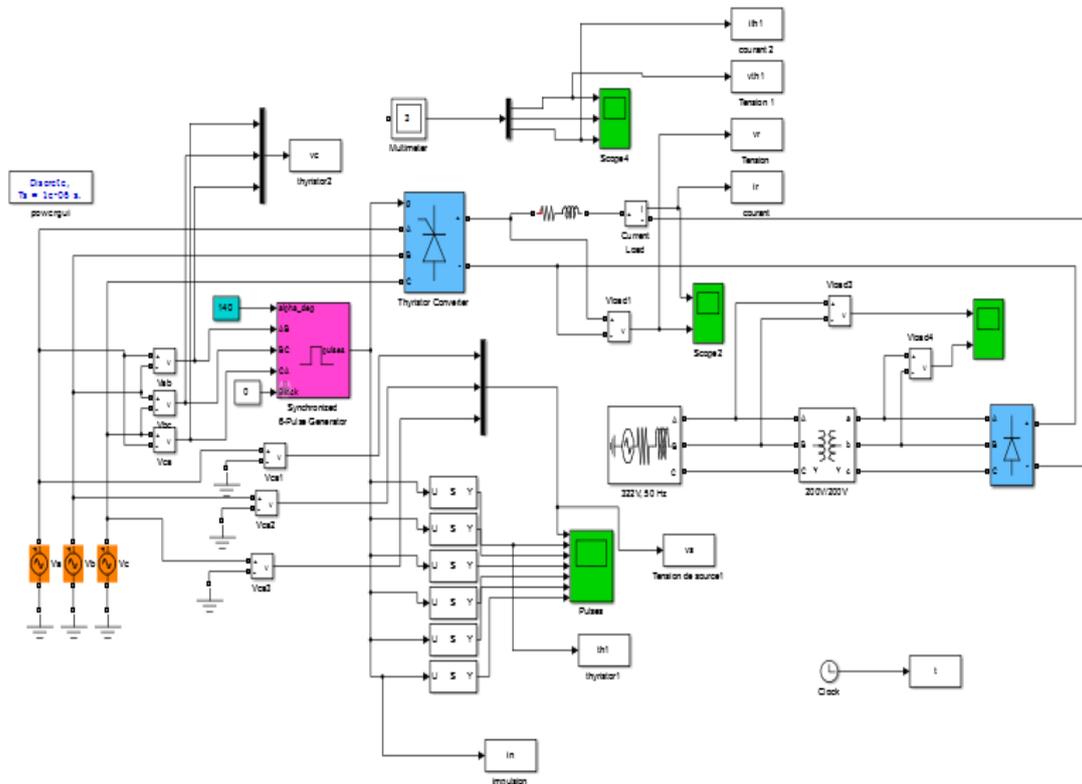
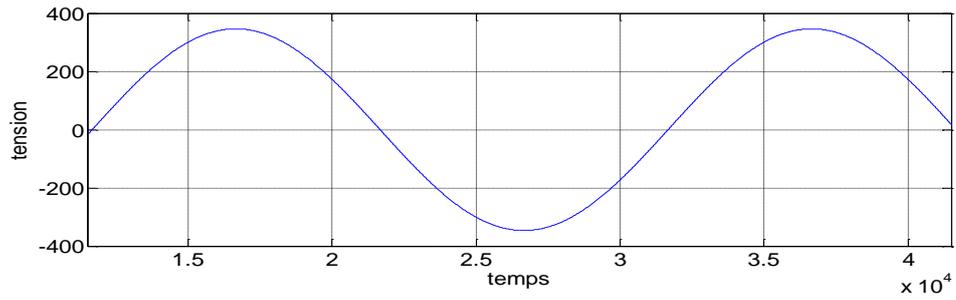


Figure III.1: schéma de montage de redresseur triphasé commandé .

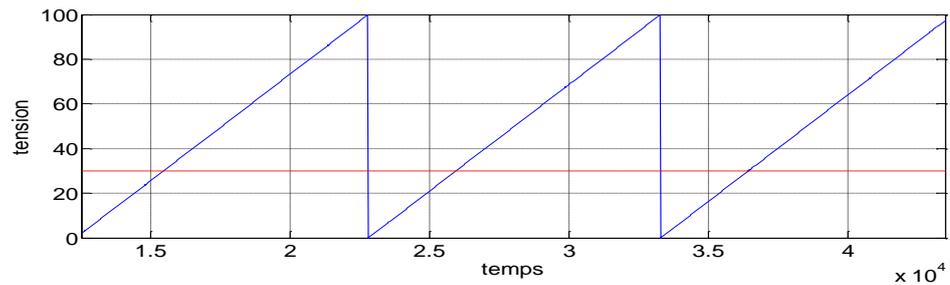
III.4. Description fonctionnelle de générateur d’impulsions

C’est un circuit qui permet d’amorcer à un moment bien précis le ou les thyristors qui alimentent un charge RLE.

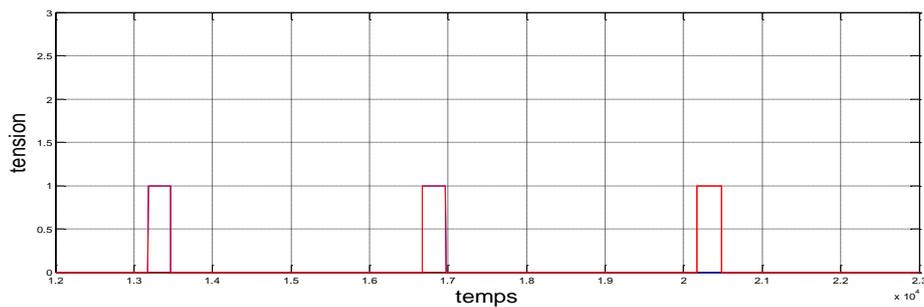
Ce circuit génère une rampe qui est synchronisée sur le secteur, celle-ci est comparée à la tension provenant du régulateur. La sortie du comparateur permet à un générateur d’impulsions de commander les thyristors avec un angle pouvant varier entre 0°et 180°.



La tension sinusoïdale d'entrée



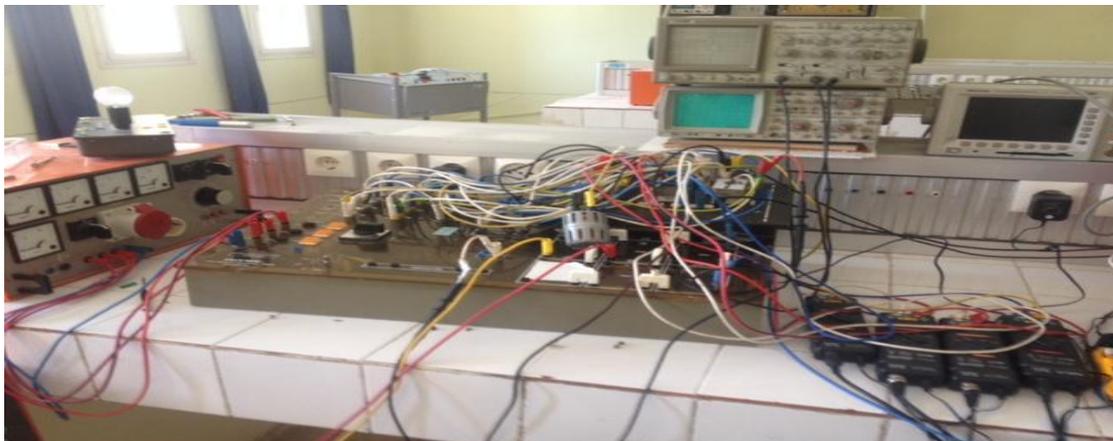
Signal on rampe et signal de commande



Signal de impulsion de la sortie

Figure III.2 : signal de générateur d'impulsions de commande de la thyristors

III.5. Montage de redresseur triphasé commandé avec une charge RLE on pratique

**Figure III.3** : montage de redresseur on pratique

III.5.1.Principe fonctionnement de montage

Pour $\alpha < 90^\circ$ le montage fonctionne en redresseur .il reçoit de l'énergie de la ligne triphasée et la transmet à la charge RLE et pour $\alpha > 90^\circ$ le montage fonctionne en onduleur non autonome il renvoie de l'énergie dans ligne triphasé.

Les figure suivante représenté le allures de tension redressée et le courant aux borne la charge et aussi la tension et le courant de thyristor pour chaque valeur de angle de amorçage α on remarque que le valeur de $\alpha < 90^\circ$ l'allure de tension et positive pour $\alpha > 90^\circ$ l'allure de tension et négative ,le courant est réduit quand l'angle d'amorçage augmente,

On représente pour différentes angle d'amorçage α les allure de tension redressée et courant de la charge et la tension et courant de la thyristor 1 et aussi représenté le signal de impulsion de thyristor par rapport à la tension de la source,

III.6. L'allure pour chaque angle d'amorçage

❖ L'allure de tension redressé pour angle d'amorçage $\alpha=30^\circ$:

$\alpha=\pi/6$, cas d'une valeur moyenne de tension de sortie positive le montage marche fonctionnement redresseur

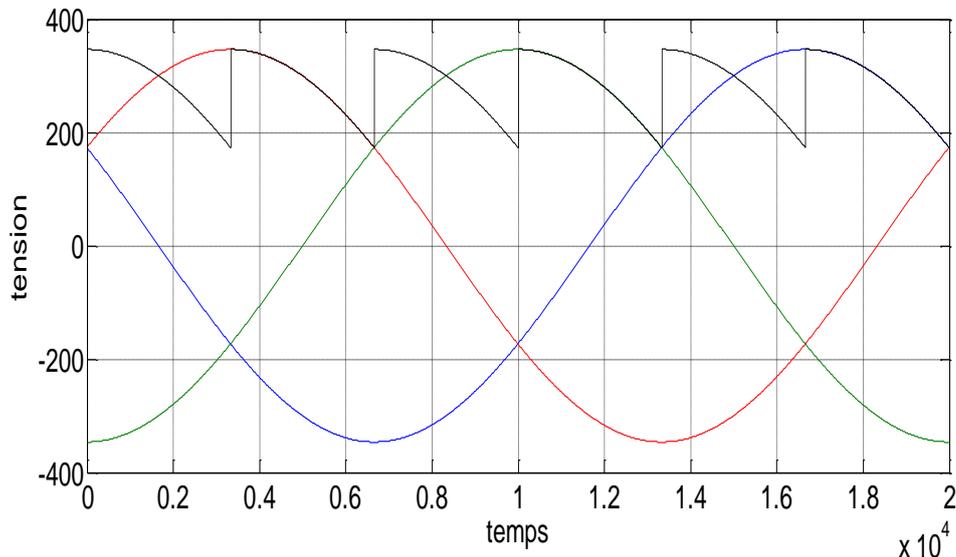


Figure III.4: la tension redressé de la charge et la tension composé

On trouve par les travail pratique les figure suivant pour angle d'amorçage $\alpha=30^\circ$:

$U_d=300v$, $I= 2.2 A$, $E=115v$,



Figure III.5: la tension redressé de la charge et la tension composé

Les allure de tension et courant de thyristor pour angle d'amorçage $\alpha=30^\circ$

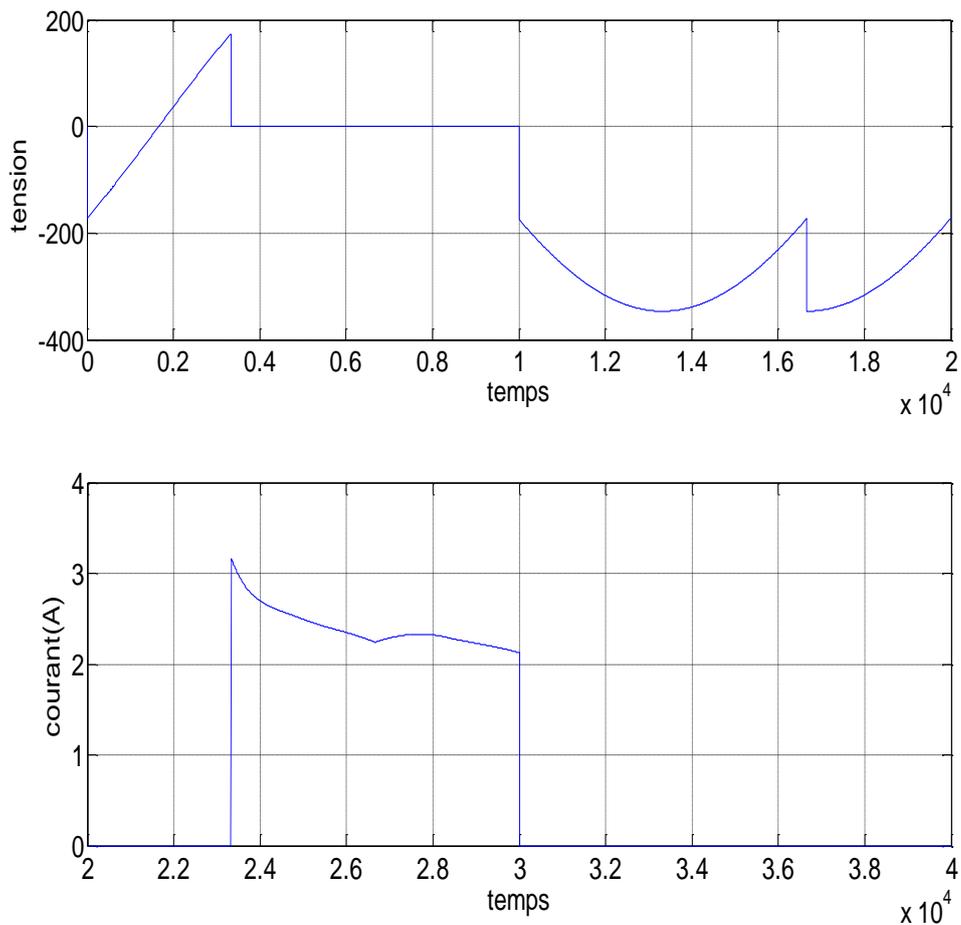


Figure III.6: la tension et courant de thyristor 1.

La tension et le courant de thyristor avec le courant de la charge trouvé en pratique

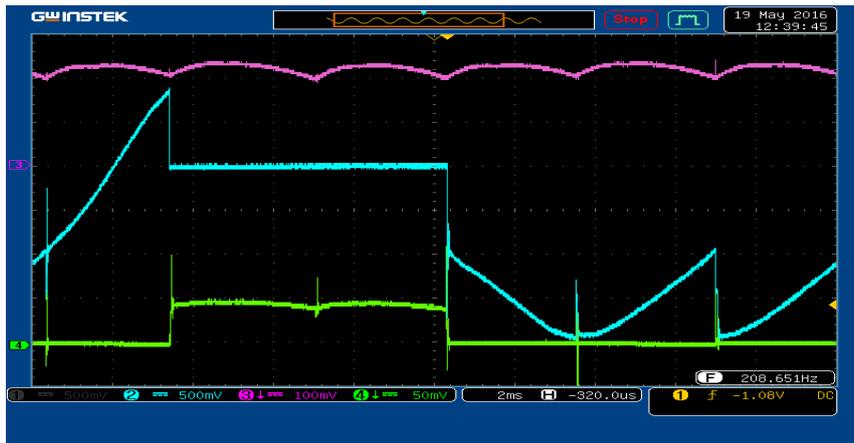


Figure III.7: le courant et tension de thyristor et courant de la charge

L'allure de courant de la charge et tension redressée pour angle d'amorçage $\alpha=30^\circ$ avec un signal de impulsion le courant multiplie fois 180 :

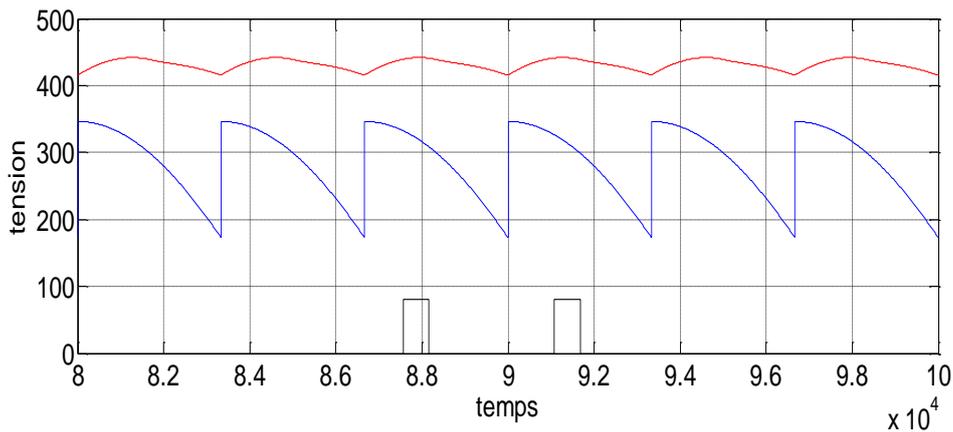


Figure III.8: courant de la charge et tension redressé et impulsion

La tension redressé et le courant de la charge trouvés en pratique avec impulsion :

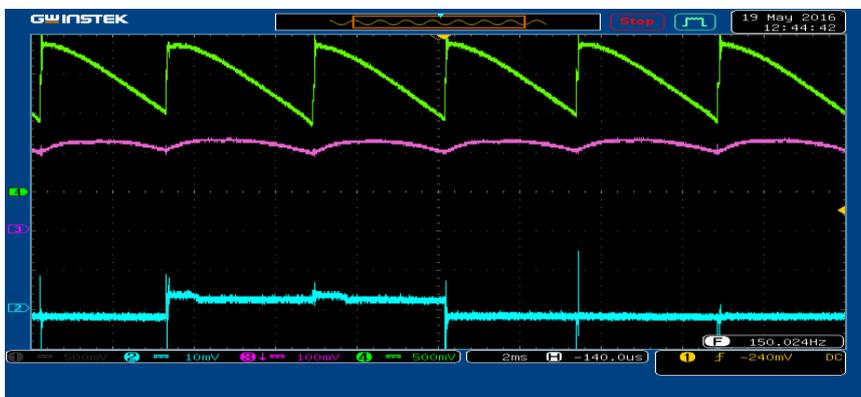


Figure III.9: courant de la charge et tension redressé et impulsion

❖ L'allure de tension redressé pour angle d'amorçage $\alpha=56^\circ$ et tension composé:

$\alpha=56^\circ$, cas d'une valeur moyenne de tension de sortie positive marche redresseur

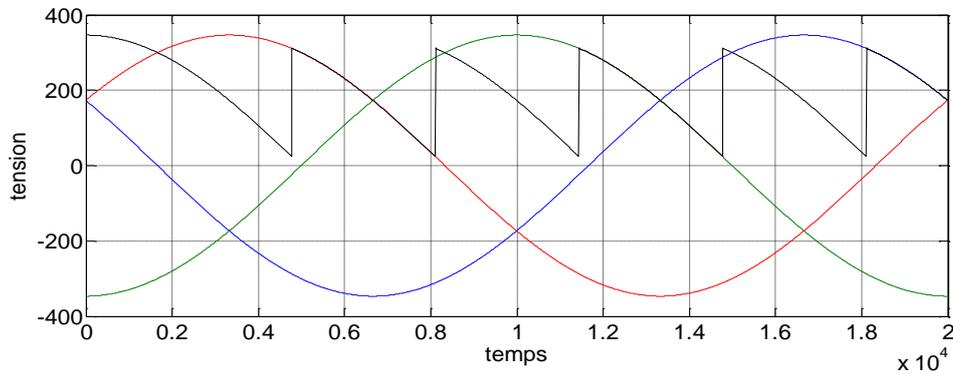


Figure III.10: la tension redressé de la charge et la tension composé

Les figure trouvé on pratique pour angle d'amorçage $\alpha=56^\circ$

$U_d=205\text{ v}$; $I=0.15\text{ A}$, $E=115\text{v}$

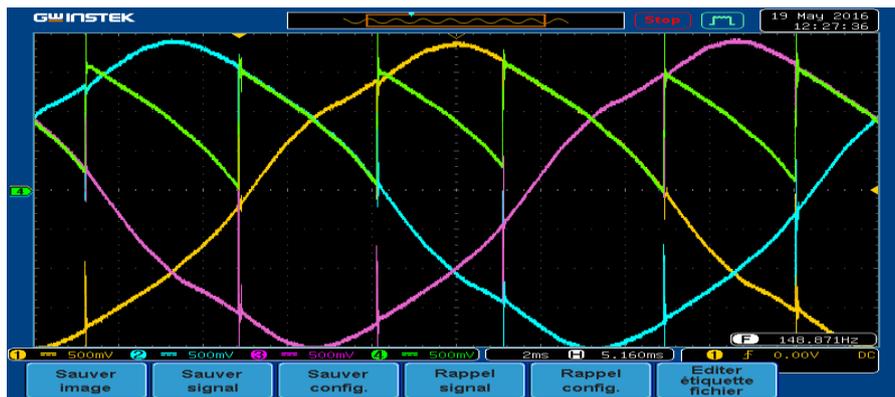
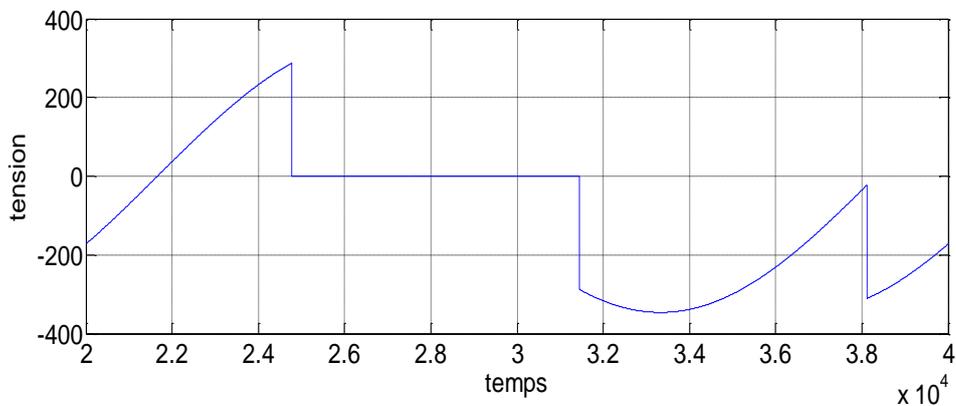


Figure III.11: la tension redressé de la charge et la tension composé

Les allure de tension et courant de thyristor pour angle d'amorçage $\alpha=56^\circ$



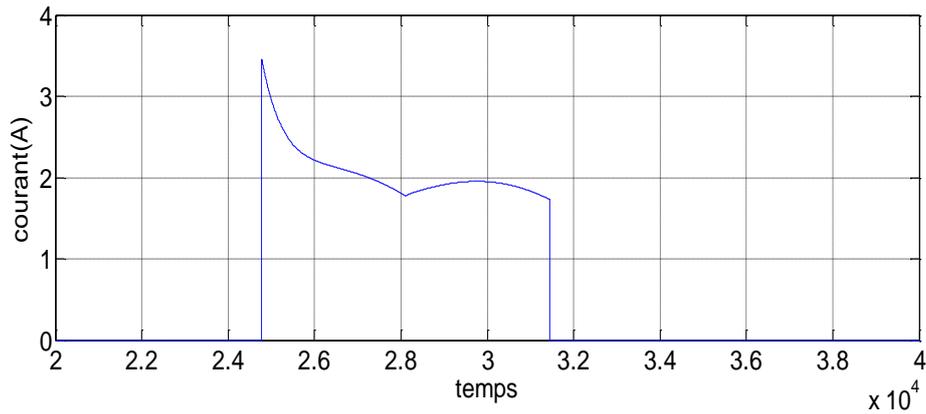


Figure III.12: la tension et courant de thyristor 1.

La tension et le courant de thyristor 1 avec le courant de la charge trouvé on pratique

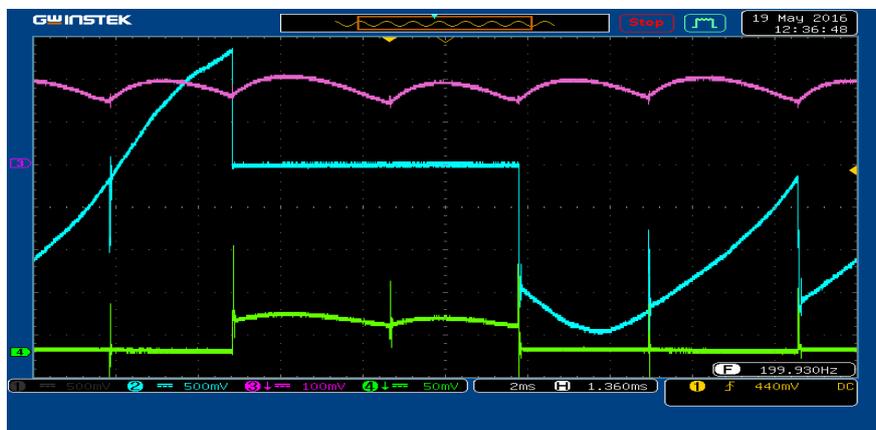


Figure III.13: le courant et tension de thyristor et courant de la charge

L'allure de tension redressée et courant de la charge pour angle d'amorçage $\alpha=56$.

Avec un impulsion de thyristor 1 le courant multiplie fois 160:

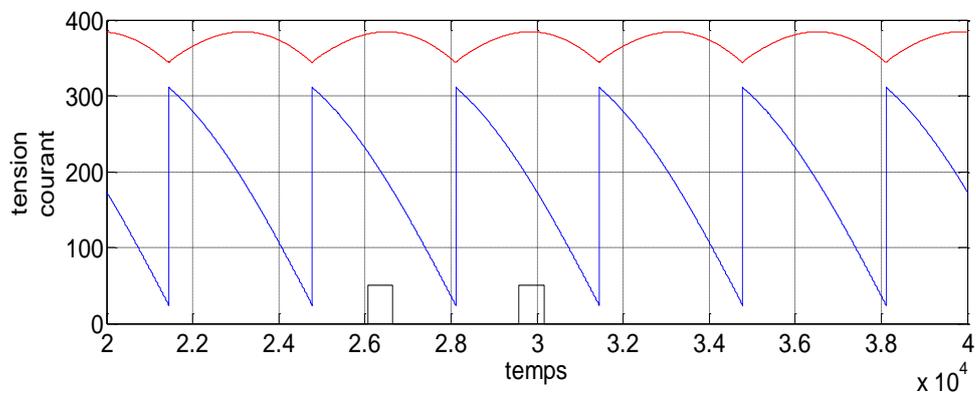


Figure III.14: courant de la charge et tension redressé et impulsion

La tension redressée et courant de la charge on pratique avec impulsion :

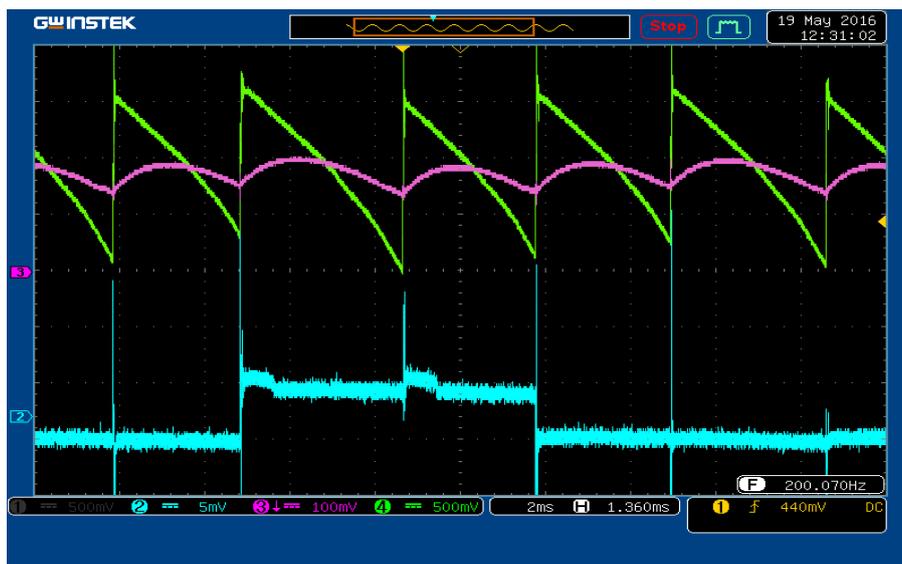


Figure III.15: courant de la charge et tension redressé et impulsion

❖ L'allure de tension redressé et courant pour angle d'amorçage $\alpha=90^\circ$ avec tension composé :

$\alpha= \pi/2$, cas d'une valeur moyenne de tension de sortie nulle

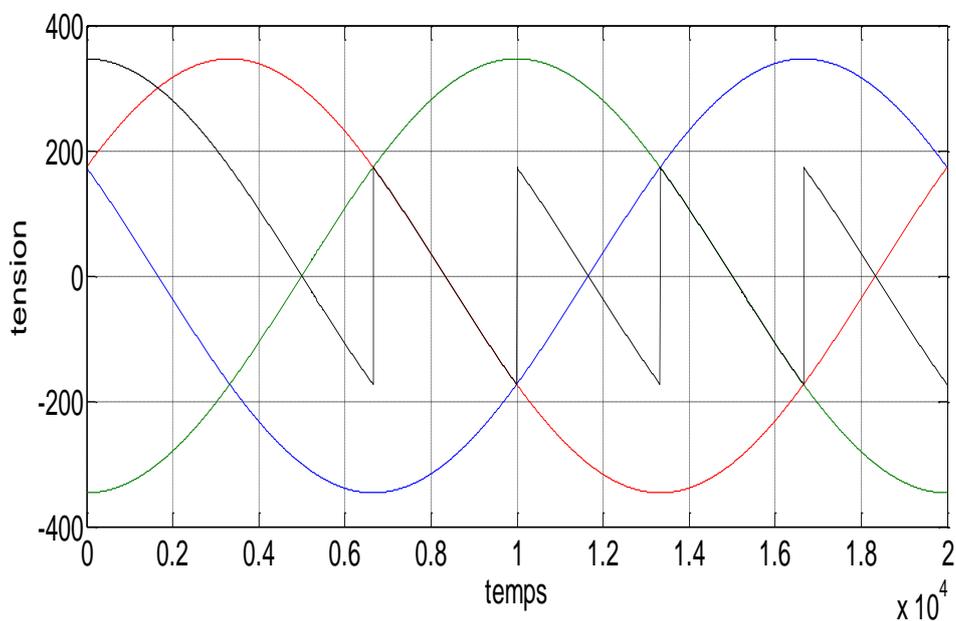


Figure III.16: la tension redressé de la charge et la tension composé

L'allure de tension redressé et tension composé pour $\alpha=90^\circ$ on pratique

$U_d=0$ v , $I= 0.2$ A, $E=25$ v



Figure III.17: la tension redressé de la charge et la tension composé

Les allure de tension et courant de thyristor pour angle d'amorçage $\alpha=90^\circ$

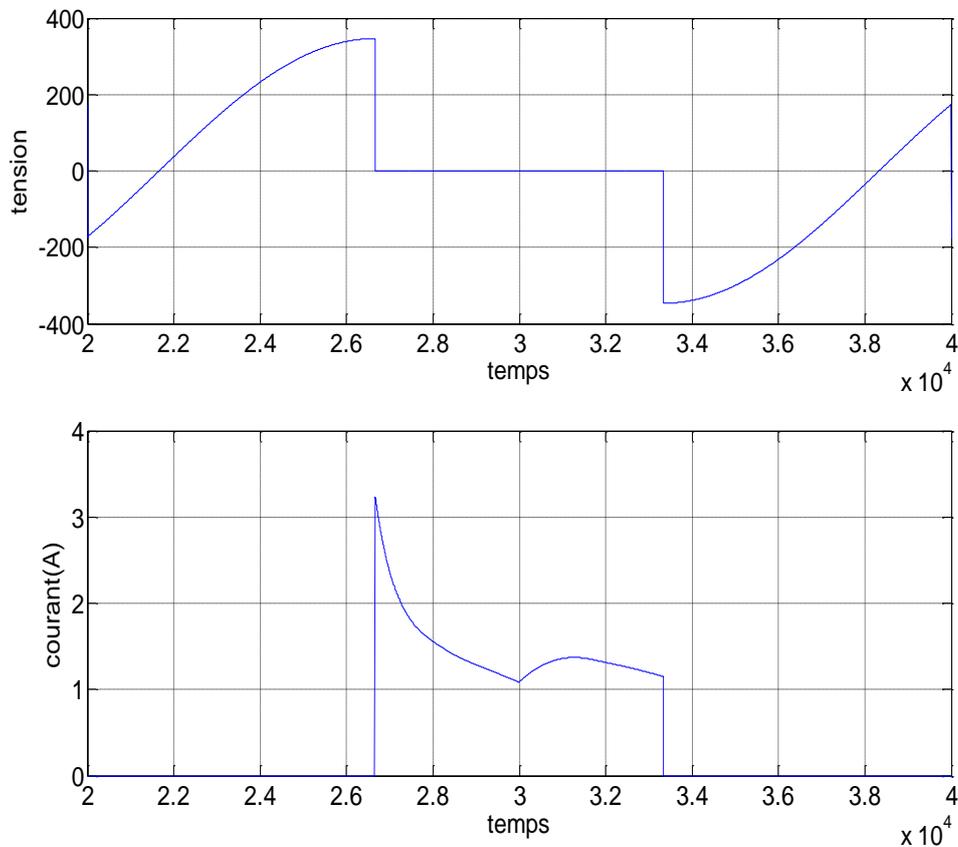


Figure III.18: la tension et courant de thyristor 1.

La tension redressé te courant de la charge trouvé on pratique :

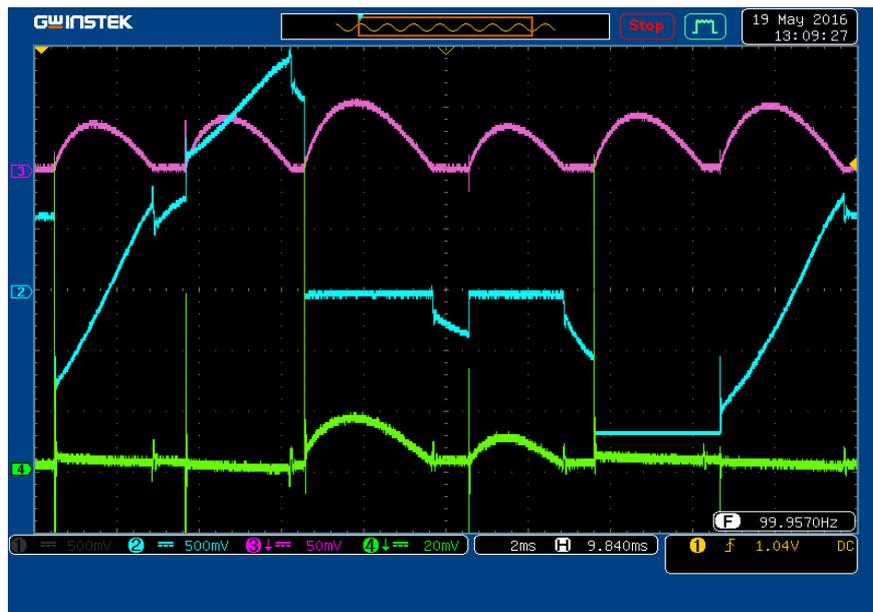


Figure III.19: le courant et tension de thyristor et courant de la charge

L'allure de tension redressé et courant pour angle d'amorçage $\alpha = 90^\circ$ avec impulsion de thyristor le courant multiplie fois 140 :

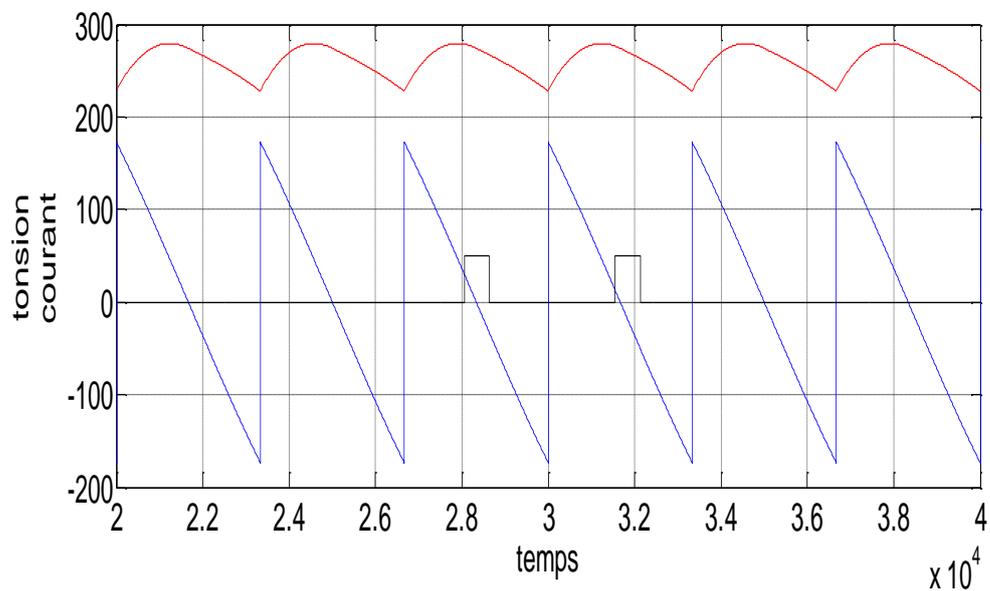


Figure III.20: courant de la charge et tension redressé et impulsion

La tension redressé te la courant de la charge on pratique avec signal de impulsion:

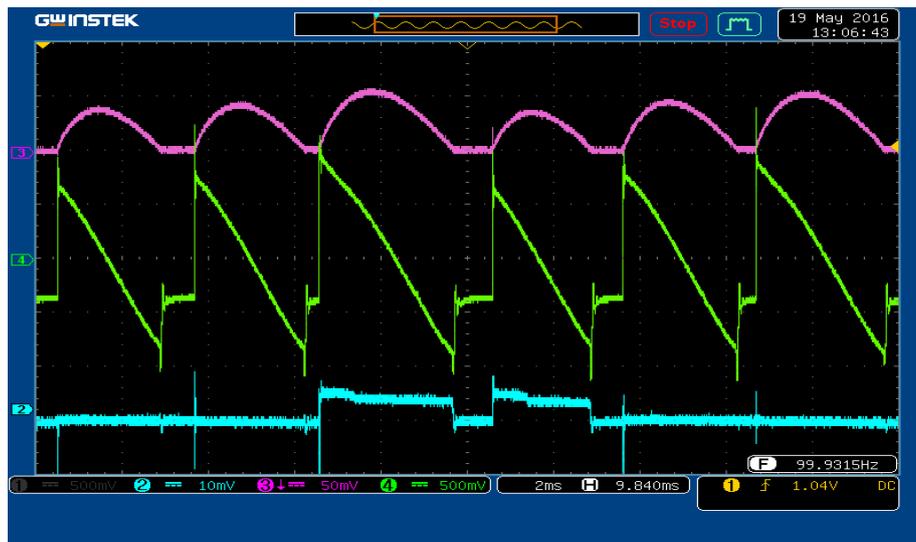


Figure III.21: courant de la charge et tension redressé et impulsion

❖ L'allure de tension redressé et courant pour angle d'amorçage $\alpha=100^\circ$ avec tension composé :

$\alpha= 100^\circ$, cas d'une valeur moyenne de tension de sortie négative montage marche fonctionnement onduleur

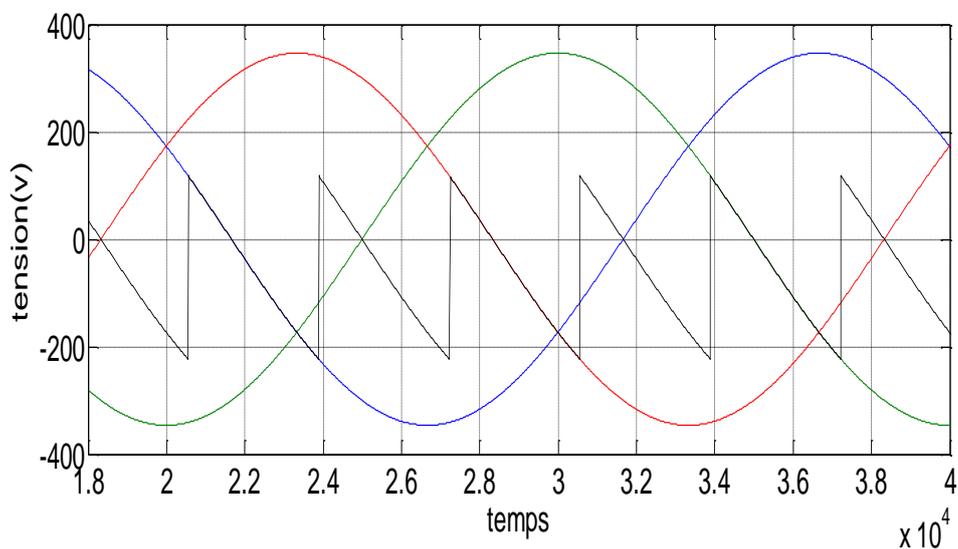


Figure III.22: la tension redressé de la charge et la tension composé

Angle d'amorçages $\alpha=100^\circ$ on pratique

$U_d= 50 \text{ v}$, $I= 0.16 \text{ A}$, $E= 25 \text{ v}$

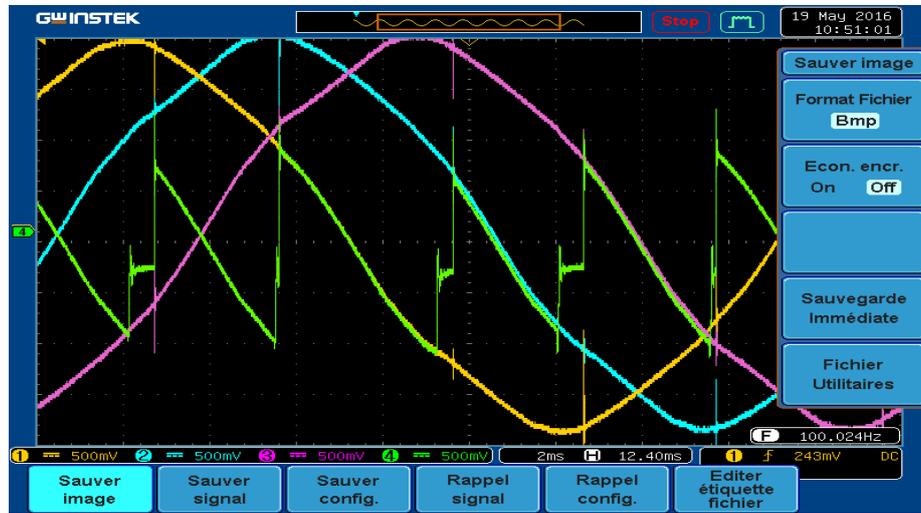


Figure III.23: la tension redressé de la charge et la tension composé

Les allure de tension et courant de thyristor pour angle d'amorçage $\alpha= 100^\circ$

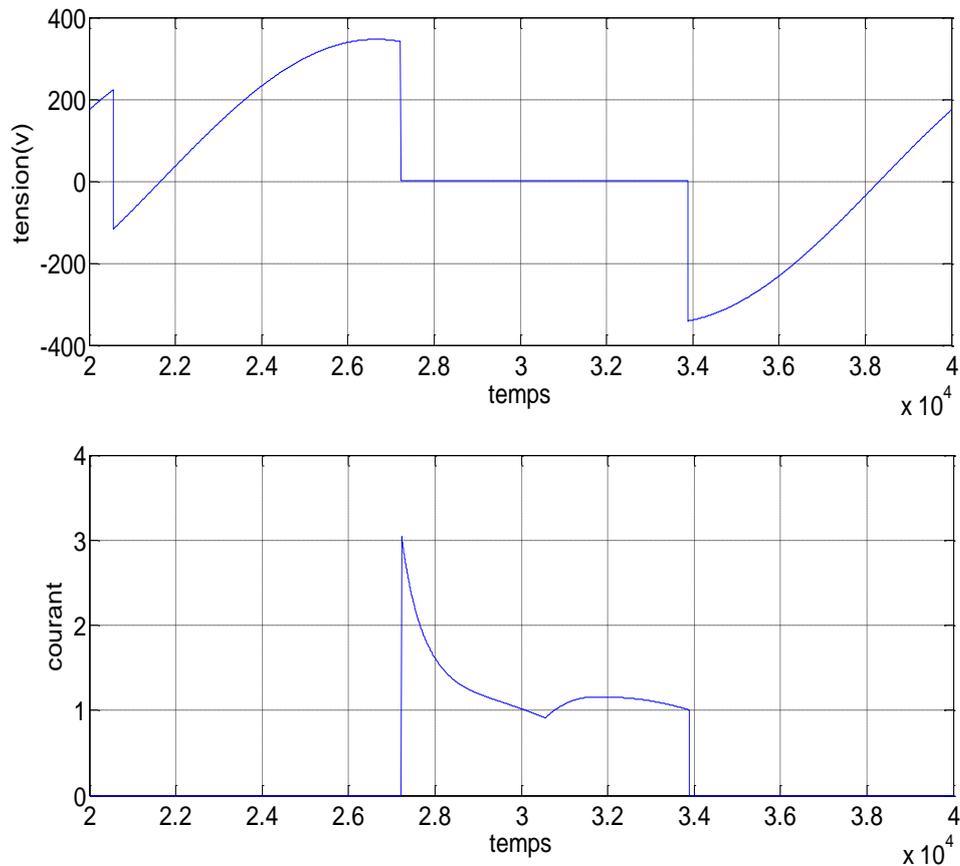


Figure III.24: la tension et courant de thyristor 1.

La tension et le courant de thyristor et la courant on pratique :

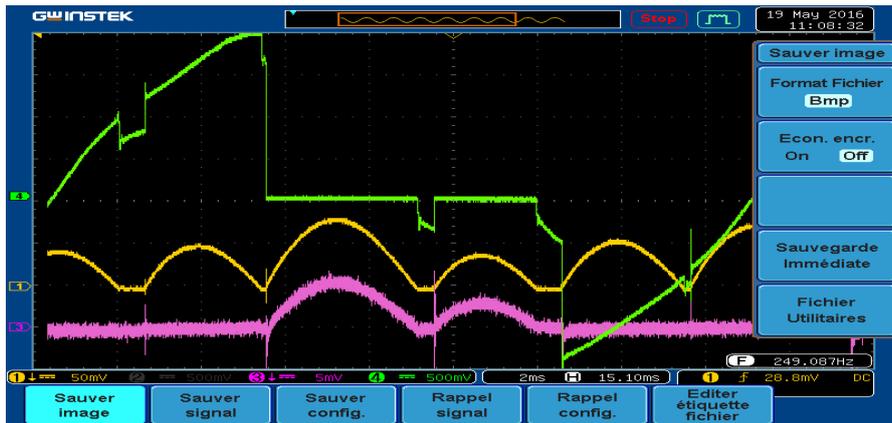


Figure III.25: le courant et tension de thyristor et courant de la charge

L'allure de tension redressé et courant pour angle d'amorçage $\alpha = 100^\circ$ avec un impulsion de thyristor le courant multiplie fois 120 :

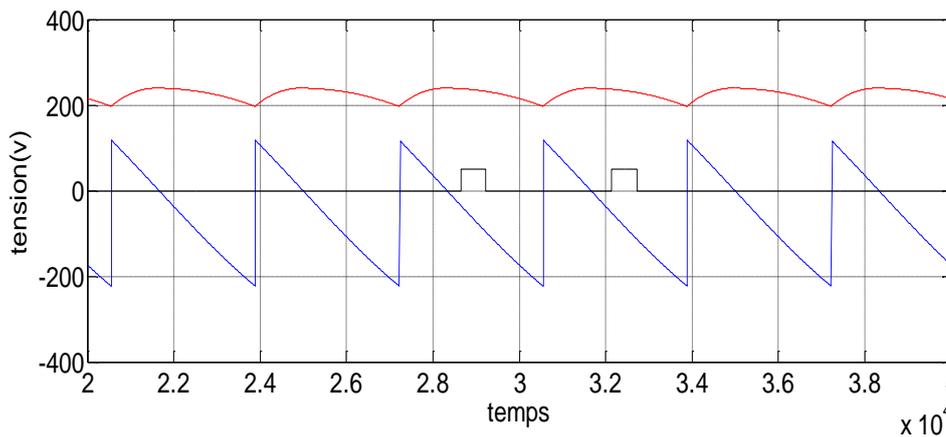


Figure III.26: courant de la charge et tension redressé et impulsion

La tension te la courant on pratique avec un signal de impulsion :

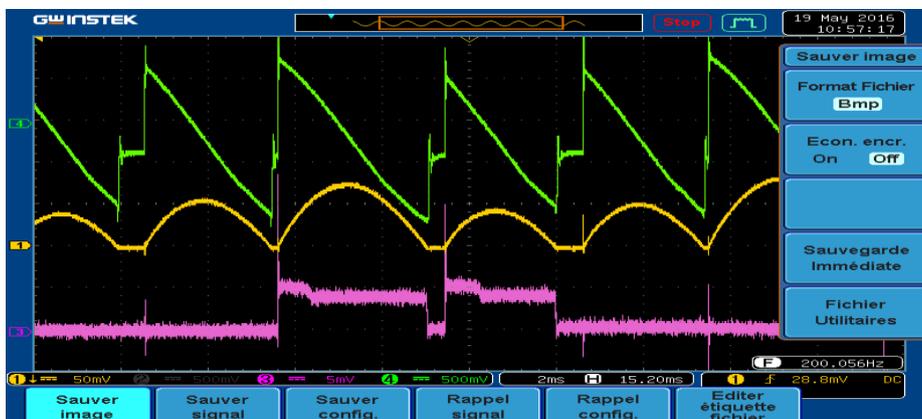


Figure III.27: courant de la charge et tension redressé et impulsion

❖ L'allure de tension redressé et courant pour angle d'amorçage $\alpha=130^\circ$ avec tension composé :

$\alpha= 130^\circ$, cas d'une valeur moyenne de tension de sortie négative montage marche on onduleur

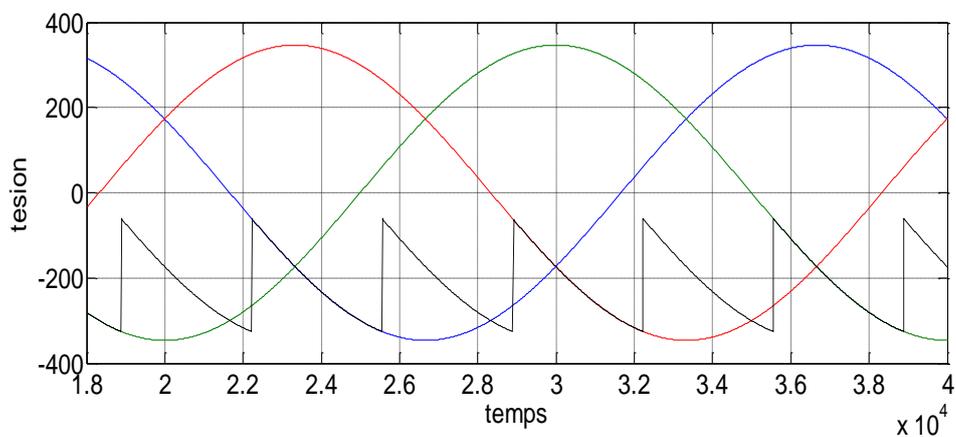


Figure III.28: la tension redressé de la charge et la tension composé

Angle d'amorçage $\alpha=130^\circ$ marche onduleur on pratique

$U_d= 205 \text{ v}$, $I= 0.15 \text{ A}$, $E= 25$

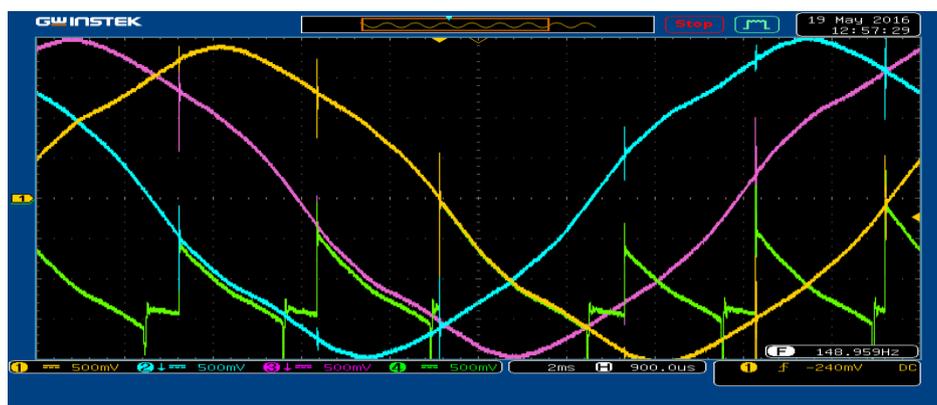
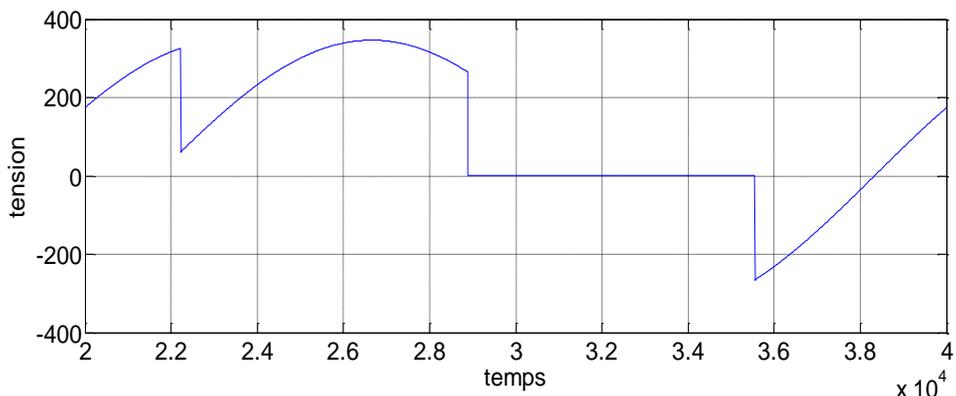


Figure III.29: la tension redressé de la charge et la tension composé

Les allure de tension et courant de thyristor pour angle d'amorçage $\alpha=130^\circ$



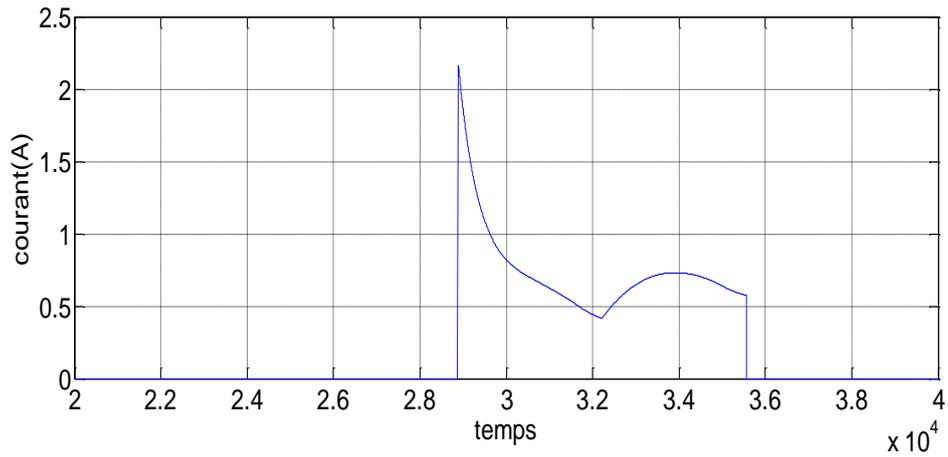


Figure III.30: la tension et courant de thyristor 1.

La tension et le courant de thyristor et le courant de la charge en pratique :

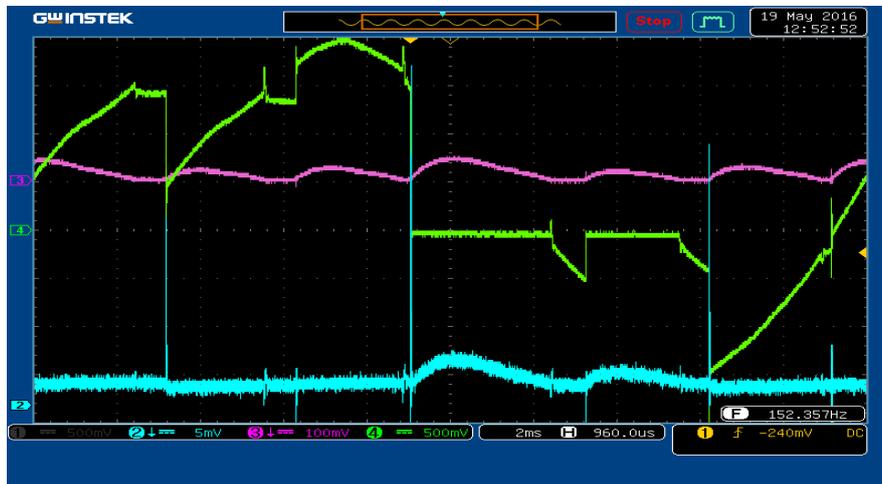


Figure III.31: le courant et tension de thyristor et le courant de la charge

L'allure de la tension redressée et du courant pour un angle d'amorçage $\alpha = 130^\circ$ avec une impulsion de thyristor, le courant est multiplié par 100 :

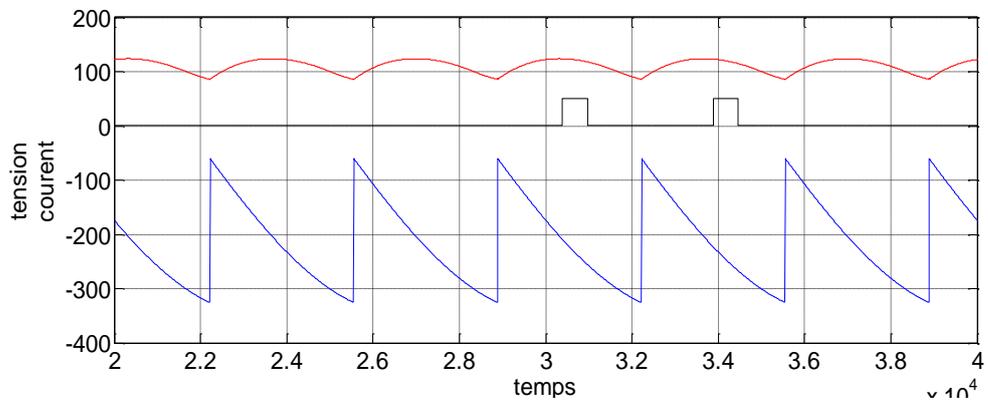


Figure III.32: le courant de la charge et la tension redressée et l'impulsion

La tension redressée et la courant avec un impulsion de thyristor on pratique :

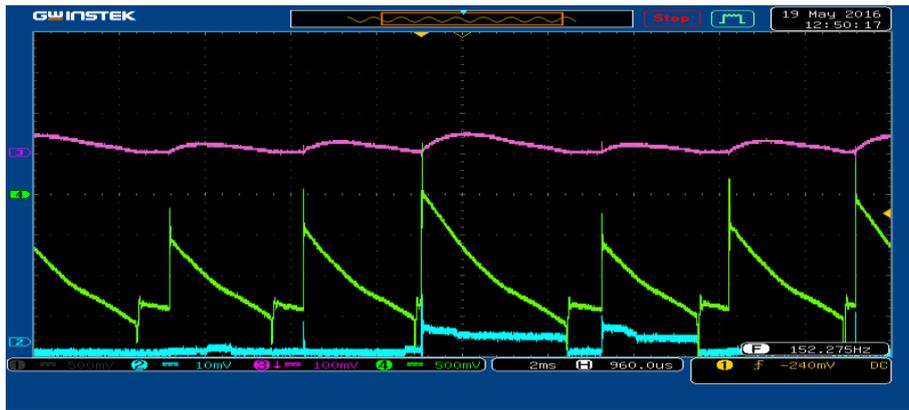


Figure III.33: courant de la charge et tension redressé et impulsion

III.7. Interprétation fonctionnement de redresseur triphasé commandé charge RLE

La durée de conduction d'un thyristor est de même durée que celle de la diode qu'il a remplacé mais retardé de α .

A cet instant, il faut que la tension aux bornes du thyristor soit positive, pour que l'envoi, par la commande d'une impulsion de courant dans la gâchette provoque la mise en conduction. Le thyristor conduit alors pendant le tiers de la période des tensions triphasées d'entrée.

- Il se bloque suite à la mise en conduction du thyristor suivant. Mais il faut faire attention que ce dernier soit alors polarisé en inverse pour éviter qu'il ne se réamorçe spontanément. Nous verrons que cela limite la valeur maximale de retard à l'amorçage à 150° .

Pour mieux nous représenter ces différents problèmes liés à la tension aux bornes du thyristor. Le relevé de la tension aux bornes d'un thyristor sert expérimentalement à estimer la valeur de retard à l'amorçage (on remarquera particulièrement l'intervalle angulaire α pour lequel la tension est positive, juste avant la mise en conduction).

Nous venons de représenter la tension aux bornes du thyristor. Le courant qui traverse le composant vaut I_s quand la tension V_{th} est nulle. Autrement, le courant est nul. Il est retardé de α par rapport au cas des diodes.

Quand la tension moyenne de sortie change devient négative (le courant ayant gardé le même sens), le sens de parcours de l'énergie a changé de sens. C'est désormais la charge qui fournit l'énergie à la source. On dit que le système fonctionne en onduleur.

On comprend bien que si la charge est passive, ce fonctionnement ne sera pas possible.

✚ La tension de thyristor 1

On remarque que le thyristor Th1 est susceptible de conduire lorsque la tension V1 est la plus positive des composantes V1, V2 et V3. Il est commandé à l'amorçage après un angle de retard α , et la valeur de thyristor Th1 est plus négative pour les valeurs de tension redressée positive, et la valeur de thyristor Th1 est plus positive pour les valeurs de tension redressée négative,

✚ Tension redressée

On remarque que pour des valeurs de l'angle de retard à la conduction α inférieures à $\pi/2$, la valeur moyenne récupérée est positive. Si α dépasse $\pi/2$, cette valeur moyenne devient négative. Le montage fonctionne maintenant en onduleur non autonome (ou assisté) : l'énergie passe du côté continu au côté alternatif. Pour fonctionner dans ce mode, il faut que la charge soit active (Machine à courant continu ou batterie d'accumulateurs)

✚ Courant redressée

On remarque que pour des valeurs de l'angle d'amorçage α la valeur de courant est plus réduite que $\alpha > 90^\circ$ et élevée pour $\alpha < 90^\circ$ donc la valeur de courant est susceptible avec angle d'amorçage

✚ L'angle d'amorçage

L'angle de commande α n'est pas mesuré dans le circuit triphasé depuis le passage par zéro de la tension U_{L1} . mais depuis l'intersection entre les tensions U_{L1} et U_{L3} pour exprimer les résultats par rapport au passage par zéro de U_{L1} , on doit soustraire 30° de l'angle mesuré entre le point d'amorçage et le passage par zéro,

III.8. Conclusion

dans ce chapitre concernait l'étude et la réalisation pratique d'un redresseurs triphasés à thyristors, fonctionnement onduleur. Les redresseurs à thyristors, ou redresseurs contrôlés, permettent, pour une tension alternative d'entrée fixée, de faire varier la tension continue de sortie. Ils sont de plus réversibles ; lorsqu'ils assurent le transfert de puissance du côté continu vers le côté alternatif, on dit qu'ils fonctionnent en onduleurs non autonomes

les deux cas de fonctionnement sont à considérer:

- $\alpha \leq \pi/2$, la valeur moyenne de la tension redressée est positive , il en est donc de même pour la puissance active fournie par le réseau au récepteur ($P = U_{\text{cmoy}} I_c$); le transfert de puissance se fait du coté alternatif vers le coté continu, le système fonctionne en redresseur.

- $\alpha > \pi/2$, la valeur moyenne de la tension redressée est négative ainsi donc que la puissance active; le transfert de puissance se fait du coté continu vers le coté alternatif, le système fonctionne en onduleur ou redresseur inversé. Le réseau continu néanmoins à imposer la fréquence et à fournir de la puissance réactive, d'où la précision parfois ajoutée dans la dénomination d'onduleur non-autonome

Conclusion générale

Le but principal de notre travail concernait l'étude et la réalisation pratique d'un redresseurs triphasés a thyristors, fonctionnement onduleur

Nous avons étudié le convertisseur AC/DC et son structure générale avec les lois de fonctionnement puis on a adapté un simulation sous l'environnement MATLAB qui simplifie le fonctionnement du convertisseur Les résultats obtenus montrent la variation de la tension de la sortie .

Le premier chapitre passe en revue les type de convertisseur statique et différents montages utilisés dans les convertisseurs alternatif-continu commandés et non commandé.

Le deuxième chapitre donne une description détaillée de la redresseur triphasé commandé et partie commande de thyristors et comment généré les impulsion.

Le troisième chapitre nous allons présenter la simulation et travail pratique d'un pont de Graëtz triphasé à thyristors pour chaque valeur de angle d'amorçage pour description fonctionnement de cette montage comment marche on redresseur et onduleur

les deux cas de fonctionnement sont à considérer:

- $\alpha \leq \pi/2$, la valeur moyenne de la tension redressée est positive , il en est donc de même pour la puissance active fournie par le réseau au récepteur ($P = U_{cmoy} I_c$); le transfert de puissance se fait du coté alternatif vers le coté continu, le système fonctionne en redresseur.

- $\alpha > \pi/2$, la valeur moyenne de la tension redressée est négative ainsi donc que la puissance active; le transfert de puissance se fait du coté continu vers le coté alternatif, le système fonctionne en onduleur ou redresseur inversé. Le réseau continu néanmoins à imposer la fréquence et à fournir de la puissance réactive, d'où la précision parfois ajoutée dans la dénomination d'onduleur non-autonome

Bibliographies

- [1] M. Alali « Contribution à l'Etude des Compensateurs Actifs des Réseaux Electriques Basse tension » Thèse de doctorat L'Université Louis Pasteur – Strasbourg - Génie électrique:2002.
- [2] Cyril W. LANDER. Electronique de puissance, Mc-Graw Hill, 1989.
- [3] Guy SÉGUIER. Electronique de puissance, 8^{ème} édition, Dunod, 2004.
- [4] Hervé LABORNE. Convertisseurs assistés par un réseau alternatif (Tome 1 et 2), Eyrolles, 1989-1992.
- [5] Guy SEGUIER : « Les convertisseurs de l'électronique de puissance volume 1 : « La conversion alternatif Continu » Lavoisier Tec et Doc : ISBN 2-85206-247-X -
- [6] Goumat BAYA. Etude harmonique des convertisseurs de puissance, 1995.
- [7] Michel PIOU – Agrégé de génie électrique – IUT de Nantes -France
- [8] Université de Savoie " Licence EEA Module U6 Energie et convertisseurs d'énergie ".
- [9] Guy SÉGUIER. Les Convertisseurs de l'électronique de puissance, Dunod, 2004
- [10] Université de Savoie "coure le redressement commande "
- [11] Michel Piou- conversion AC/DC "redresseur triphasé"