

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique

Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou
Faculté de Génie Electrique et de l'Informatique
Département d'Electrotechnique



Mémoire *de fin d'étude*

En vue de l'obtention du Diplôme d'ingénieur d'Etat

en Electrotechnique

OPTION : MACHINES ELECTRIQUES

Thème

Etude des harmoniques de courant générés

Par des redresseurs sur le réseau

Électrique

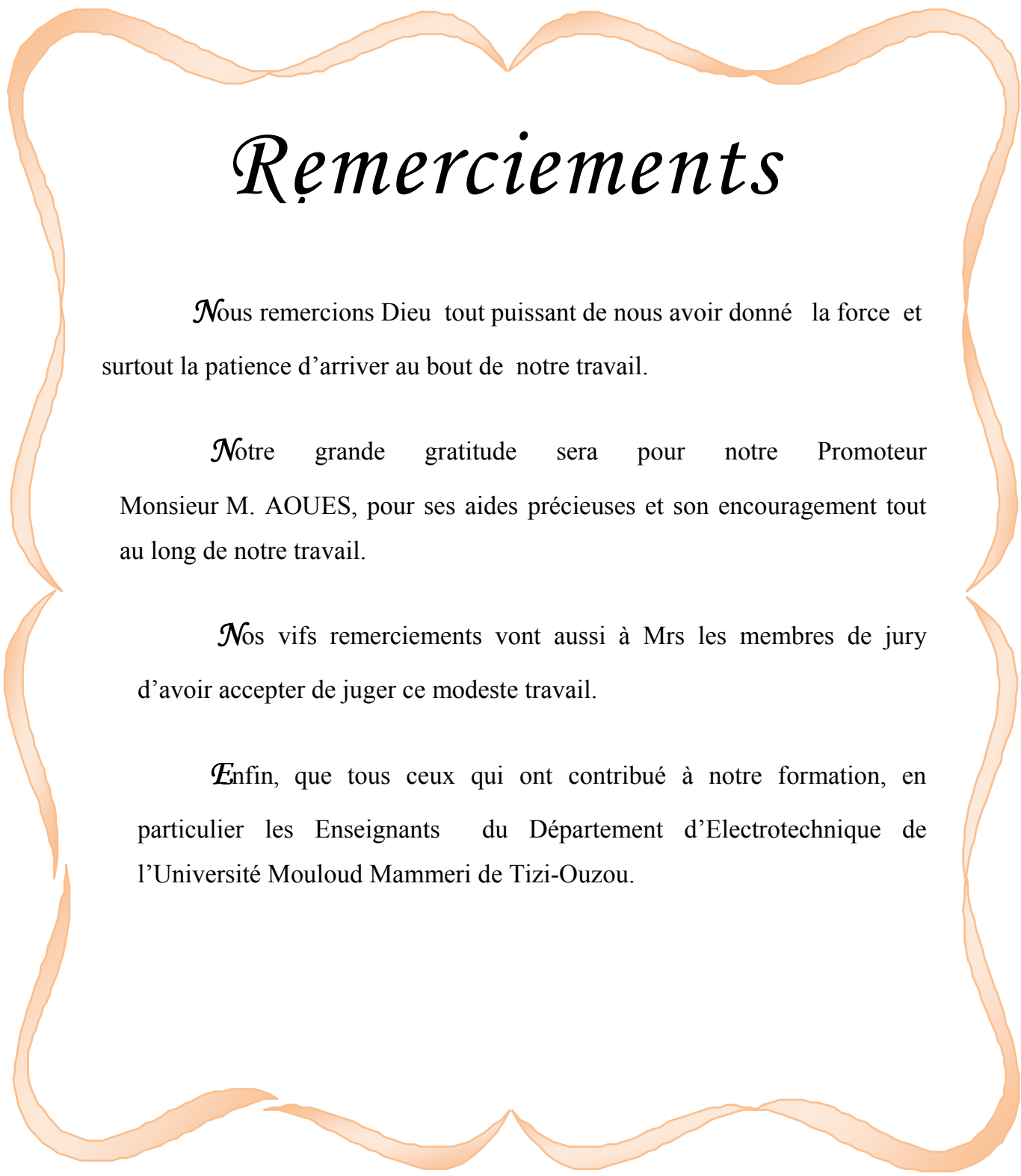
Proposé et dirigé par :

M^r. M. AOUES

Présenté par :

M^{elle} BRAHAM Thinhinane

Promotion 2010/2011



Remerciements

*N*ous remercions Dieu tout puissant de nous avoir donné la force et surtout la patience d'arriver au bout de notre travail.

*N*otre grande gratitude sera pour notre Promoteur Monsieur M. AOUES, pour ses aides précieuses et son encouragement tout au long de notre travail.

*N*os vifs remerciements vont aussi à Mrs les membres de jury d'avoir accepter de juger ce modeste travail.

*E*nfin, que tous ceux qui ont contribué à notre formation, en particulier les Enseignants du Département d'Electrotechnique de l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

- ✿ A mes très chers parents ;
- ✿ A mes frères ;
- ✿ A ma sœur.
- ✿ A ma nièce « Youssra ».
- ✿ A mes ami(e)s de la faculté de l'Electrotechniques.
- ✿ Spécialement à mon très cher Massine Aït Menguellet qui a été présent tout au long de ce chemin, merci à toi.

B. Thinhinane



Sommaire

Introduction générale	1
Chapitre I : Généralités et définitions	
I.1-Définitions des éléments redresseurs	3
I.1.1- Diode	3
I.1.1.1- Fonctionnement d'une diode parfait	4
I.1.1.2- Fonctionnement d'une diode réelle	5
I.1.2 –Thyristor	6
I.2.2.1- Fonctionnement d'un thyristor parfait	7
I.1.2.2- Fonctionnement d'un thyristor réel	8
I.2- Montage redresseur	9
I.3- Nécessité de conversion d'énergie	10
I.4 - Organisation d'un convertisseur alternatif- continu	11
I. 5- Principe d'étude d'un montage redresseur	11
I.6- Valeurs caractéristiques d'une grandeur périodique	12
I.7 - Décomposition en série de Fourier	13
Chapitre II : Redresseur monophasé	
Introduction	16
II- Redresseur monophasé double alternance	17
II.1- Pont tout thyristor	17
A- Schéma du montage	17
B- Etude du fonctionnement	17
C- Formes d'ondes	19
D- Etude des tensions	20
E- Etude des courants	20
F- Bilan des puissances	20
II.2- Pont mixte monophasé	22
II.2.1- Pont mixte symétrique	22
A-Schéma de montage	22
B- Etude du fonctionnement	23
C- Forme d'onde	25
D- Etude des tensions	26
E- Etude des courants	26

F- Bilan des puissances	26
II.3- Pont mixte asymétrique	27
A-Schéma du montage	28
B-Etude du fonctionnement	28
C- Forme d'onde	29
D- Etude des courants	30

Chapitre III : Redresseurs triphasés

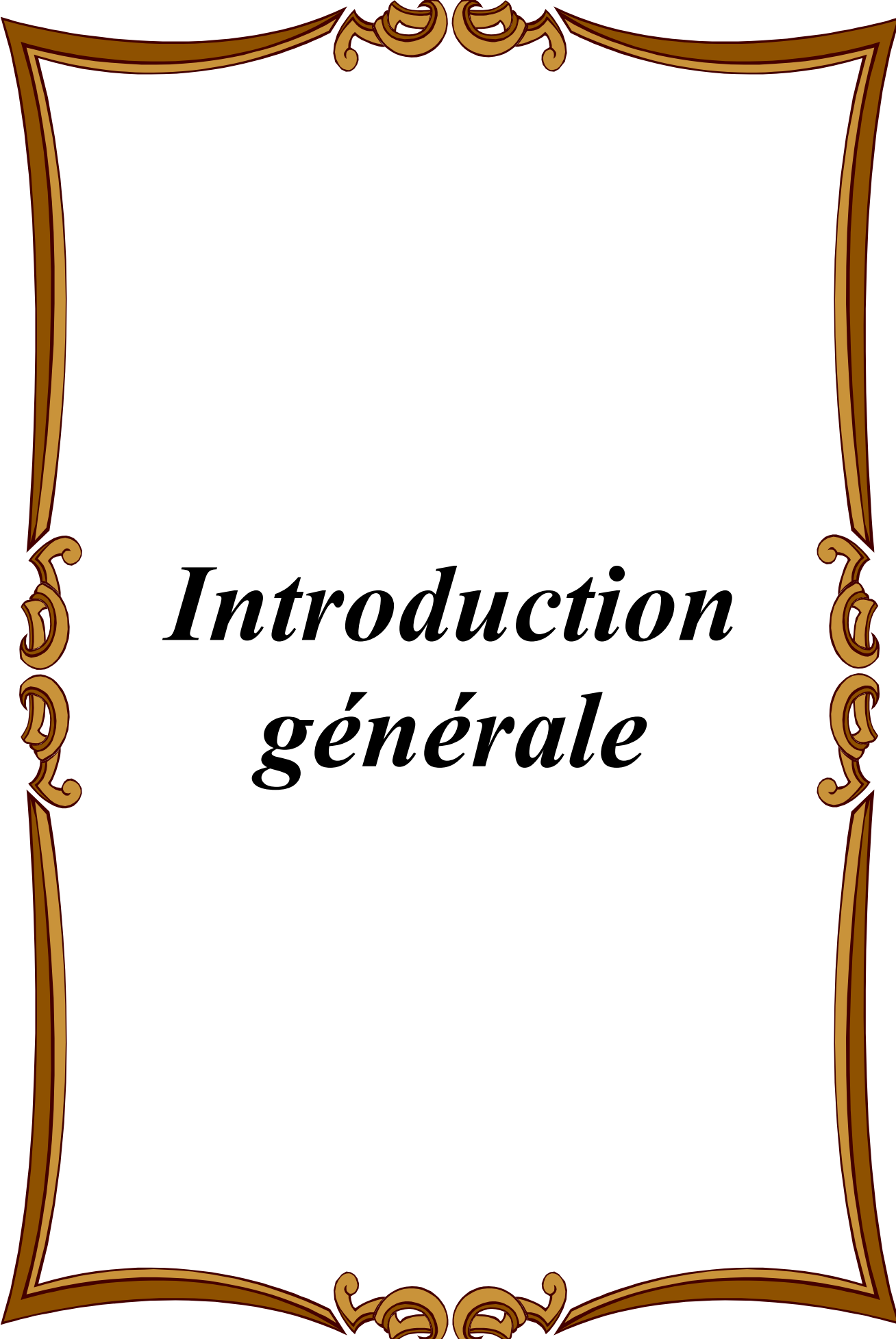
Introduction	32
III.1- Redresseurs triphasés simple alternance	32
III.1.1- Redresseur commandé (à thyristors)	32
A- Schéma du montage	32
B- Etude du fonctionnement	33
C- Formes d'ondes	34
D- Etudes de tensions	35
E- Etude des courants	35
F- Bilan des puissances	36
III.2-Redresseur triphasé double alternance	38
III.2-1-Pont tout thyristor	38
A-Schéma du montage	38
B- Etude du fonctionnement	39
C-Forme d'ondes	41
D-Etude des tensions	42
E- Etude des courants	42
F- Bilan des puissances	43
III.2-2-Pont mixte	44
A- Schéma du montage	44
B- Etude du fonctionnement	45
C- Forme d'ondes	46
D- Etude des tensions	47
E- Etude des courants	47
F- Bilan des puissances	47

Chapitre IV : Simulations

IV. Présentation du logiciel de Simulation.....	50
IV. 1- Simulation de redresseurs monophasés doubles alternances	51
IV.1.1- Pont à tout thyristor	51
IV.1.2- Pont mixte symétrique	52
IV.1.3- Pont mixte asymétrique	53
IV. 2- Simulation de redresseurs triphasés	54
IV.2.1- Redresseur triphasé simple alternance à thyristor	54
IV.2.2 - Redresseur triphasé double alternances en pont tout thyristor	55
IV.2.3- Redresseur triphasé double alternances en pont mixte	56
Conclusion générale	57

Bibliographie

Annexes



Introduction générale

INTRODUCTION GENERALE :

L'électronique de puissance est la branche de l'électrotechnique qui a pour objet l'étude de la conversion statique d'énergie électrique.

Elle traite l'énergie électrique par voie statique, elle permet ;

- Une utilisation plus souple et plus adaptée de l'énergie électrique ;
- Une amélioration de la gestion de transport et de la distribution de cette énergie,
- Une discrétion par une réduction des masses et des volumes ainsi que par une fonction ultra sonore des dispositifs.

Un convertisseur statique est un dispositif qui transforme de l'énergie électrique disponible en une forme appropriée à l'alimentation d'une charge.

Parmi ces convertisseurs les montages redresseurs qui assurent directement la conversion de l'énergie alternative en énergie continue.

Alimenté par une source de tension alternative monophasé ou polyphasé, ils permettent l'alimentation en courant continu des récepteurs branchés a leur sortie.

On utilise un redresseur à chaque fois que l'on a besoin du continu alors que l'énergie électrique est disponible en alternatif.

Ce mode de fonctionnement entraine une modification périodique du circuit électrique entre l'entrée et la sortie des montages.

Nous distinguons plusieurs types de redresseurs à savoir :

- Les redresseurs monophasés simple alternance, double alternance à diodes, à thyristors et mixte.
- Les redresseurs triphasés simple et double alternance à diodes, à thyristors et mixte.

Notre travail consiste à comparer ces différents redresseurs du point de vue harmoniques de courant générés sur le réseau électrique.

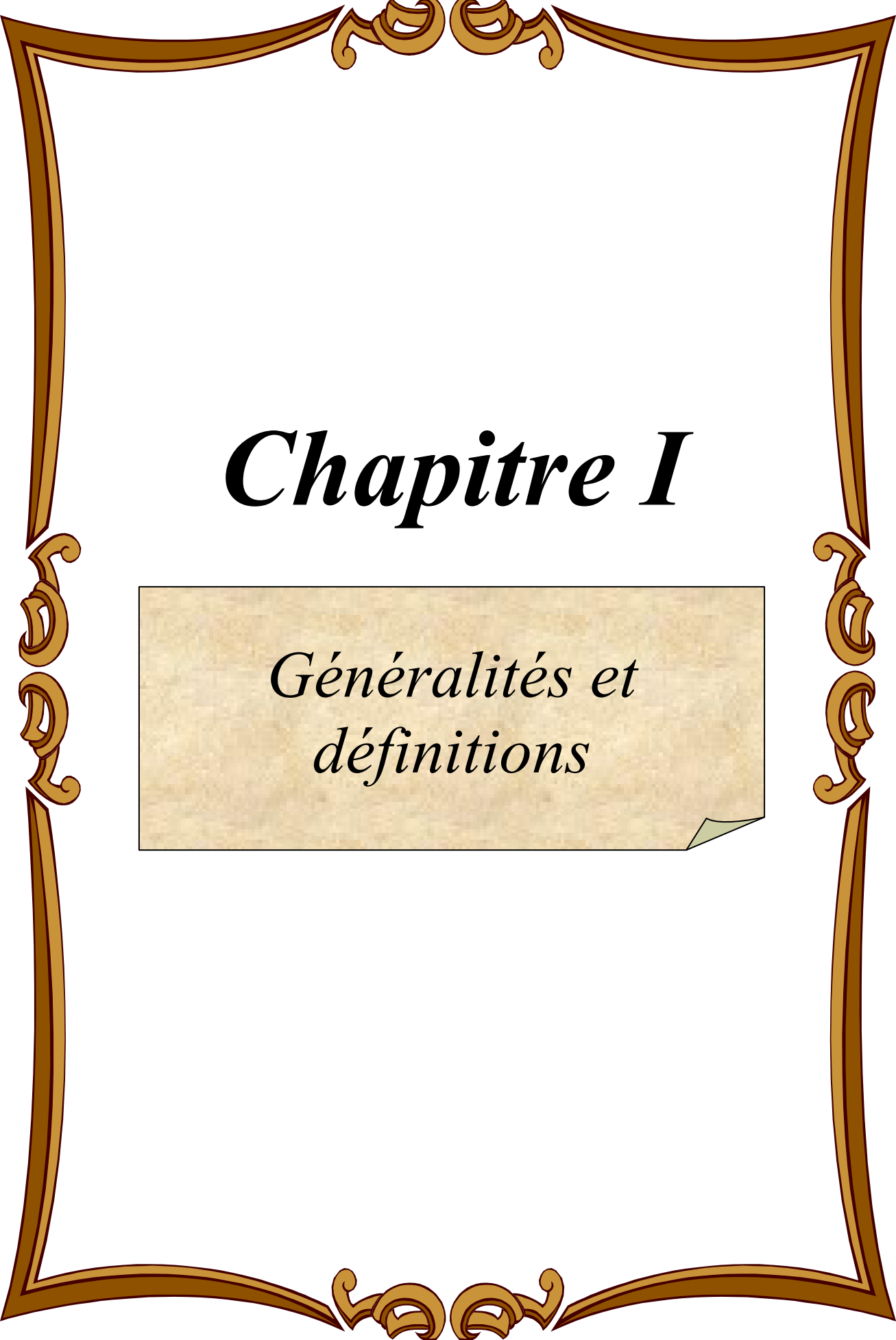
Plan de travail :

Nous présentons notre travail selon le développement suivant :

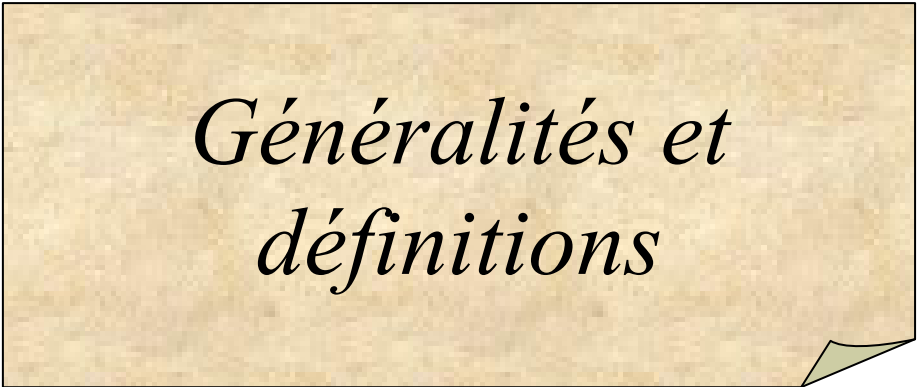
On commence cette étude par une Introduction générale.

- ❖ **Chapitre I** : Généralités et Définitions.
- ❖ **Chapitre II** : Redresseurs monophasés ; étude et analyse du fonctionnement.
- ❖ **Chapitre III** : Redresseurs triphasés ; étude et analyse du fonctionnement.
- ❖ **Chapitre IV** : Simulation.

On terminera par une conclusion générale.



Chapitre I



*Généralités et
définitions*

Introduction :

L'électronique de puissance concerne les dispositifs (convertisseurs) permettant de changer la forme de l'énergie électrique.

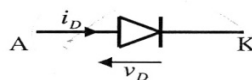
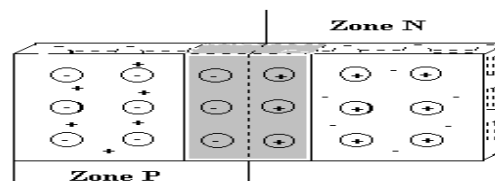
Elle comprend l'étude des structures, de la commande et des applications industrielles de ces convertisseurs.

Elle utilise des composants électroniques qu'on appelle interrupteurs semi-conducteurs.

Les semi-conducteurs sont des matériaux présentant une conductivité électrique intermédiaire entre les métaux et les isolants. Ils sont primordiaux en électronique, car ils offrent la possibilité de contrôler la direction du courant électrique.

I.1-Définitions des éléments redresseurs :**I.1.1- Diode :**

La diode est un dipôle électrique unidirectionnel dont les bornes sont l'anode (A) est la zone P d'une jonction P-N. La zone de type N est la cathode (K). [1]

Aspect :**Symbole :****Jonction :**

En polarisation directe c'est à dire si $V_A > V_K$ la résistance de la diode est nulle, elle se comporte alors comme un interrupteur fermé. Dans ce cas au-delà de la tension de seuil ($V_s = 0,6$ pour le silicium), la diode est conductrice.

Et en polarisation inverse, ($V_A < V_K$) on a $R = \infty$, la diode est équivalente à un interrupteur ouvert.

Dans ce cas le courant inverse est très faible, mais il croit rapidement avec la température de la jonction.



Diode pic



Diode 85044



Diode idhk

Fig. I.1 : Types de diode.

I.1.1.1- Fonctionnement d'une diode parfaite :

Une diode parfaite se comporte selon deux cas [2] :

- Elle fonctionne comme un interrupteur fermé à l'état passant.

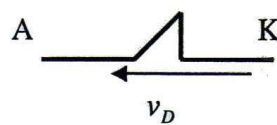


Fig. I.2. : Diode passante.

- Elle fonctionne comme un interrupteur ouvert à l'état bloqué.

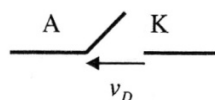


Fig. I.3. Diode bloquée.

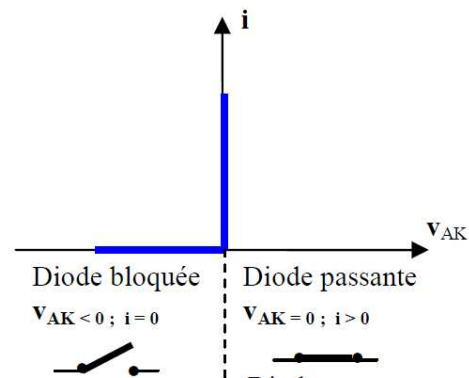


Fig. I.4 : Caractéristiques diode parfaite.

I.1.1.2- Fonctionnement d'une diode réelle :

Le fonctionnement d'une diode réelle est aussi caractérisé par deux cas [3] :

- A l'état passant :

$V_D = i_D \times r_D + V_s$, le courant direct est limité au courant direct maximal.

- A l'état bloqué :

$i_D = 0$, la tension inverse est limitée à la tension inverse maximale.

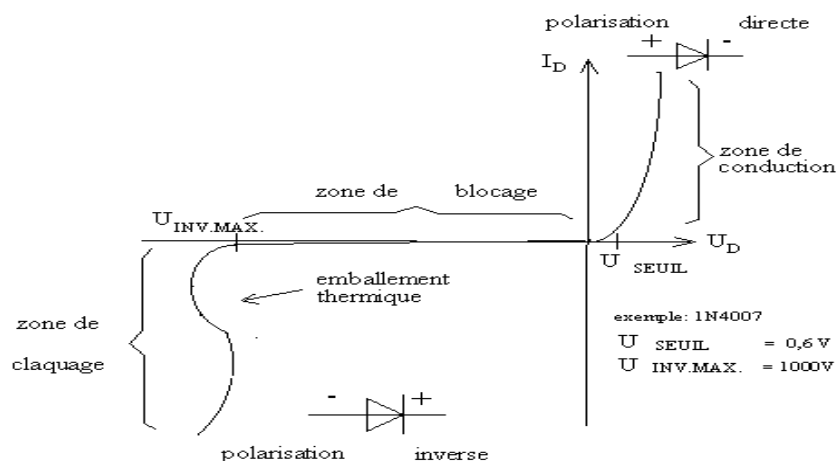


Fig. I.5 : Caractéristiques d'une diode réelle.

I.1.2 -Thyristor :

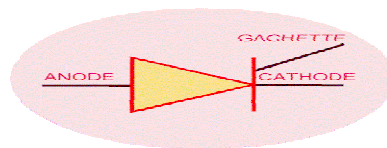
Un thyristor est un composant électronique semi-conducteur qui possède trois électrodes et composé de quatre couches de silicium dopées alternativement positivement et négativement. Dans sa structure en couches P-N-P-N, le thyristor peut être modélisé par deux transistors PNP et NPN, comme il peut être aussi considéré comme trois diodes en série branchées de façon à s'opposer au passage du courant dans les deux sens.

Comme la diode, le thyristor laisse passer le courant électrique dans un seul sens, de l'anode à la cathode.

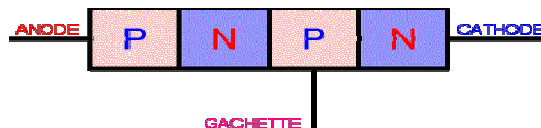
Mais le thyristor ne conduira que si un courant minimum et positif est fourni à la gâchette.

C'est donc une diode commandée et plus spécifiquement un redresseur commandé d'où son nom anglais « SCR » (Silicon Controlled Rectifier) [4].

Schéma symbolique :



Jonction :





Semikrom type
phase control



Thyristor
T048



Thyristor à haute
fréquence

Fig. I.6 : Types de thyristor.

I.2.2.1- Fonctionnement d'un thyristor parfait :

Un thyristor parfait fonctionne comme un interrupteur.

A ——— K $V_{AK} < 0 \Rightarrow I_T = 0$, Le thyristor bloqué.

A ——— K $V_{AK} \geq 0$ Et $I_g = 0$

$I_g \Rightarrow I_T = 0$, Le thyristor bloqué.

A ——— K $V_{AK} \geq 0$ Avec impulsion de gâchette

$I_g \Rightarrow I_T > 0$ Le thyristor passant

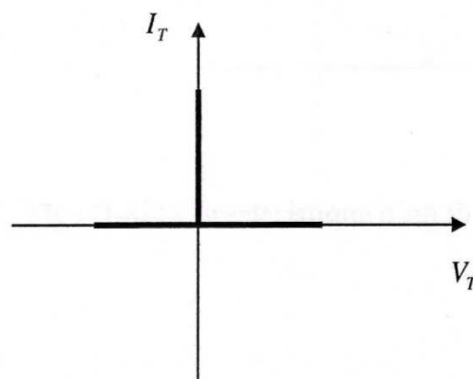


Fig. I. 7 : Caractéristique d'un thyristor idéal.

I.1.2.2- Fonctionnement d'un thyristor réel :

Le thyristor est bloqué pour un courant de gâchette $I_g = 0$ tant que la tension entre l'anode et la cathode reste entre :

- VRSM (valeur maximale inverse) ;
- VDSM (valeur maximale directe).

Le thyristor s'amorce et se comporte comme une diode conductrice si la tension directe appliquée dépasse VDSM.

Pour $I_g > 0$, le thyristor devient conducteur et reste passant même après la disparition du courant de commande I_g . Il ne se bloque que si le courant direct (I_d) devient inférieur au courant de maintien I_h pendant un temps supérieur à celui de recouvrement t_q . [5]

Remarque :

Pour qu'un thyristor s'amorce il faut : $V_{AK} > 0$ et $I_g > 0$.

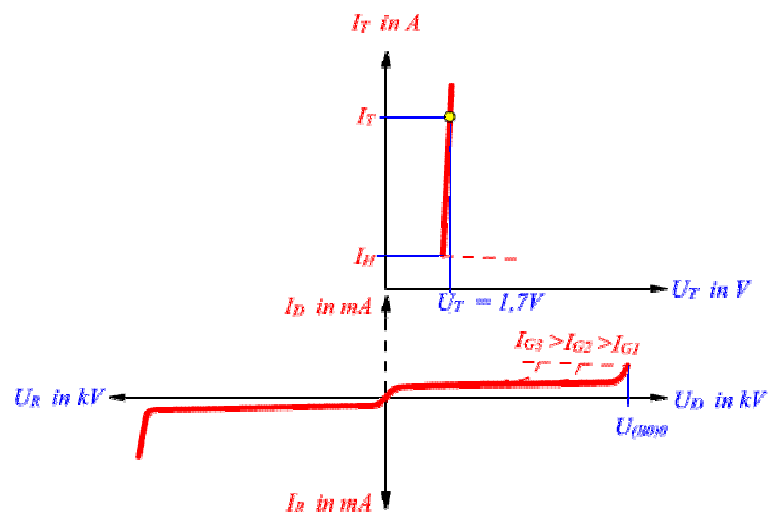


Fig. I.8 : Caractéristiques d'un thyristor réel.

I.2- Montage redresseur :

Les montages redresseurs, souvent appelés simplement redresseurs, sont les convertisseurs de l'électronique de puissance qui assurent directement la conversion de l'énergie alternative-continue.

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.

Les réseaux et les récepteurs électriques apparaissent sous deux formes, continus-alternatifs, conduisent à quatre types de convertisseurs, parmi ceux-ci, la conversion alternatif-continu. La chaîne de conversion est composée de la source alternative, du commutateur et de la charge. L'étude de chacune de ses fonctions permet de juger de leur influence sur l'efficacité globale du redresseur.

Les redresseurs à diodes, ou redresseurs non commandés, ne permettent 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 du côté continu vers le côté alternatif.

Les redresseurs à thyristors, ou les redresseurs commandés, permettent pour une tension alternative d'entrée fixée, de faire varier la tension continue de sortie. Ils sont plus réversibles ; lorsqu'ils assurent de la puissance du côté continu vers le côté alternatif, on dit qu'ils fonctionnent en onduleurs non autonomes. [6]

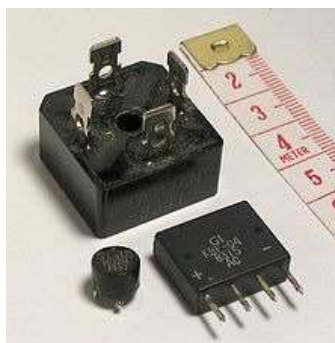
**Redresseur en pont****Redresseur à vapeur**

Fig. I.9 : Types de redresseur.

I.3- Nécessité de conversion d'énergie :

Les réseaux électriques industriels alimentent de nombreux actionneurs en énergie suivant leur nature. Cette énergie électrique apparaît sous deux formes : **alternative** (tension ou courant sinusoïdaux à valeur moyenne nulle) ou **continu**. [7]

Suivant le type d'actionneur, il est nécessaire d'adapter la forme de l'énergie fournie par le réseau.

Les différentes possibilités apparaissent comme ci-dessous :

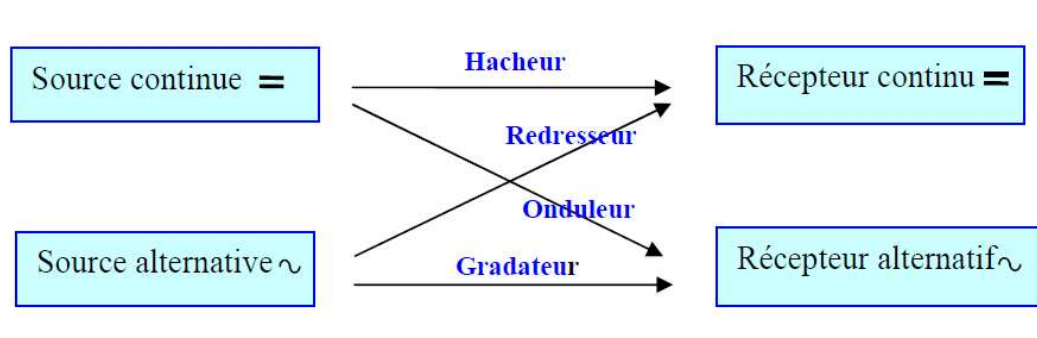


Fig. I.10 : Les sources et les récepteurs alimentés pour les différents convertisseurs d'énergie.

Notre étude n'aborde que la conversion d'énergie du type : Alternatif-continu.

I.4 - Organisation d'un convertisseur alternatif- continu :

L'élément clef de notre étude est le convertisseur alternatif-continu. Mais ce redresseur ne peut être dissocié du récepteur qu'il alimente. De la même manière l'ensemble (convertisseur +récepteur) constitue la charge de la source électrique d'où provient l'énergie c'est-à-dire, le réseau d'alimentation.

L'ensemble constitue une chaîne de conversion dont chacun des éléments ne peut être étudié qu'en tenant compte des autres. [8]

Sur la base de ces éléments on peut considérer que la chaîne de conversion alternatif-continu, se décompose suivant la structure représentée à la figure suivante :

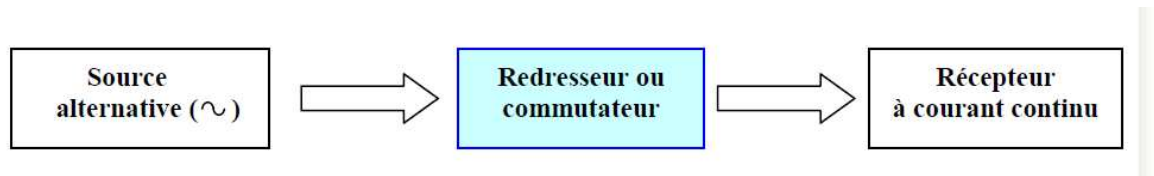


Fig. I.11 : La chaîne de conversion alternative – continue.

On tiendra toujours compte d'une tension sinusoïdale. Pour adapter les niveaux de tension, un transformateur est placé en tête de la chaîne de conversion. Le récepteur est une charge électrique qui peut comprendre une résistance (ex : chauffage industriel) ou un circuit RL, RLE (ex : machine à courant continu). Parfois, la charge est elle-même un convertisseur adaptant l'énergie continue pour alimenter un onduleur.

I. 5- Principe d'étude d'un montage redresseur :

La première étape de l'étude des montages redresseurs consiste à identifier les différentes phases de fonctionnement c'est-à-dire, les intervalles correspondant à chaque configuration d'état bloqué ou passant des composants de puissance du montage. [9]

Ensuite par chacune de ces phases, on doit :

- Ecrire des équations différentiels liant les diverses variables ;
- Résoudre les équations aux constantes d'intégrations près ;
- Assurer les conditions de continuités par l'intermédiaire de ces constantes.

I.6- Valeurs caractéristiques d'une grandeur périodique [10]:

Les courants et les tensions des montages d'électronique de puissance n'étant pas des grandeurs sinusoïdales, il est nécessaire de revenir aux définitions générales de la fonction $X(t)$ qui est périodique de période T (de fréquence $f = \frac{1}{T}$) si seulement si :

$$X(t) = X(t + T)$$

On définit alors, pour la fonction $X(t)$, les grandeurs caractéristiques suivantes :

- **La valeur moyenne :**

$$X_{moy} = \frac{1}{T} \int_T X(t) dt$$

- **La valeur efficace :**

$$X_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_T X^2(t) dt}$$

- Lors de l'étude des montages redresseurs, il est intéressant d'évaluer l'ondulation résiduelle qui caractérise la qualité du signal de sortie.

On utilise les coefficients suivant :

- **Le facteur d'ondulation :**

$$K_0 = \frac{X_{max} - X_{min}}{2X_{moy}}$$

Ou : X_{min} et X_{max} désignent respectivement les valeurs minium et maximum de $X(t)$ et X_{moy} sa valeur moyenne.

- **Le facteur de forme :**

$$F = \frac{X_{eff}}{X_{moy}}$$

- **Le taux d'ondulation :**

$$\tau = \sqrt{F^2 - 1}$$

Les puissances électriques sont par définition :

- **Puissance active :**

$$P_c = \frac{1}{T} \int_T V_c(t) i_c(t) dt$$

Ou : $V_c(t)$ et $i_c(t)$ sont respectivement les valeurs instantanées de la tension et du courant du récepteur.

- **La puissance apparente :**

$$S = q V_{seff} \times I_{seff}$$

Ou V_{seff} et I_{seff} sont respectivement les valeurs efficaces de la tension et du courant du récepteur.

q : le nombre de phases.

I.7 - Décomposition en série de Fourier :

- Définition :

Toute fonction périodique $i(t)$ de fréquence f est la somme d'un terme constant et d'une suite de fonction sinusoïdales de fréquence ; $f, 2f, 3f, \dots, nf$;

$$i(t) = A_0 + A_1 \cos(\omega t) + B_1 \sin(\omega t) + A_2 \cos(2\omega t) + B_2 \sin(2\omega t) + \dots + A_n \cos(n\omega t) + B_n \sin(n\omega t).$$

$$\text{Ou: } i(t) = A_0 + C_1 \sin(\omega t + \varphi_1) + C_2 \sin(2\omega t + \varphi_2) + \dots + C_n \sin(n\omega t + \varphi_n) + \dots$$

D'une façon condensée, on écrit :

$$i(t) = A_0 + \sum_{n=1} (A_n \cos n\omega t + B_n \sin n\omega t) + C_n \sin(n\omega t + \varphi_n)$$

$$i(t) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} C_n \sin(n\omega t + \varphi_n)$$

- Le terme constant A_0 est la valeur moyenne de la fonction $i(t)$. Il est nul si cette fonction périodique est alternative.
 - La fonction sinusoïdale de fréquence f est le terme fondamental.
 - Les fonctions sinusoïdales de fréquence, $2f, 3f, \dots, nf$ sont les harmoniques.
 - φ_n : phase de l'harmonique de rang n .
- **Calcul des coefficients de la série de Fourier :**

Soit $i(t)$ une fonction périodique de période T en temps ou de période 2π en radians ($\theta = \omega t$)

$$A_0 = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} i(\theta) d\theta$$

$$A_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} i(\theta) \cos n\theta d\theta$$

$$B_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} i(\theta) \sin n\theta d\theta$$

$$C_n^2 = A_n^2 + B_n^2$$

Et :

$$\tan \varphi_n = \frac{B_n}{A_n}$$

- **Règle simplificatrice :**

1. Si $i(\theta) = i(-\theta) \Rightarrow$ une fonction paire.

$$B_n = 0 \quad \text{et} \quad A_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} i(\theta) \cos n\theta d\theta$$

Si $i(\theta) = -i(-\theta) \Rightarrow$ une fonction impaire.

$$A_n = 0 \quad \text{et} \quad B_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} i(\theta) \sin n\theta d\theta$$

2. Si : $i(\theta + \pi) = i(\theta) \Rightarrow$

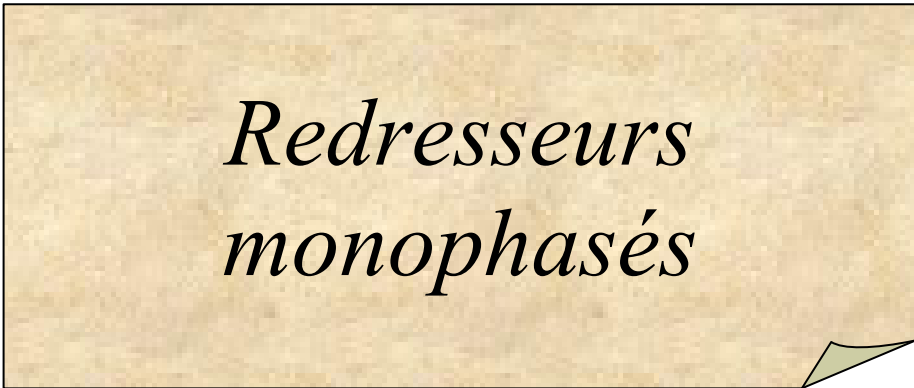
Le développement en série de Fourier de $i(t)$ ne contient que des harmoniques paires.

3. Si : $i(\theta + \pi) = -i(\theta) \Rightarrow$

Le développement en série de Fourier de $i(t)$ ne contient que des harmoniques impaires.



Chapitre II



*Redresseurs
monophasés*

Introduction :

Un redresseur relie une alimentation alternative à une charge continue, il convertit une tension alternative d'alimentation en une tension continue d'utilisation.

On peut diviser les redresseurs en deux grands groupes à savoir, les redresseurs demi-onde à une alternance (ou simple alternance) et les redresseurs pleine-onde à deux alternances (ou double alternance).

Dans ce chapitre, on va étudier un redresseur à double alternance qui comporte deux redresseuses simples alternances en série (redresseurs en pont).

Ainsi on classe les divers redresseurs selon trois catégories :

- Les redresseurs non commandés → tout diode;
- Les redresseurs totalement commandés → tout thyristor ;
- Les redresseurs semi-commandés → mixtes.

II- Redresseur monophasé double alternance :

II.1- Pont tout thyristor :

A- Schéma du montage :

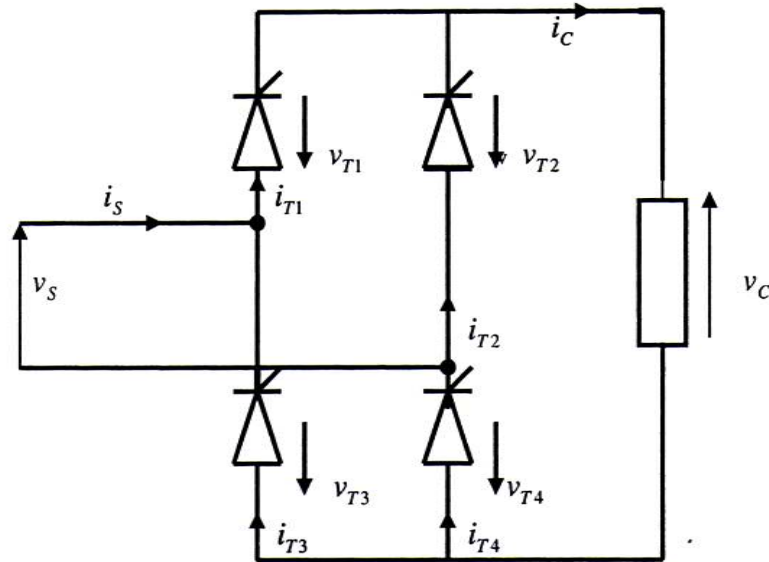


Fig. II.1 : Redresseur monophasé double alternance

• Hypothèse :

- Courant de charge parfaitement lissé.
- Composants parfaits.
- Commutation instantanée.

B- Etude du fonctionnement : (sur une période)

Pour ce type de redresseur, l'instant d'amorçage naturel α_0 est nul. Les thyristors sont débloqués avec un retard à l'amorçage (α) par rapport α_0 , c'est-à-dire que les impulsions de gâchette sont envoyées aux instants respectives α pour T1 et T4, $(\pi + \alpha)$ pour T2 et T3.

- Pour $\theta \in [\alpha, \pi + \alpha]$

$$i_s = i_c = I_c = i_{T1} = i_{T4}$$

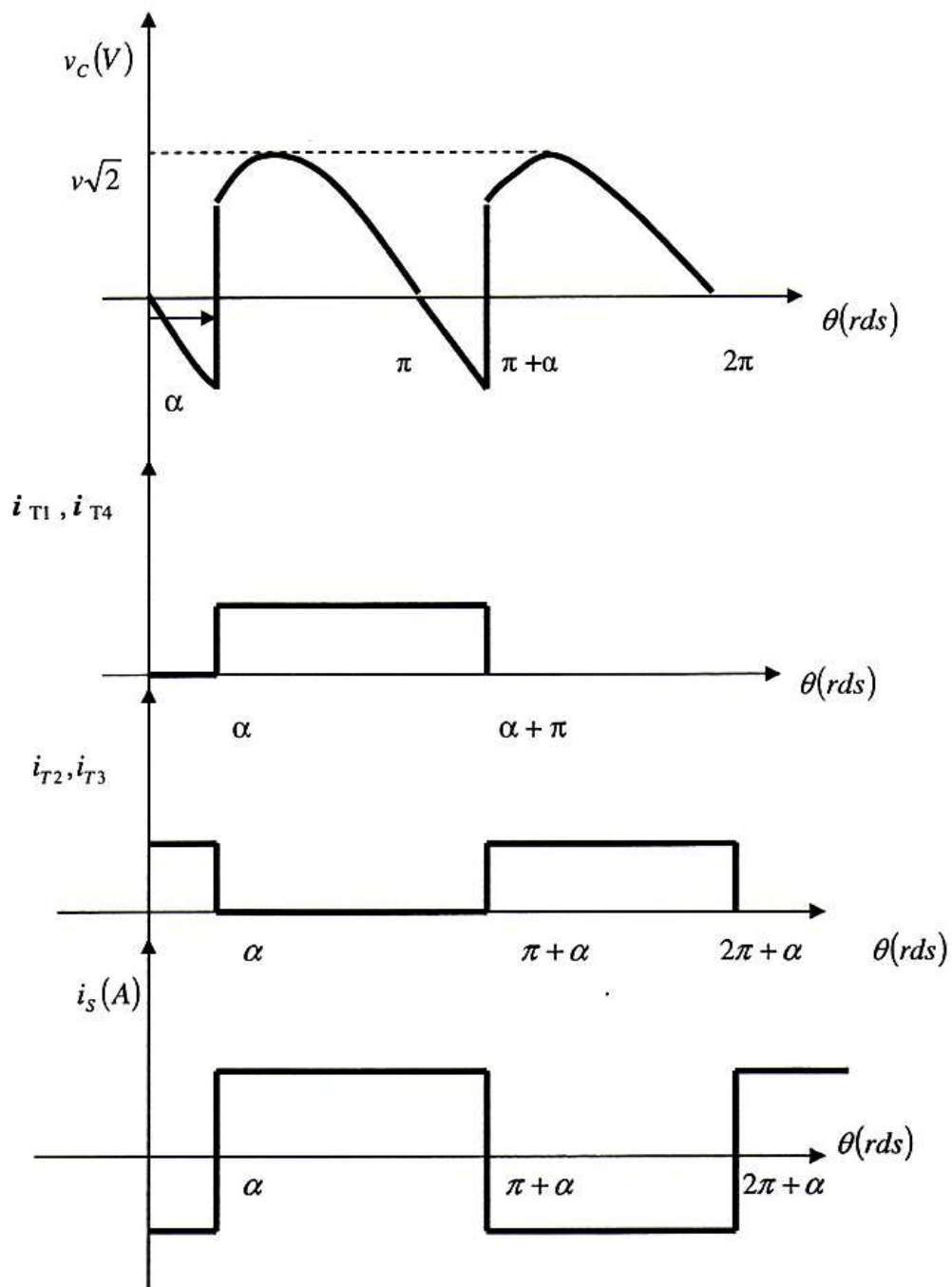
- Pour $\theta \in [\pi + \alpha, 2\pi + \alpha]$

$$-i_s = i_c = I_c = i_{T_3} = i_{T_2}$$

Tableau II.1 : Les différentes phases de fonctionnement du montage.

Intervalles	Thyristors passants	Tension aux bornes des thyristors bloqués	Tension redressée (Vc)
$\alpha \leq \theta \leq \pi + \alpha$	T ₁ et T ₄	$V_{T2} = -V_s + V_{T1} \approx -V_s$ $V_{T3} = -V_s + V_{T4} \approx -V_s$	$V_c = V_s - V_{T1} - V_{T4}$ $V_c = V_s$
$\pi + \alpha \leq \theta \leq 2\pi + \alpha$	T ₂ et T ₃	$V_{T1} = V_s$ $V_{T4} = V_s$	$V_c = -V_s$

C- Formes d'ondes :

Fig. II.2. : Allures (V_c , i_{T1} , i_{T4} , i_{T2} , i_{T3} , I_s)

D- Etude des tensions :

- **Valeur moyenne de la tension redressée :**

$$V_{cmoy} = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} V_m \sin \theta \, d\theta = \frac{2V_m}{\pi} \cos \alpha$$

- **Valeur efficace de la tension redressée :**

$$V_{ceff} = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} V_m^2 \sin^2 \theta \, d\theta$$

$$V_{ceff} = \left[\frac{V_m^2}{2\pi} \left[\frac{\pi}{2} - \frac{1}{4} (\sin 2\alpha - \sin \alpha) \right] \right]^{\frac{1}{2}}$$

E- Etude des courants :

- **Valeur maximale :**

$$I_{Tmax} = I_C$$

- **Valeur moyenne :**

$$I_{Tmoy} = \frac{1}{2\pi} \int_{2\pi} i_T(\theta) \, d\theta = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} i_c(\theta) \, d\theta = \frac{I_C}{2}$$

- **Valeur efficace :**

$$I_{ceff} = \left[\frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} I_C^2 \, d\theta \right]^{\frac{1}{2}} = \frac{I_C}{\sqrt{2}}$$

F- Bilan des puissances :

- **Puissance active :**

$$P_C = \frac{1}{\pi} \int_{\pi} v_c(\theta) i_c(\theta) \, d\theta$$

$$P_C = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} v_c(\theta) i_c(\theta) \, d\theta = V_{cmoy} I_C$$

- **Puissance réactive :**

$$Q = P_C \, \text{tg} \varphi_1$$

- **Calcul du I_{seff} :**

$$I_{seff} = \left[\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} (i_{T1} - i_{T3})^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$I_{seff} = \left[\frac{1}{2\pi} \left[\int_{\alpha}^{\pi+\alpha} I_c^2 d\theta + \int_{\alpha+\pi}^{2\pi+\alpha} I_c^2 d\theta \right] \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$I_{seff} = I_c$$

- **Calcul du I_{s1eff} :**

$i_s(\theta)$ est un signal périodique, donc il se décompose en série de Fourier.

$$i_s(\theta) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (A_n \cos n\theta + B_n \sin n\theta)$$

Avec : $\theta = \omega t$.

$$A_0 = \frac{1}{2\pi} \int_{2\pi} i_s(\theta) d\theta$$

$$A_n = \frac{1}{\pi} \int_{2\pi} i_s(\theta) \cos n\theta d\theta$$

$$B_n = \frac{1}{\pi} \int_{2\pi} i_s(\theta) \sin n\theta d\theta$$

On a : $i_{s1f}(\theta) = A_1 \cos \theta + B_1 \sin \theta = C_1 (\sin \theta + \varphi) = C_1 \sin(\theta - \varphi)$

i_{s1f} : Fondamental du courant i_s .

Avec : $A_1 = \frac{1}{\pi} \int_{2\pi} i_s(\theta) \cos \theta d\theta = -\frac{4I_c}{\pi} \sin \alpha$

$$B_1 = \frac{1}{\pi} \int_{2\pi} i_s(\theta) \sin \theta d\theta = \frac{4I_c}{\pi} \cos \alpha$$

$$C_1 = \sqrt{A_1^2 + B_1^2}$$

D'où : $\sqrt{A_1^2 + B_1^2} = I_{s1max} \Rightarrow I_{s1max} = C_1 = \frac{4I_c}{\pi} \Rightarrow I_{seff} = \frac{4I_c}{\pi\sqrt{2}}$

- **Calcul du φ_1 :**

On a : $P_c = P_s$ (Redresseur parfait)

$$\Rightarrow \frac{2V_m}{\pi} I_c \cos \alpha = \frac{V_m}{\sqrt{2}} 4 \frac{I_c}{\pi\sqrt{2}} \cos \varphi_1$$

$$\Rightarrow \cos \alpha = \cos \varphi_1 \Rightarrow \alpha = \varphi_1$$

Donc : $Q = \frac{2V_m I_c}{\pi} \sin \alpha$

- **Puissance apparente :**

$$S = V_{seff} \times I_{seff}$$

$$S = \frac{V_m}{\sqrt{2}} I_c$$

- **Facteur de puissance :**

$$f_p = \frac{p_c}{s} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \cos \alpha$$

- **Puissance déformante :**

$$D = \sqrt{S^2 - P^2 - Q^2}$$

II.2- Pont mixte monophasé :

II.2.1- Pont mixte symétrique :

A-Schéma de montage :

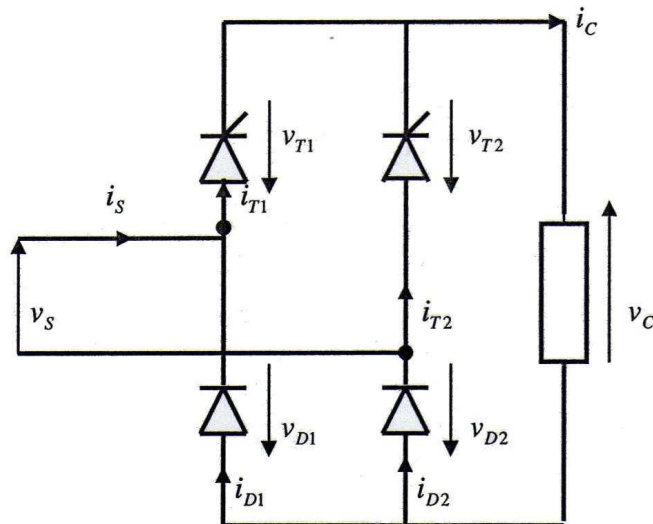


Fig. II.3 : Redresseur monophasé double alternance en pont mixte (pont symétrique)

B- Etude du fonctionnement :

Les thyristors sont débloqués avec un retard d'amorçage α , c'est-à-dire que les impulsions de déblocage sont envoyées sur les gâchettes des thyristors respectivement aux angles.

Pour T_1 $\theta = \alpha$; Pour T_2 $\theta = (\alpha + \pi)$

- Pour : $0 \leq \theta \leq \alpha$

$$i_c = I_c = i_{T_1} + i_{T_2} = i_{T_2} = i_{D_1} + i_{D_2} = i_{D_2}$$

- Pour : $\alpha \leq \theta \leq \pi$

$$i_c = I_c = i_{T_1} + i_{T_2} = i_{T_1} = i_{D_1} + i_{D_2} = i_{D_2}$$

$$i_s = i_{T_1} - i_{D_1} = i_{T_1} = i_c = I_c$$

- Pour $\pi \leq \theta \leq (\pi + \alpha)$

$$i_c = I_c = i_{T_1} + i_{T_2} = i_{T_1} = i_{D_1} + i_{D_2} = i_{D_1}$$

$$i_s = I_{T_1} - i_{D_1} = 0$$

- Pour : $(\pi + \alpha) \leq \theta \leq 2\pi$

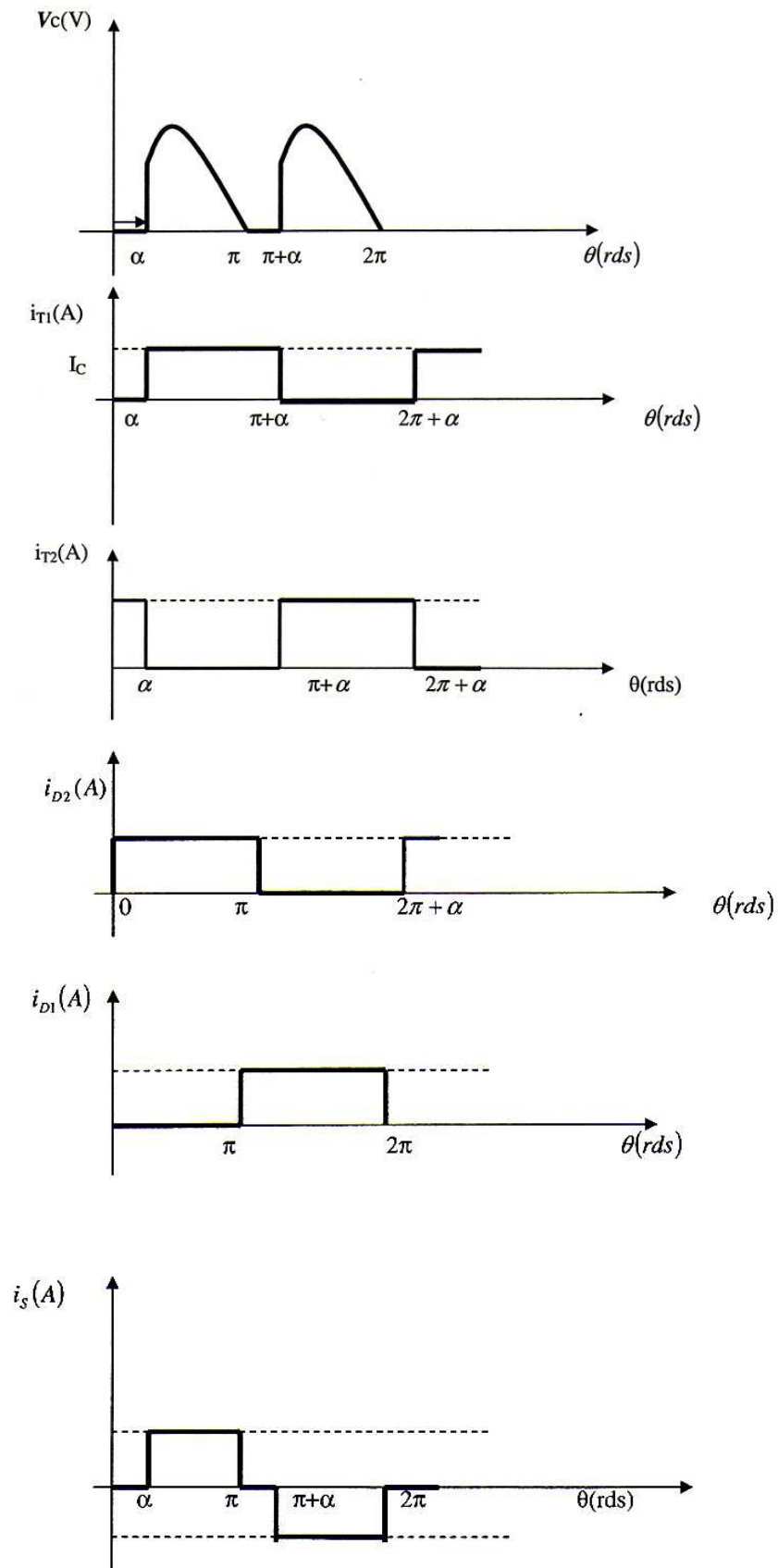
$$i_c = I_c = i_{T_1} + i_{T_2} = i_{T_2} = i_{D_1} + i_{D_2} = i_{D_1}$$

$$i_s = I_{T_1} - i_{D_1} = -i_{D_1}$$

Tableau II. 2 : Les différentes phases de fonctionnement du montage.

Intervalles	Thyristors passants	Tension aux bornes des thyristors bloqués	Tension redressée (V_c)
$0 \leq \theta \leq \pi$	T_1, D_2	$V_{T_2} = -V_s + V_{T_1} \approx -V_s$ $V_{D_1} = -V_s + V_{D_2} \approx -V_s$	$V_c = V_s - V_{T_1} - V_{D_2} \approx V_s$
$\pi \leq \theta < \pi + \alpha$	T_1, D_1	$V_{T_2} = -V_s + V_{T_1} \approx -V_s$ $V_{D_2} = -V_s + V_{D_1} \approx -V_s$	$V_c = -V_{T_1} - V_{D_1} = 0$
$\pi + \alpha \leq \theta < 2\pi$	T_2, D_1	$V_{T_1} = -V_s + V_{T_2} \approx -V_s$ $V_{D_1} = -V_s + V_{D_2} \approx -V_s$	$V_c = -V_s - V_{T_2} -$ $V_{D_1} \approx -V_s$
$2\pi \leq \theta \leq 2\pi + \alpha$	T_2, D_2	$V_{T_1} = -V_s + V_{T_2} \approx -V_s$ $V_{D_1} = -V_s + V_{D_2} \approx -V_s$	$V_c = -V_{T_2} - V_{D_2} = 0$

C- Forme d'onde :

Fig. II.4 : Allures (V_c , i_{T1} , i_{T2} , i_{D2} , i_{D1} , i_s)

D- Etude des tensions :

- Valeur moyenne de la tension redressée :

$$V_{c_{moy}} = \frac{1}{\pi} \int_{\pi} V_c(\theta) d\theta = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} V_m \sin \theta d\theta$$

$$V_{c_{moy}} = \frac{V_m}{\pi} [-\cos \theta]_{\alpha}^{\pi} = \frac{V_m}{\pi} (1 + \cos \alpha)$$

- Valeur efficace de la tension redressée :

$$V_{eff} = \left[\frac{V_m^2}{\pi} \left(\frac{\pi - \alpha}{2} + \frac{1}{4} \sin 2\alpha \right) \right]^{\frac{1}{2}}$$

- Tension inverse maximale aux bornes des thyristors bloqués :

$$V_{T_{inv_{max}}} = V_m$$

- Tension inverse maximale aux bornes des diodes bloquées :

$$V_{D_{inv_{max}}} = V_m$$

E- Etude des courants :

- Valeur moyenne du courant dans les interrupteurs :

$$I_{T_{moy}} = \frac{I_c}{2}$$

$$I_{D_{moy}} = \frac{I_c}{2}$$

- Valeur efficace du courant dans les interrupteurs :

$$I_{T_{eff}} = \frac{I_c}{\sqrt{2}} = I_{D_{eff}}$$

F- Bilan des puissances :

- Puissance active :

$$P_C = \frac{1}{\pi} \int_{\pi} V_c(\theta) I_c d\theta = V_{c_{moy}} I_C$$

- **Puissance réactive :** Après avoir calculé A_1 et B_1 on obtient $\varphi_1 = \frac{\alpha}{2}$

$$Q = P_c \tan \varphi_1 = V_{c_{moy}} I_c \tan \frac{\alpha}{2}$$

- **Puissance apparente :**

$$S = V_{seff} I_{seff} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} I_c \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi}}$$

$$\text{Avec : } I_{seff} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_{2\pi} i_s^2(\theta) d\theta} = I_c \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi}}$$

- **Puissance déformant**

$$D = \sqrt{S^2 - Q^2 - P^2}$$

- **Facteur de puissance :**

$$f_p = \frac{\sqrt{2(1+\cos \alpha)}}{\pi \sqrt{\frac{\pi-\alpha}{\pi}}}$$

II.3- Pont mixte asymétrique :

A-Schéma du montage :

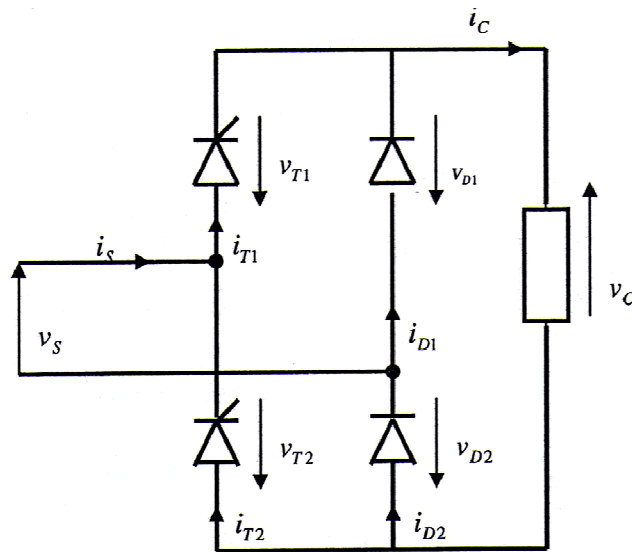


Fig. II.5 : Redresseur monophasé double alternance en pont mixte (pont asymétrique)

B-Etude du fonctionnement :

- Pour : $0 \leq \theta \leq \alpha$

$$i_c = I_c = i_{D1} = i_{D2}$$

$$i_s = i_{T1} - i_{T2} = 0$$

- Pour : $\alpha \leq \theta \leq \pi$

$$i_c = I_c = i_{T1} = i_{D2}$$

$$i_s = i_{D1} = I_c$$

- Pour : $\pi \leq \theta \leq (\pi + \alpha)$

$$i_c = I_c = i_{D1} = i_{D2}$$

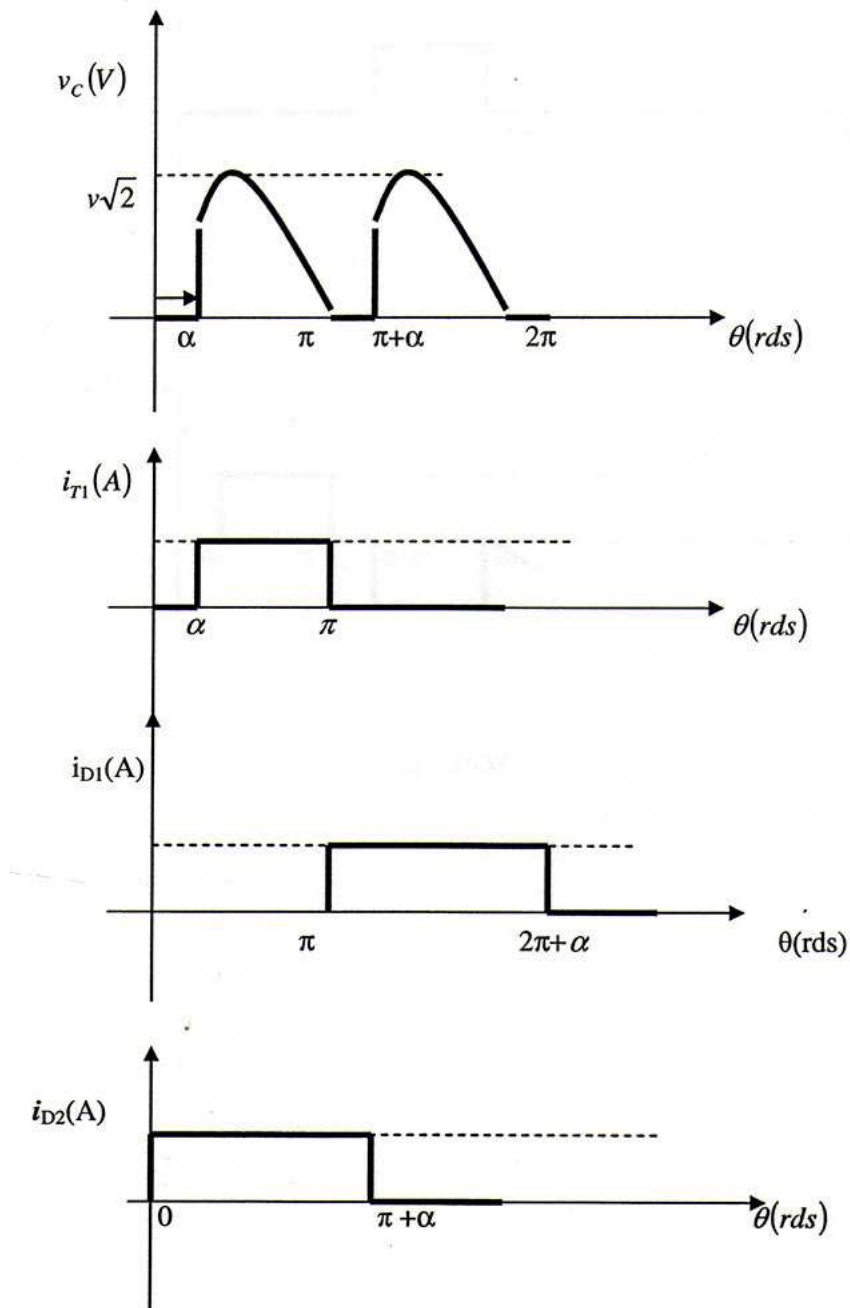
$$i_s = i_{T1} - i_{T2} = 0$$

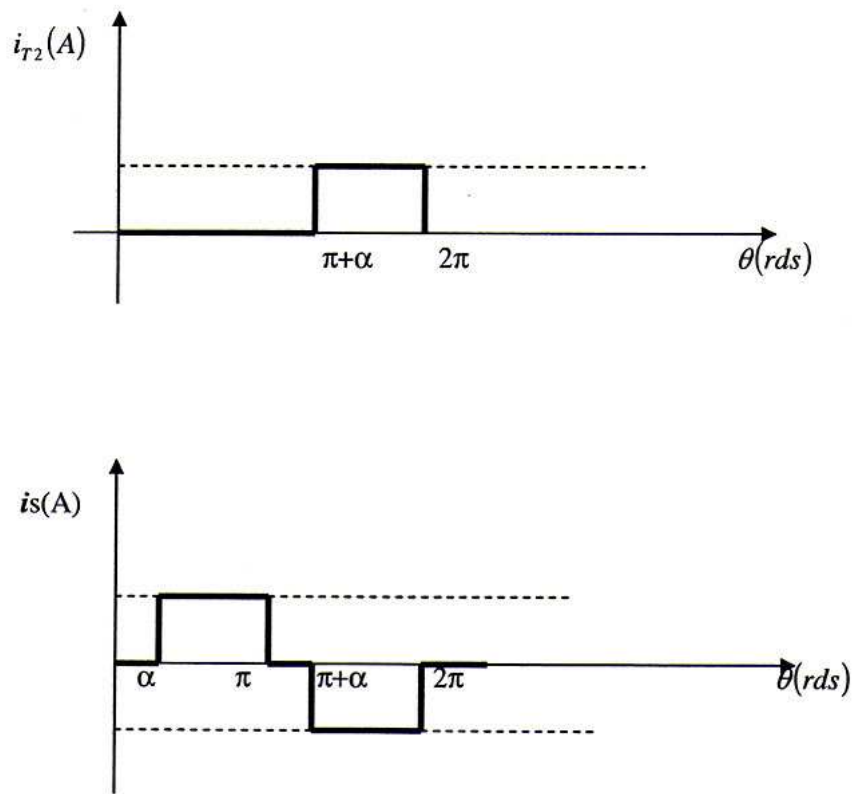
- Pour : $(\pi + \alpha) \leq \theta \leq 2\pi$

$$i_c = I_c = i_{D1} = i_{T2}$$

$$i_s = i_{T_1} - i_{T_2} = -i_{T_2} = -I_C$$

C- Forme d'onde :



Fig. II. 6 : Allures (V_c , i_{T1} , i_{D1} , i_{D2} , i_{T2} , i_s).**D-Etude des courants :**• **Diode :**

$$I_{D_{moy}} = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} I_c d\theta = \frac{1}{2\pi} (\pi + \alpha) I_c$$

$$I_{D_{eff}} = \left[\frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi+\alpha} I_c^2 d\theta \right]^{1/2}$$

$$I_{D_{eff}} = \left[\frac{I_c^2}{2\pi} (\pi + \alpha) \right]^{1/2}$$

$$I_{D_{eff}} = I_c \sqrt{\frac{\pi + \alpha}{2\pi}}$$

Les diodes doivent répondre aux contraintes maximales.

Donc :

$I_{D_{moy}}$ et $I_{D_{eff}}$ Sont maximales pour $\alpha = \pi$

$$I_{D_{moymax}} = I_c$$

$$I_{D_{effmax}} = I_c$$

- **Thyristor :**

$$I_{T_{moy}} = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} I_c d\theta = \frac{I_c}{2\pi} (\pi - \alpha)$$

$$I_{T_{eff}} = \left[\frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} I_c^2 d\theta \right]^{1/2} = \left[\frac{I_c^2}{\pi} (\pi - \alpha) \right]^{1/2}$$

$I_{T_{moy}}$ et $I_{T_{eff}}$ Sont maximales pour $\alpha = 0$

$$I_{T_{moy}} = \frac{I_c}{2}$$

$$I_{T_{eff}} = \frac{I_c}{\sqrt{2}}$$

Remarque :

Contrairement au pont mixte symétrique où les thyristors sont soumis à $I_{D_{moy}} = \frac{I_c}{2}$, $I_{D_{eff}} = \frac{I_c}{\sqrt{2}}$, dans le cas présent, elles sont soumises à $I_{D_{moymax}} = I_c$,

$I_{D_{effmax}} = I_c$ d'où un surdimensionnement du convertisseur.

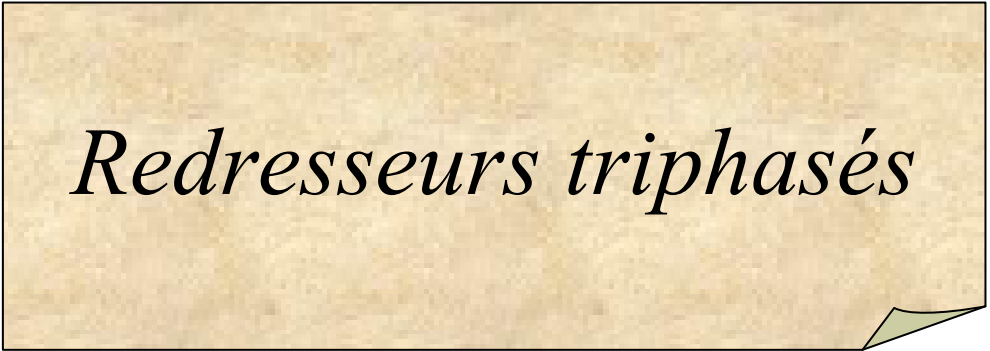
D'un point de vue bilan des puissances et des tensions moyennes, les deux montages sont équivalents.

Conclusion :

Le courant de source (i_s) généré par ce type de redresseur monophasé double alternance, ne contient que des harmoniques impairs.



Chapitre III



Redresseurs triphasés

Introduction :

Le problème des montages redresseurs en triphasé est similaire à celui posé en monophasé. Il s'agit de réaliser à partir d'un montage électronique la transformation alternative – continue, mais c'est à partir d'un réseau triphasé.

On distingue, deux types :

III.1- Redresseurs triphasés simple alternance :

C'est un redresseur permettant de redresser une source triphasée, le signal redressé a alors une fréquence trois fois supérieure au signal d'entrée.

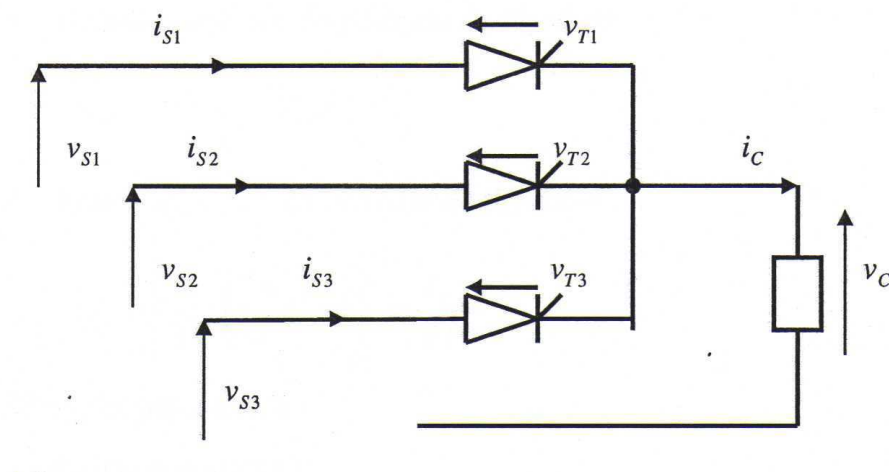
III.1.1- Redresseur commandé (à thyristors) :**A- Schéma du montage :**

Fig. III.1 : Redresseurs triphasés simple alternance.

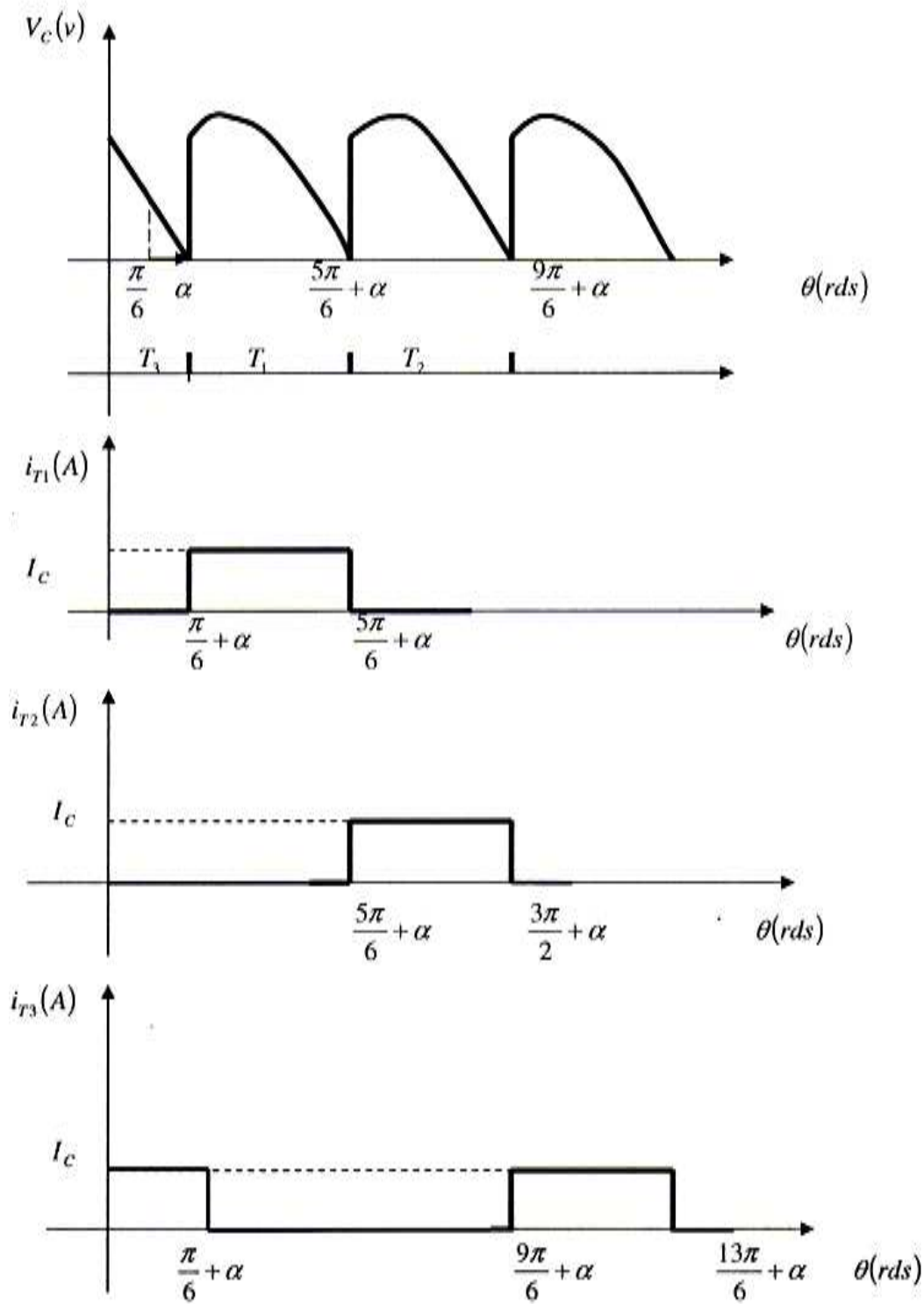
Hypothèse :

- Thyristors parfaits ;
- Courant de charge parfaitement lissé ;
- Commutation instantané.

B- Etude du fonctionnement :**Tableau III.1 : Les différentes phases de fonctionnement du montage.**

Intervalles	Thyristors passants	Tensions aux bornes des thyristors bloqués	Tension redressée
$\frac{\pi}{6} + \alpha \leq \theta < \frac{5\pi}{6} + \alpha$	T_1	$V_{T_3} = V_{T_1} - V_{S_1} - V_{S_2} \approx V_{S_2} - V_{S_1}$ $V_{T_3} = V_{T_1} - V_{S_1} - V_{S_2} + V_{S_3} \approx V_{S_3} - V_{S_1}$	$V_C = V_{S_1} - V_{T_1} \approx V_{S_1}$
$\frac{5\pi}{6} + \alpha \leq \theta < \frac{3\pi}{2} + \alpha$	T_2	$V_{T_1} = V_{T_2} - V_{S_2} - V_{S_1} \approx V_{S_1} - V_{S_2}$ $V_{T_3} = V_{T_2} - V_{S_2} - V_{S_3} \approx V_{S_3} - V_{S_2}$	$V_C = V_{S_2} - V_{T_2} \approx V_{S_2}$
$\frac{5\pi}{2} + \alpha \leq \theta < \frac{3\pi}{6} + \alpha$	T_3	$V_{T_1} = V_{T_3} - V_{S_3} - V_{S_1} \approx V_{S_1} - V_{S_3}$ $V_{T_2} = V_{T_3} - V_{S_3} - V_{S_2} \approx V_{S_2} - V_{S_3}$	$V_C = V_{S_3} - V_{T_2} \approx V_{S_3}$

C- Formes d'ondes :

Fig. III.2 : Allures(V_c , i_{T1} , i_{D1} , i_{D2} , i_{T2} , i_{T3})

D- Etude des tensions :

- Valeur moyenne de la tension de charge :

$$V_{C moy} = \frac{3}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{6}+\alpha}^{\frac{5\pi}{6}+\alpha} V_m \sin \theta d\theta = \frac{3\sqrt{3}V_m}{2\pi} \cos \alpha$$

- Valeur efficace de la tension de charge :

$$V_{ceff} = \sqrt{\frac{3}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{6}+\alpha}^{\frac{5\pi}{6}+\alpha} V_m^2 \sin^2 \theta d\theta}$$

$$V_{ceff} = \sqrt{\frac{3}{2\pi} \left(\frac{\pi}{3} + \frac{\sqrt{3}}{4} \cos 2\alpha \right)}$$

- Tension inverse maximale aux bornes des thyristors :

$$V_{TinV max} = V_m \sqrt{3}$$

E- Etude des courants :

- Valeur moyenne du courant de thyristor :

$$I_{T moy} = \frac{1}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{6}+\alpha}^{\frac{5\pi}{6}+\alpha} I_C d\theta = \frac{I_C}{3}$$

- Valeur efficace du courant de thyristor :

$$I_{Teff} = \left[\frac{1}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{6}+\alpha}^{\frac{5\pi}{6}+\alpha} I_C^2 d\theta \right]^{\frac{1}{2}} = \frac{I_C}{\sqrt{3}}$$

F- Bilan des puissances :

- **Puissance active :**

$$P_c = \frac{3}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{3}}^{\frac{5\pi}{3}} V_c(\theta) i_c(\theta) d\theta$$

$$P_c = \frac{3}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{6}+\alpha}^{\frac{5\pi}{6}+\alpha} V_{s_1}(\theta) I_c(\theta) d\theta = \frac{3V_m\sqrt{3}}{2\pi} I_c \cos \alpha$$

- **Puissance réactive :**

$$Q = P_c \tan \varphi_1$$

- **Calcul de φ_1 :**

$i_{s_1}(\theta)$ Est une fonction périodique de période $T = 2\pi$, donc elle est décomposable en série de Fourier, son fondamental (i_{s_1f}) s'écrit sous la forme suivante :

$$i_{s_1f}(\theta) = A_1 \cos \theta + B_1 \sin \theta = C_1 \sin(\theta - \varphi_1)$$

Avec : $C_1 = \sqrt{A_1^2 + B_1^2}$

$$A_1 = \frac{1}{\pi} \int_{2\pi} i_{s_1}(\theta) \cos \theta d\theta$$

$$B_1 = \frac{1}{\pi} \int_{2\pi} i_{s_1}(\theta) \sin \theta d\theta$$

$$A_1 = \frac{1}{\pi} \int_{\frac{\pi}{6}+\alpha}^{\frac{5\pi}{6}+\alpha} I_c \cos \theta d\theta = \frac{2I_c\sqrt{3}}{2\pi} \sin \alpha$$

$$B_1 = \frac{1}{\pi} \int_{\frac{\pi}{6}+\alpha}^{\frac{5\pi}{6}+\alpha} I_c \sin \theta d\theta = \frac{I_c\sqrt{3}}{\pi} \cos \alpha$$

$$\varphi_1 = \arctg \frac{A_1}{B_1} = \alpha$$

D'ou $Q = \frac{3\sqrt{3}V_m I_c}{2\pi} \sin \alpha$

- **Puissance apparente :**

$$S = 3 V_m I_{s1_{eff}} = \frac{\sqrt{3} V_m}{\sqrt{2}} I_c$$

- **Puissance déformante :**

$$D = \sqrt{S^2 - P_c^2 - Q^2}$$

- **Facteur de puissance :**

$$f_p = \frac{P_c}{S} = \frac{3}{\sqrt{2}\pi} \cos \alpha$$

Remarque :

On notera pour ce type de redresseur triphasé simple alternance, que le courant de source ne contient pas des harmoniques pairs et les harmoniques de rang 3 et ses multiples, Par contre, ce courant présente une valeur moyenne.

III.2-Redresseur triphasé double alternance :

Un redresseur triphasé double alternance est un redresseur permettant de redresser une source triphasé, le signal redressé a alors une fréquence six fois supérieure au signal d'entrée.

III.2-1-Pont tout thyristor :

A-Schéma du montage :

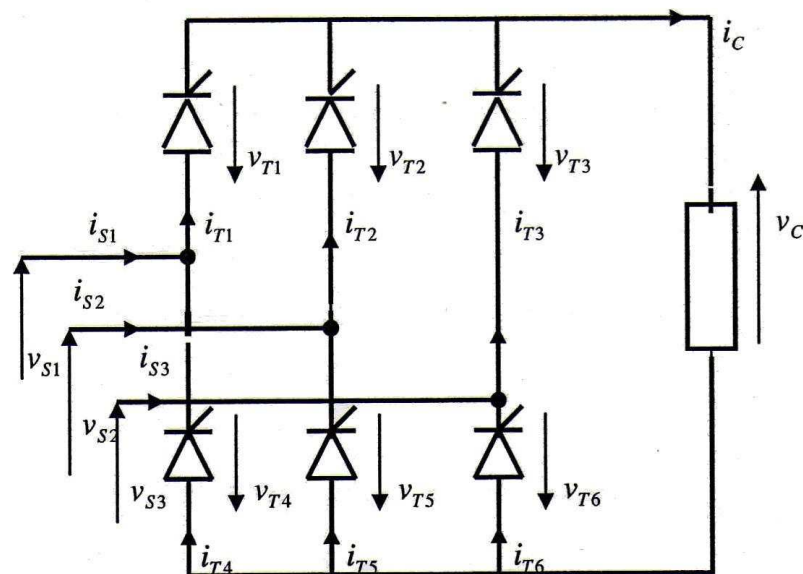


Fig.III.2 : Redresseur triphasé double alternance pont tout thyristor.

B- Etude du fonctionnement : $\alpha_0 = \frac{\pi}{6}$, $\alpha = \frac{\pi}{3}$

Tableau.III.2 : Les différentes phases de fonctionnement du montage.

Intervalles	Thyristors passants	Tensions aux bornes des thyristors bloqués	Tension redressée
$\alpha_0 + \alpha \leq \theta \leq \alpha_0 + \alpha + \frac{\pi}{3}$	T_1, T_5	$V_{T_2} = V_{s2} - V_{s1},$ $V_{T_3} = V_{s3} - V_{s1},$ $V_{T_4} = V_{s2} - V_{s1},$ $V_{T_6} = V_{s2} - V_{s3}$	$V_c = V_{s1} - V_{s2} = U_{12}$
$\alpha_0 + \alpha + \frac{\pi}{3} \leq \theta \leq \alpha_0 + \alpha + \frac{2\pi}{3}$	T_1, T_6	$V_{T_2} = V_{s2} - V_{s1},$ $V_{T_3} = V_{s3} - V_{s1},$ $V_{T_5} = V_{s3} - V_{s2},$ $V_{T_4} = V_{s3} - V_{s1}$	$V_c = V_{s1} - V_{s3} = U_{13}$
$\alpha_0 + \alpha + \frac{2\pi}{3} \leq \theta \leq \alpha_0 + \alpha + \pi$	T_2, T_6	$V_{T_1} = V_{s1} - V_{s2},$ $V_{T_3} = V_{s3} - V_{s2},$ $V_{T_4} = V_{s3} - V_{s2},$ $V_{T_5} = V_{s3} - V_{s2}$	$V_c = V_{s2} - V_{s3} = U_{23}$
$\alpha_0 + \alpha + \pi \leq \theta \leq \alpha_0 + \alpha + \frac{4\pi}{3}$	T_2, T_4	$V_{T_1} = V_{s1} - V_{s2},$ $V_{T_3} = V_{s3} - V_{s2},$ $V_{T_4} = V_{s1} - V_{s2},$ $V_{T_6} = V_{s1} - V_{s3}$	$V_c = V_{s2} - V_{s1} = U_{21}$
$\alpha_0 + \alpha + \frac{4\pi}{3} \leq \theta \leq \alpha_0 + \alpha + \frac{5\pi}{3}$	T_3, T_4	$V_{T_1} = V_{s1} - V_{s3},$ $V_{T_2} = V_{s2} - V_{s3},$ $V_{T_5} = V_{s1} - V_{s2},$ $V_{T_6} = V_{s1} - V_{s3}$	$V_c = V_{s3} - V_{s1} = U_{31}$
$\alpha_0 + \alpha + \frac{5\pi}{3} \leq \theta \leq \alpha_0 + \alpha + 2\pi$	T_3, T_5	$V_{T_1} = V_{s1} - V_{s3},$ $V_{T_2} = V_{s2} - V_{s3},$ $V_{T_4} = V_{s2} - V_{s1},$ $V_{T_6} = V_{s2} - V_{s3}$	$V_c = V_{s3} - V_{s2} = U_{32}$

Pour : $0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{6}$

$$i_{s_1} = i_{T_1} - i_{T_4} = -i_{T_4} = -i_c = -I_c$$

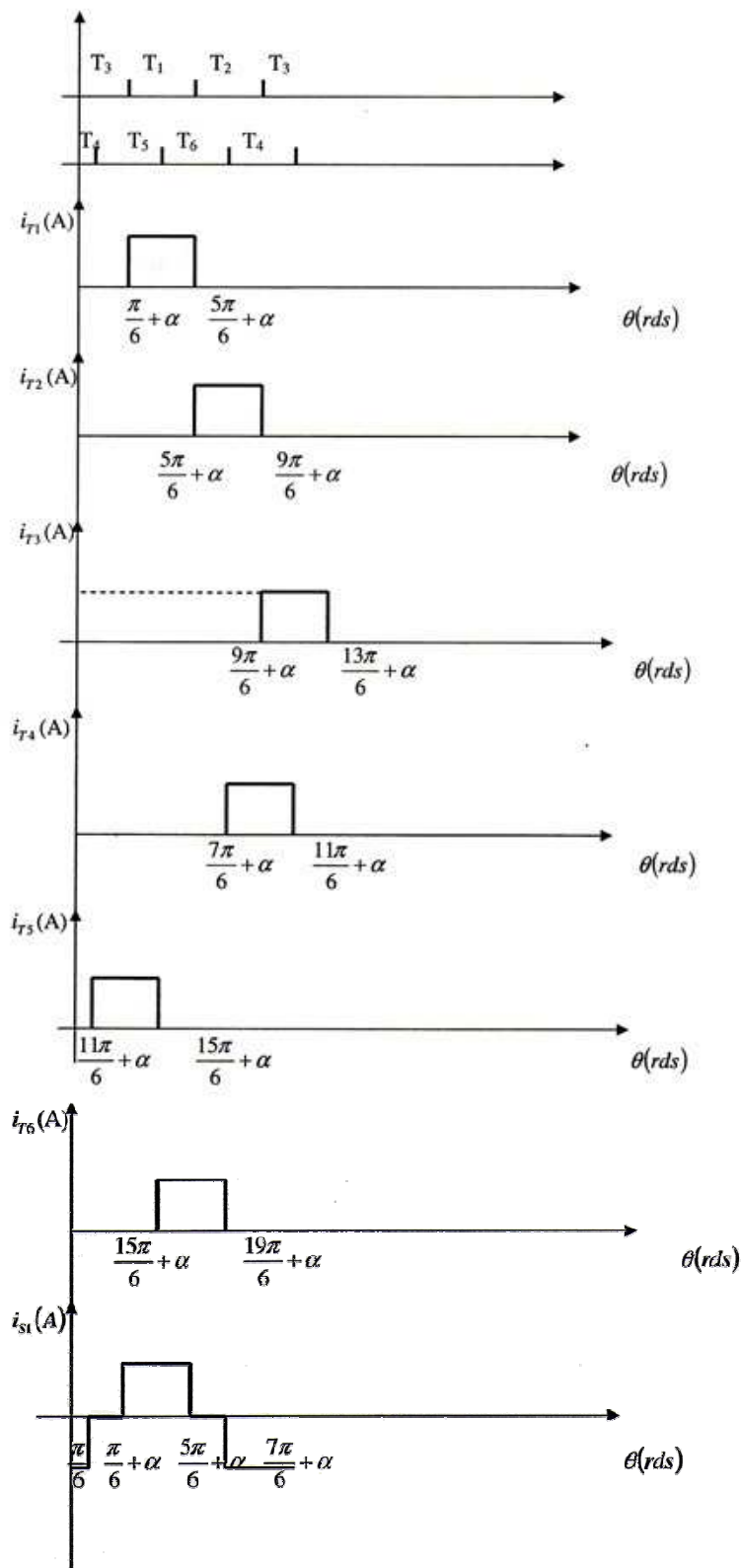
Pour : $\frac{\pi}{6} + \alpha \leq \theta \leq \frac{5\pi}{6} + \alpha$

$$i_{s_1} = i_{T_1} - i_{T_4} = i_{T_1} = i_c = I_c$$

Pour : $\frac{7\pi}{6} + \alpha \leq \theta \leq \frac{11\pi}{6} + \alpha$

$$i_{s_1} = i_{T_1} - i_{T_4} = -i_{T_4} = -i_c = -I_c$$

C-Forme d'ondes :

Fig. III.3 : Allures (i_{T1} , i_{T2} , i_{T3} , i_{T4} , i_{T5} , i_{T6})

D-Etude des tensions :

- **Valeur moyenne de la tension de charge :**

$$V_{c_{moy}} = \int_{\frac{\pi}{6}+\alpha}^{\frac{\pi}{2}+\alpha} U_{12}(\theta) d\theta = \frac{3\sqrt{3} V_m}{\pi} \int_{\frac{\pi}{6}+\alpha}^{\frac{\pi}{2}+\alpha} \sin(\theta + \frac{\pi}{6}) d\theta$$

$$V_{c_{moy}} = \frac{3\sqrt{3} V_m}{\pi} \cos \alpha$$

Avec : $V_m = \sqrt{2} V$

- **Valeur efficace de la tension de charge :**

$$V_{c_{eff}}^2 = \frac{3}{\pi} \int_{\frac{\pi}{6}+\alpha}^{\frac{\pi}{2}+\alpha} U_{12}^2 d\theta = \frac{3\sqrt{3} V_m}{\pi} \int_{\frac{\pi}{6}+\alpha}^{\frac{\pi}{2}+\alpha} \sin^2(\theta + \frac{\pi}{6}) d\theta$$

$$V_{c_{eff}} = \frac{3 V_m}{\sqrt{\pi}} \left[\frac{\pi}{6} + \frac{\sqrt{3}}{4} \cos 2\alpha \right]^{1/2}$$

- **Tension inverse maximale aux bornes des thyristors :**

$$V_{T_{inv_{max}}} = \sqrt{3} V_m$$

E- Etude des courants :

- **Valeur moyenne du courant du thyristor :**

$$I_{T_{moy}} = \frac{1}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{2}}^{\frac{7\pi}{6}} I_C d\theta = \frac{I_C}{3}$$

- **Valeur efficace du courant du thyristor :**

$$I_{T_{eff}} = \left[\frac{1}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{2}}^{\frac{7\pi}{6}} I_C^2 d\theta \right]^{\frac{1}{2}} = \frac{I_C}{\sqrt{3}}$$

F- Bilan des puissances :

- **Puissance active :**

$$P_c = \frac{3}{\pi} \int_{\frac{\pi}{6}+\alpha}^{\frac{\pi}{2}+\alpha} U_{12}(\theta) I_c(\theta) d\theta = I_c V_{c_{moy}} = \frac{3V_m\sqrt{3}}{2\pi} I_c \cos \alpha$$

- **Puissance réactive :**

$$Q = P_c \tan \varphi_1$$

- **Calcul de φ_1 :**

$i_{s1}(\theta)$ Est une fonction périodique de période $T = 2\pi$, donc elle est décomposable en série de Fourier, son fondamental (i_{s1f}) s'écrit sous la forme suivante :

$$i_{s1f}(\theta) = A_1 \cos \theta + B_1 \sin \theta$$

$$\text{Avec : } A_1 = \frac{1}{\pi} \left[\int_{\frac{\pi}{6}+\alpha}^{\frac{\pi}{6}+\alpha+\frac{2\pi}{3}} I_c \cos \theta d\theta - \int_{\frac{\pi}{6}+\alpha+\pi}^{\frac{\pi}{6}+\alpha+\frac{2\pi}{3}+\pi} I_c \cos \theta d\theta \right]$$

$$\Rightarrow A_1 = \frac{2\sqrt{3}}{\pi} I_c \sin \alpha$$

$$\text{Et } B_1 = \frac{1}{\pi} \left[\int_{\frac{\pi}{6}+\alpha}^{\frac{\pi}{6}+\alpha+\frac{2\pi}{3}} I_c \sin \theta d\theta - \int_{\frac{\pi}{6}+\alpha+\pi}^{\frac{\pi}{6}+\alpha+\frac{2\pi}{3}+\pi} I_c \sin \theta d\theta \right]$$

$$\Rightarrow B_1 = \frac{2\sqrt{3}}{\pi} I_c \cos \alpha$$

$$\tan \varphi_1 = \frac{A_1}{B_1} = \tan \alpha \Rightarrow \varphi_1 = \alpha$$

$$\text{D'où : } Q = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} V_m I_c \sin \alpha$$

- **Puissance apparente :**

$$S = 3 V_{seff} I_{seff} = \frac{3 V_m}{\sqrt{2}} \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} I_c = V_m \sqrt{3} I_c$$

$$I_{seff} = \left[\frac{1}{2\pi} \int_{\alpha_0+\alpha+\pi}^{\alpha_0+\alpha+\pi+\frac{2\pi}{3}} I_c^2 d\theta \right]^{\frac{1}{2}} \Rightarrow I_{seff} = \sqrt{\frac{2}{3}} I_c \quad (\text{Pour } \alpha \leq \frac{\pi}{3})$$

- **Puissance déformante :**

$$D = \sqrt{S^2 - P_c^2 - Q^2}$$

- **Facteur de puissance :**

$$f_p = \frac{P_c}{S} = \frac{\frac{3\sqrt{3} V_{mI_c} \cos \alpha}{\pi}}{\sqrt{3} V_{mI_c}} = \frac{3}{\pi} \cos \alpha$$

Remarque :

D'après ce type de montage redresseur triphasé double alternance à thyristor, on remarque bien l'absence des l'harmoniques pairs et ceux impairs de rang 3 et de ses multiples du courant de source, et ce courant ne présente pas de composante continue.

III.2-2-Pont mixte :

A-Schéma du montage :

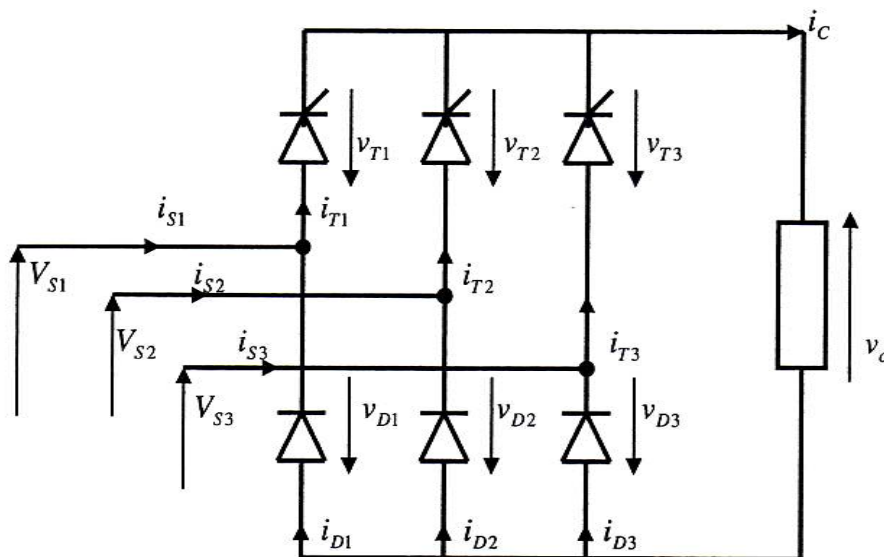


Fig.III.4-Redresseur triphasé double alternance en pont mixte.

B-Etude du fonctionnement : $\alpha = \frac{\pi}{2}$

Tableau III.3 : Les différentes phases de fonctionnement du montage.

Intervalles	Composants passants	Tensions aux bornes des composants bloqués	Tension redressée
$\alpha_0 + \alpha \leq \theta \leq \alpha_0 + \alpha + \frac{\pi}{2}$	T_1, D_3	$V_{T_2} = V_{s2} - V_{s1},$ $V_{T_3} = V_{s3} - V_{s1},$ $V_{D_1} = V_{s3} - V_{s1},$ $V_{D_2} = V_{s3} - V_{s2}$	$V_c = V_{s1} - V_{s3} = U_{13}$
$\alpha_0 + \alpha + \frac{\pi}{2} \leq \theta \leq \alpha_0 + \alpha + \frac{2\pi}{3}$	T_1, D_1	$V_{T_2} = V_{s2} - V_{s1},$ $V_{T_3} = V_{s3} - V_{s1},$ $V_{D_2} = V_{s1} - V_{s2},$ $V_{D_3} = V_{s1} - V_{s3}$	$V_c = V_{s1} - V_{s1} = 0$
$\alpha_0 + \alpha + \frac{2\pi}{3} \leq \theta \leq \alpha_0 + \alpha + \frac{7\pi}{6}$	T_2, D_1	$V_{T_1} = V_{s1} - V_{s2},$ $V_{T_3} = V_{s3} - V_{s2},$ $V_{D_2} = V_{s1} - V_{s2},$ $V_{D_3} = V_{s1} - V_{s3}$	$V_c = V_{s2} - V_{s1} = U_{21}$
$\alpha_0 + \alpha + \frac{7\pi}{6} \leq \theta \leq \alpha_0 + \alpha + \frac{4\pi}{3}$	T_2, D_2	$V_{T_1} = V_{s1} - V_{s2},$ $V_{T_3} = V_{s3} - V_{s2},$ $V_{D_1} = V_{s2} - V_{s1},$ $V_{D_3} = V_{s2} - V_{s3}$	$V_c = V_{s2} - V_{s2} = 0$
$\alpha_0 + \alpha + \frac{4\pi}{3} \leq \theta \leq \alpha_0 + \alpha + \frac{11\pi}{6}$	T_3, D_2	$V_{T_1} = V_{s1} - V_{s3},$ $V_{T_2} = V_{s2} - V_{s3},$ $V_{D_1} = V_{s2} - V_{s1},$ $V_{D_3} = V_{s2} - V_{s3}$	$V_c = V_{s3} - V_{s2} = U_{32}$
$\alpha_0 + \alpha + \frac{11\pi}{6} \leq \theta \leq \alpha_0 + \alpha + 2\pi$	T_3, D_3	$V_{T_1} = V_{s1} - V_{s3},$ $V_{T_2} = V_{s2} - V_{s3},$ $V_{D_1} = V_{s3} - V_{s1},$ $V_{D_2} = V_{s3} - V_{s2}$	$V_c = V_{s3} - V_{s3} = 0$

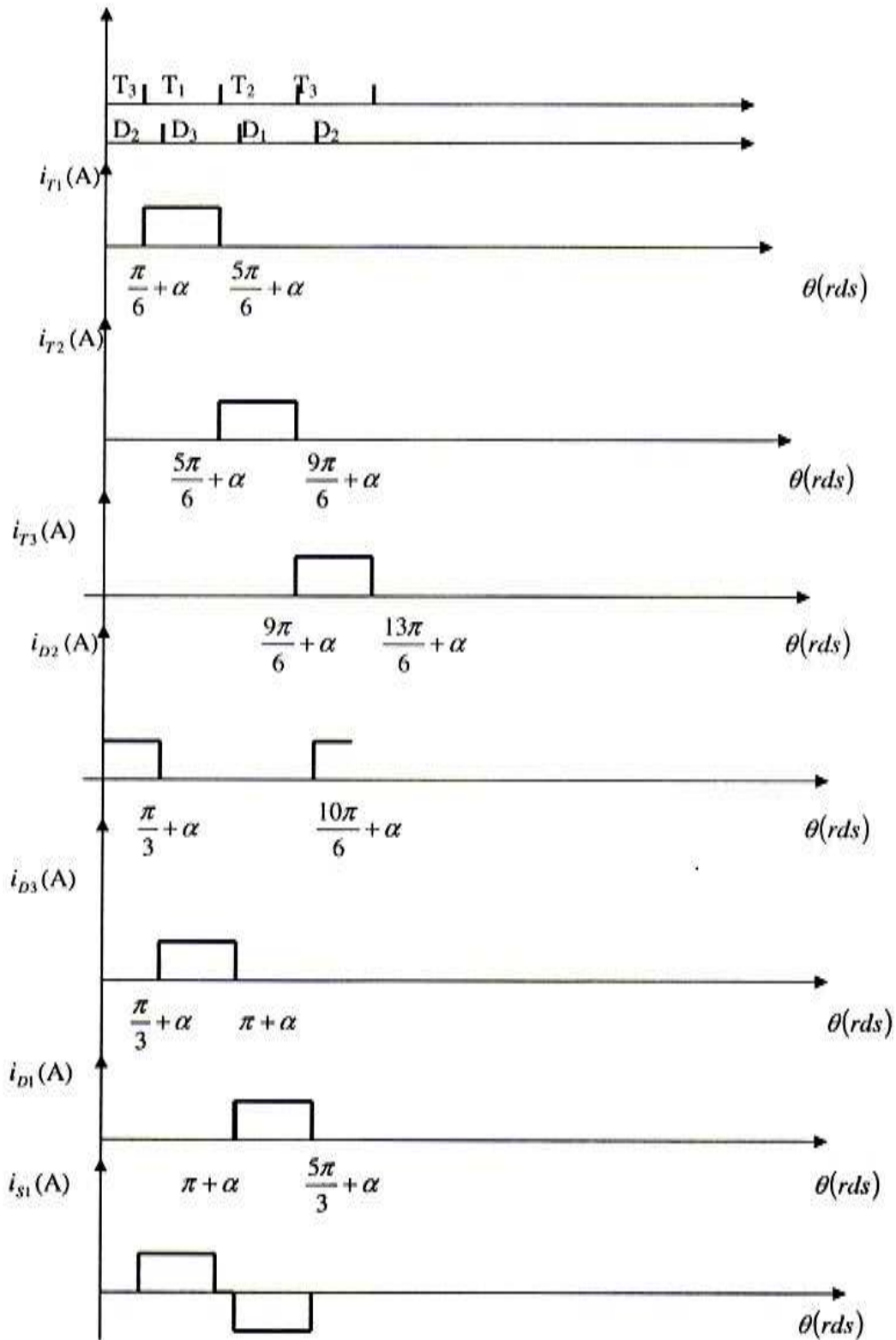
Pour : $\frac{\pi}{6} + \alpha \leq \theta \leq \frac{5\pi}{6} + \alpha$

$$i_{s1} = i_{T_1} - i_{D_1} = i_{T_1} = i_c = I_c$$

Pour : $\pi + \alpha \leq \theta \leq \frac{5\pi}{3} + \alpha$

$$i_{s1} = i_{T_1} - i_{D_1} = -i_{D_1} = -i_c = -I_c$$

C-Forme d'ondes :

Fig. III.5 : Allures (i_{T1} , i_{T2} , i_{T3} , i_{D2} , i_{D3} , i_{D1})

D- Etude des tensions :

- Valeur moyenne de la tension de charge :

$$V_{c_{moy}} = \frac{3}{2\pi} \left[\int_{\frac{\pi}{6}+\alpha}^{\frac{\pi}{2}} U_{12} d\theta + \int_{\frac{\pi}{2}}^{\frac{5\pi}{6}+\alpha} U_{13} d\theta \right] = \frac{3\sqrt{3} V_m}{\pi} \left[\int_{\frac{\pi}{6}+\alpha}^{\frac{\pi}{2}} \sin(\theta + \frac{\pi}{6}) d\theta - \int_{\frac{\pi}{2}}^{\frac{5\pi}{6}+\alpha} \sin(\theta + \frac{\pi}{6} - \frac{4\pi}{3}) d\theta \right]$$

$$\Rightarrow V_{c_{moy}} = \frac{3\sqrt{3} V_m}{\pi} \left[\frac{1+\cos \alpha}{2} \right]$$

- Valeur efficace de la tension de charge :

$$V_{c_{eff}} = \sqrt{\frac{3}{2\pi} \left[\int_{\frac{\pi}{6}+\alpha}^{\frac{\pi}{2}} U_{12}^2 d\theta + \int_{\frac{\pi}{2}}^{\frac{5\pi}{6}+\alpha} U_{13}^2 d\theta \right]}$$

$$V_{c_{eff}} = \sqrt{\frac{3V_m^2}{2\pi} \left[\frac{\pi}{3} + \frac{\sqrt{3}}{4} \cos 2\alpha \right]}$$

- Tension inverse maximale aux bornes des composants :

$$V_{T_{inv_{max}}} = V_{D_{inv_{max}}} = \sqrt{3} V_m$$

E- Etude des courants :

- Valeur moyenne du courant du thyristor :

$$I_{T1_{moy}} = \frac{1}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{6}+\alpha}^{\frac{\pi}{6}+\alpha+\frac{2\pi}{3}} I_c d\theta = \frac{I_c}{3}$$

- Valeur efficace du courant du thyristor :

$$I_{T1_{eff}} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{6}+\alpha}^{\frac{\pi}{6}+\alpha+\frac{2\pi}{3}} I_c^2 d\theta} = \frac{I_c}{\sqrt{3}}$$

F- Bilan des puissances :

- Puissance active :

$$P_C = \frac{3}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{6}+\alpha}^{\frac{\pi}{6}+\alpha+\frac{2\pi}{3}} V_c(\theta) I_c(\theta) d\theta = I_c V_{c_{moy}} = \frac{3V_m\sqrt{3}}{2\pi} I_c \left[\frac{1+\cos\alpha}{2} \right]$$

- **Puissance réactive :**

$$Q = P_c \tan \varphi_1$$

- **Calcul de φ_1 :**

$i_{s1}(\theta)$ Est une fonction périodique de période $T = 2\pi$, donc elle est décomposable en série de Fourier

$$i_{s1}(\theta) = A_1 \cos \theta + B_1 \sin \theta$$

$$\text{Avec : } A_1 = \frac{1}{\pi} \int_{2\pi} I_c \cos \theta d\theta$$

$$A_1 = \frac{1}{\pi} \left[\int_{\frac{\pi}{6}+\alpha}^{\frac{\pi}{6}+\alpha+\frac{2\pi}{3}} I_c \cos \theta d\theta - \int_{\frac{\pi}{6}+\alpha+\pi}^{\frac{\pi}{6}+\alpha+\frac{2\pi}{3}+\pi} I_c \cos \theta d\theta \right]$$

$$\Rightarrow A_1 = \frac{2\sqrt{3}}{\pi} I_c \cos \frac{\alpha}{2} \sin \frac{\alpha}{2}$$

$$\text{Et } B_1 = \frac{1}{\pi} \int_{2\pi} I_c \sin \theta d\theta$$

$$B_1 = \frac{1}{\pi} \left[\int_{\frac{\pi}{6}+\alpha}^{\frac{\pi}{6}+\alpha+\frac{2\pi}{3}} I_c \sin \theta d\theta - \int_{\frac{\pi}{6}+\alpha+\pi}^{\frac{\pi}{6}+\alpha+\frac{2\pi}{3}+\pi} I_c \sin \theta d\theta \right]$$

$$\Rightarrow B_1 = \frac{2\sqrt{3}}{\pi} I_c \cos \frac{\alpha}{2} \sin \frac{\alpha}{2}$$

$$\tan \varphi_1 = \frac{A_1}{B_1} = \tan \frac{\alpha}{2} \Rightarrow \varphi_1 = \frac{\alpha}{2}$$

$$\text{D'où : } Q = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} V_m I_c \left[\frac{1+\cos\alpha}{2} \right] \tan \frac{\alpha}{2}$$

- **Puissance apparente :**

$$S = 3 V_{s_{eff}} I_{s_{eff}}$$

$$I_{s_{eff}} = \left[\frac{1}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{6}+\alpha}^{\frac{\pi}{6}+\alpha+\frac{2\pi}{3}} I_c^2 d\theta + \int_{\frac{\pi}{6}+\alpha+\pi}^{\frac{\pi}{6}+\alpha+\frac{2\pi}{3}+\pi} I_c^2 d\theta \right] \Rightarrow I_{s_{eff}} = \sqrt{\frac{2}{3}} I_c$$

$$\text{D'où : } S = 3 \frac{V_m \sqrt{2}}{3} I_c = \sqrt{2} V_m I_c$$

- **Puissance déformante :**

$$D = \sqrt{S^2 - P_c^2 - Q^2}$$

- **Facteur de puissance :**

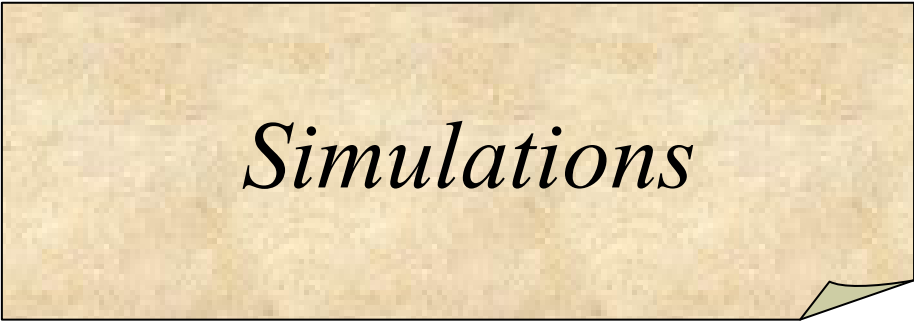
$$f_p = \frac{P_c}{S} = \frac{3}{\pi} \left[\frac{1 + \cos \alpha}{2} \right]$$

Conclusion :

On conclue parmi les déférents montages redresseurs étudié, que les redresseurs triphasés double alternance à pont tout thyristor qui ont moins d'harmoniques du courant de source et ce courant ne présente pas de composante continue, alors c'est type le plus préférable pour l'utilisation.



Chapitre IV



Simulations

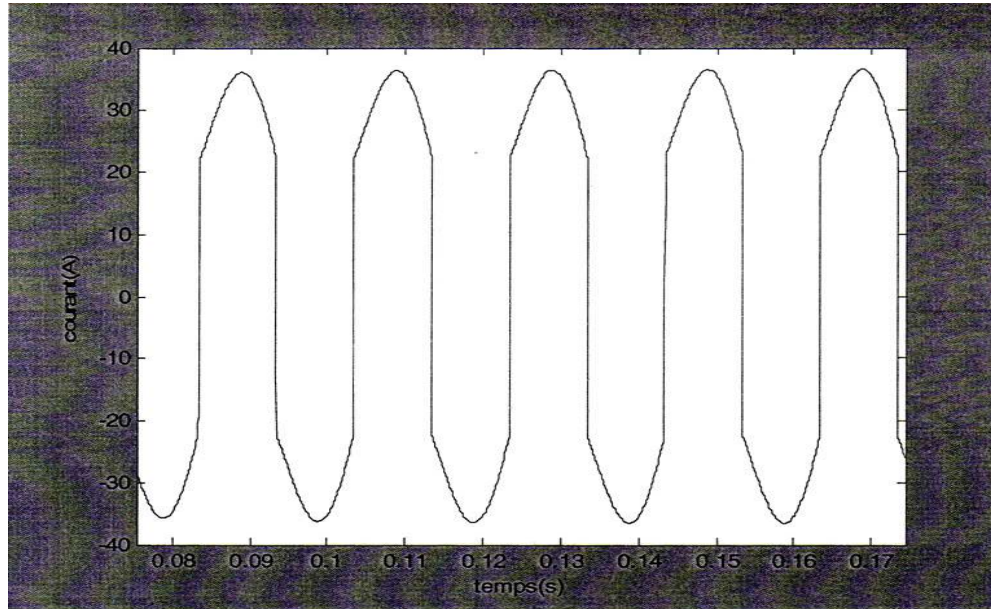
IV. 1- Simulation de redresseurs monophasés doubles alternances :**IV.1.1- Pont à tout thyristor :**

Fig. IV.1 : Représentation du courant de source (i_s).

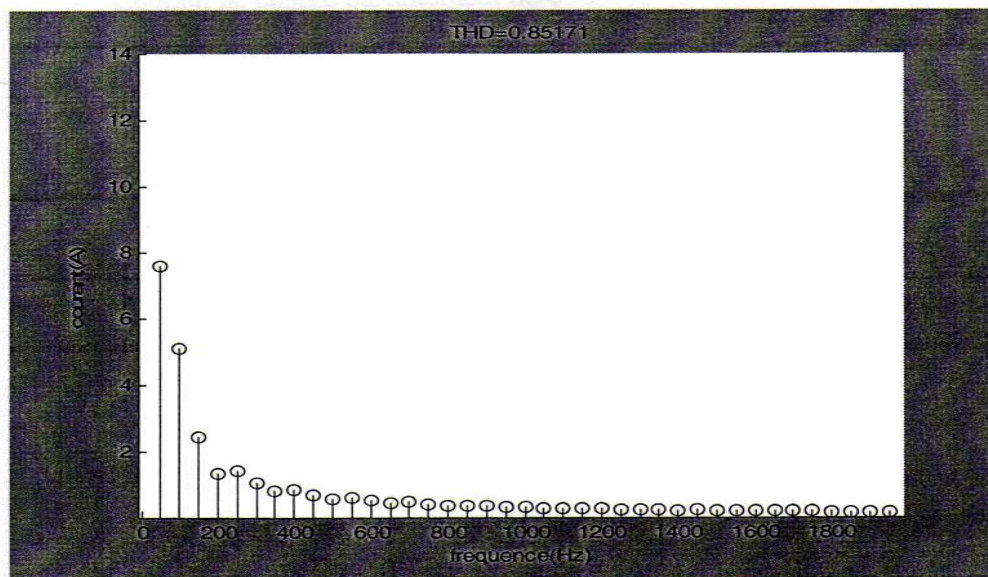


Fig. IV.2 : Analyse spectrale du courant de source (i_s).

IV.1.2- Pont mixte symétrique :

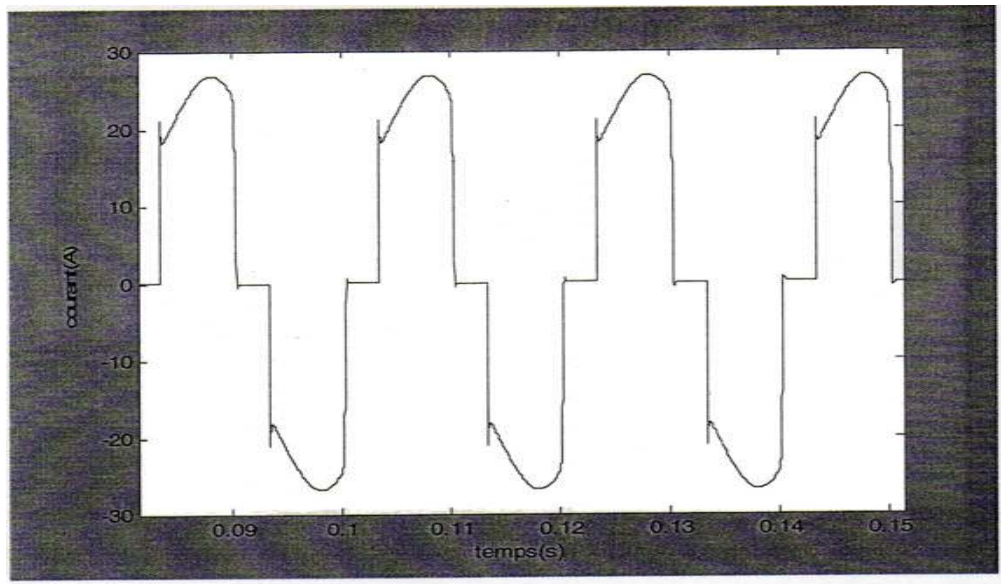


Fig. IV.3 : Représentation du courant de source (i_s).

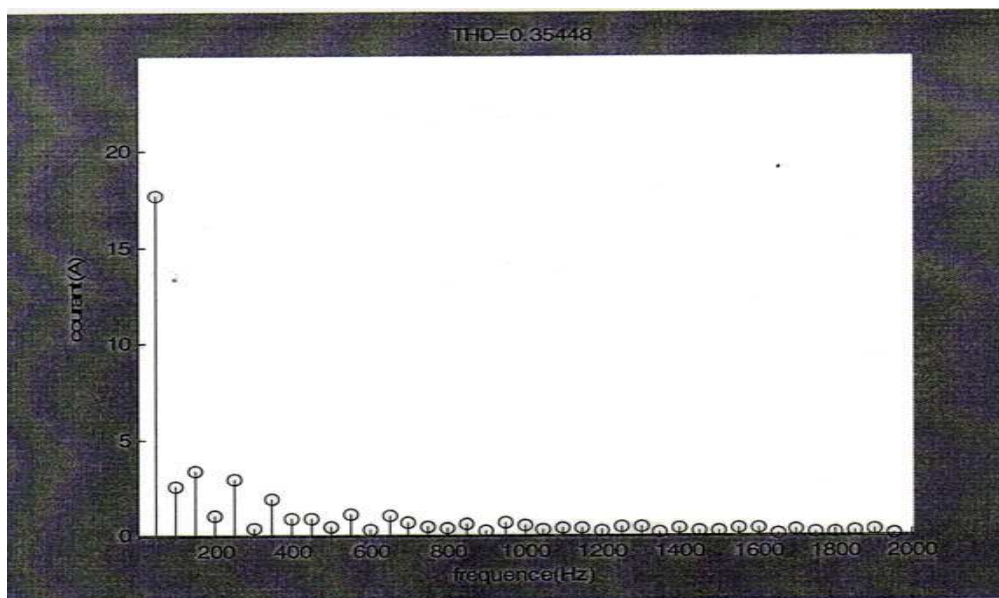
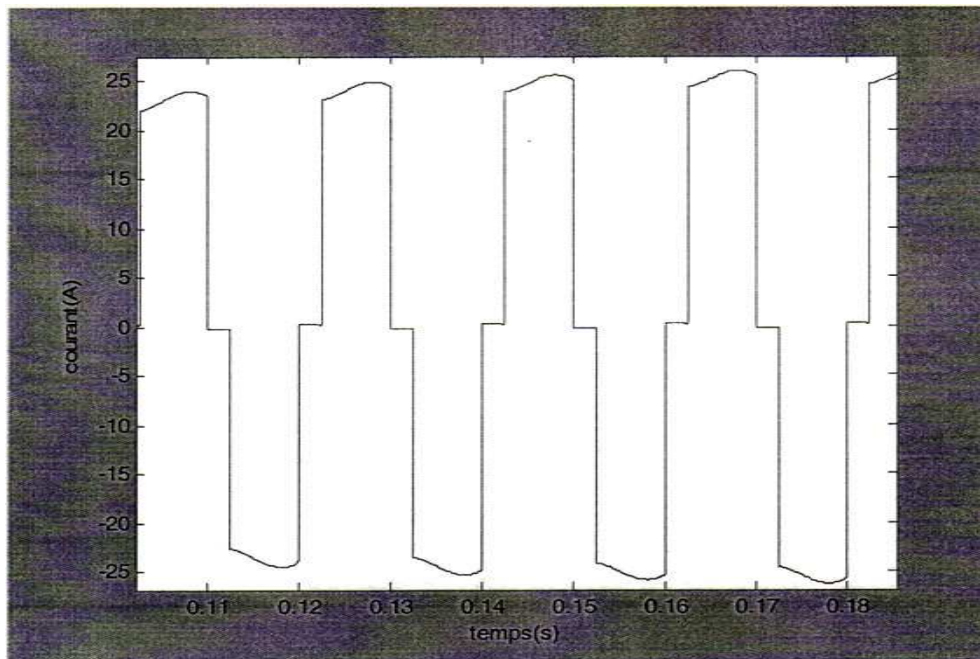
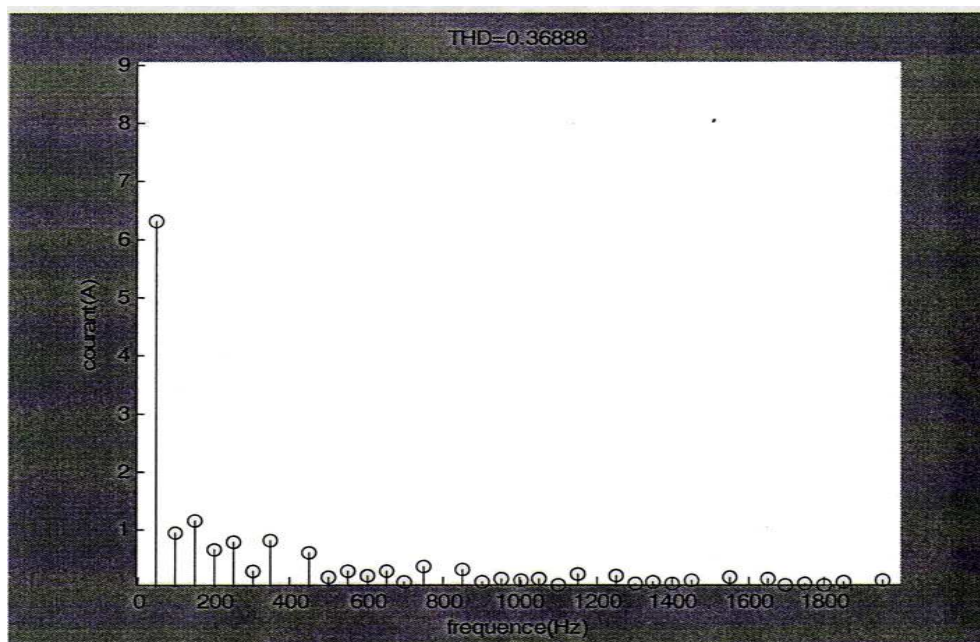


Fig. IV.4 : Analyse spectrale du courant de source (i_s).

IV.1.3- Pont mixte asymétrique :**Fig. IV.5 : Représentation du courant de source (i_s).****Fig. IV.6 : Analyse spectrale du courant de source (i_s).**

IV.2- Simulation de redresseurs triphasés :

IV.2.1- Redresseur triphasé simple alternance à thyristor :

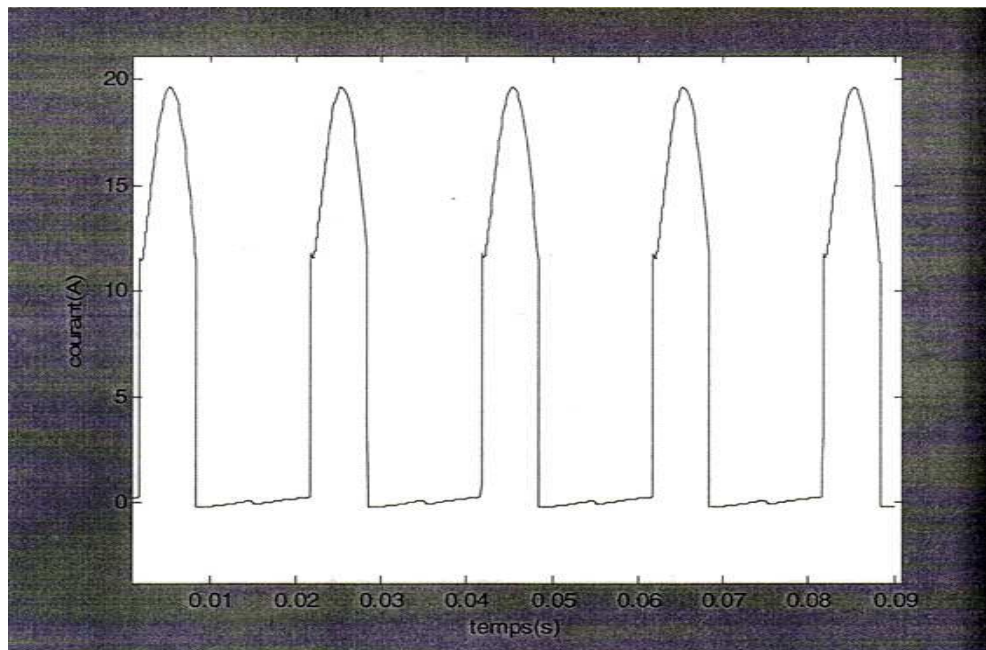


Fig. IV.7 : Représentation du courant de source (i_s).

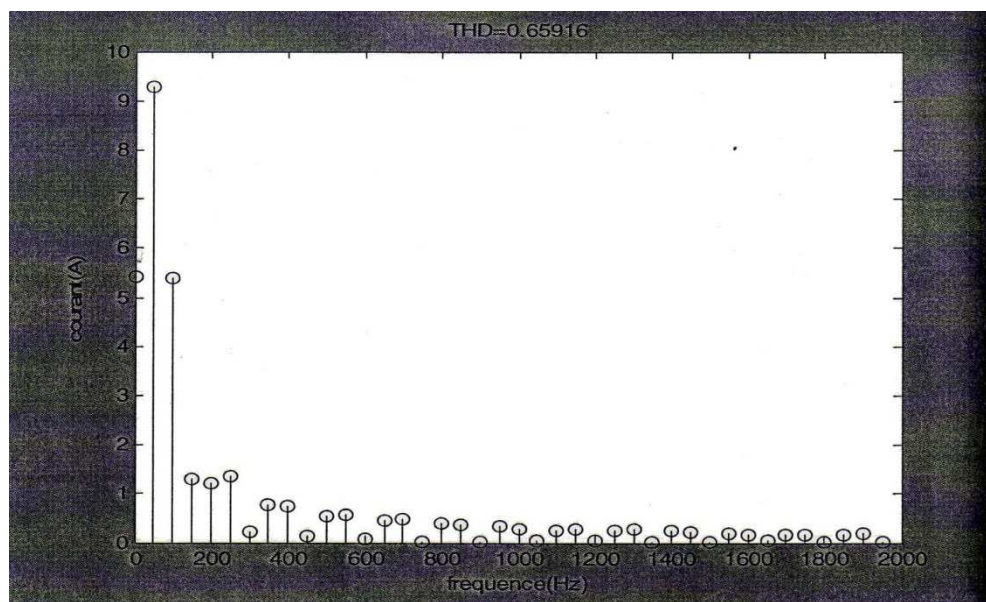
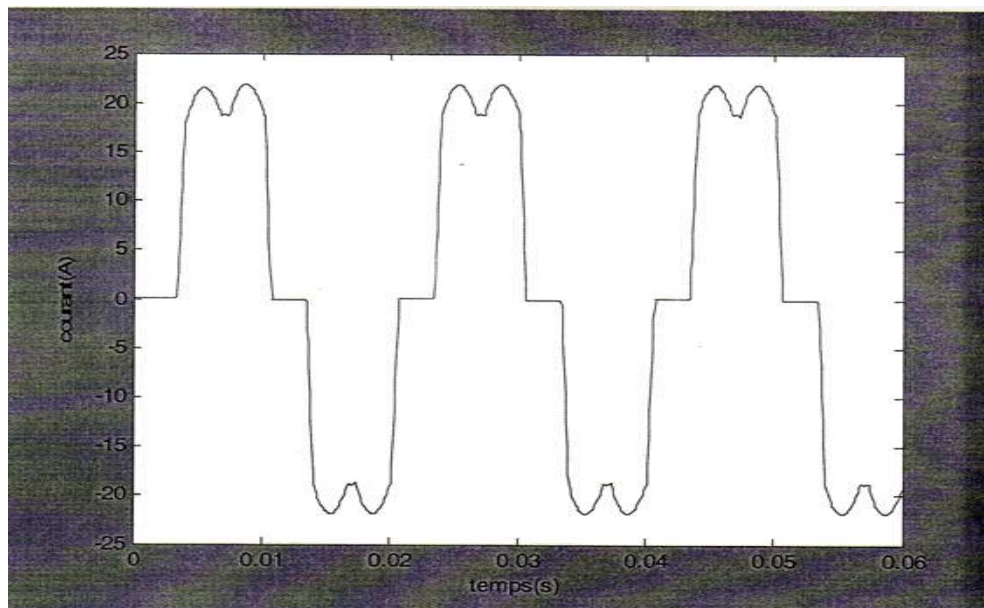
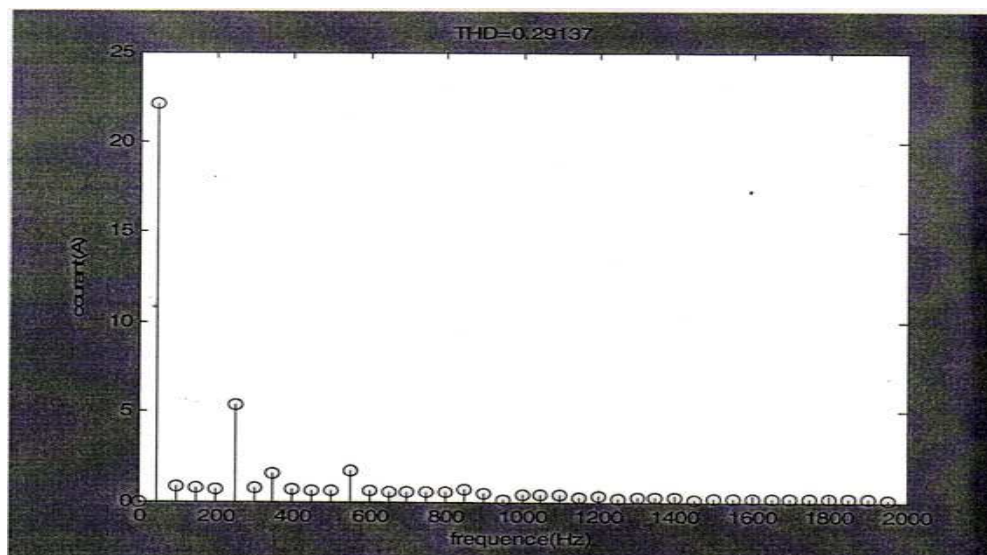


Fig. IV.8 : Analyse spectrale du courant de source (i_s).

IV.2.2 - Redresseur triphasé double alternances à pont tout thyristor :**Fig. IV.9 : Représentation du courant de source (i_s).****Fig. IV.10 : Analyse spectrale du courant de source (i_s).**

IV.2.3- Redresseur triphasé double alternances pont mixte :

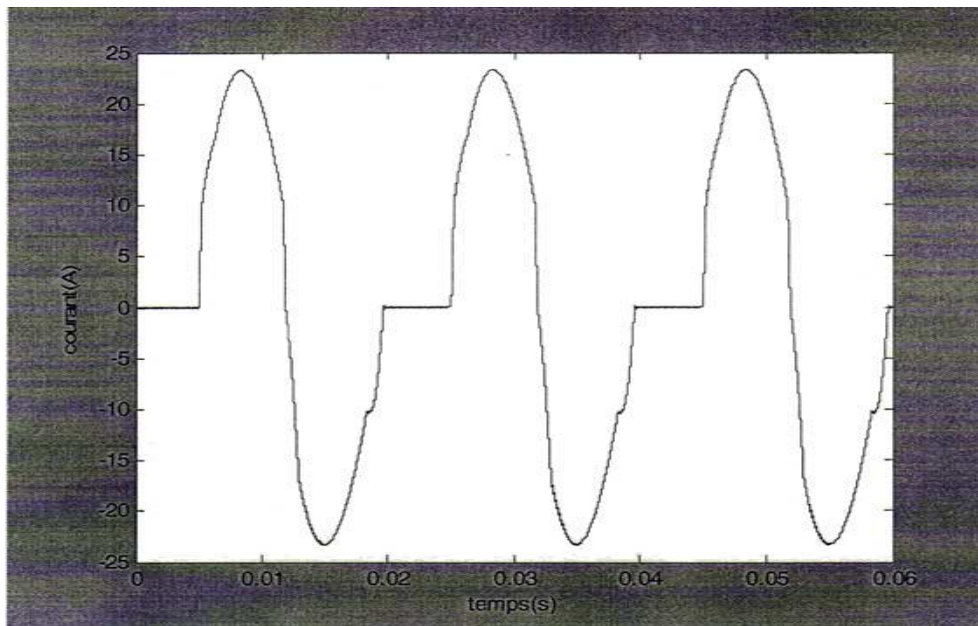


Fig. IV.11 : Représentation du courant de source (i_s).

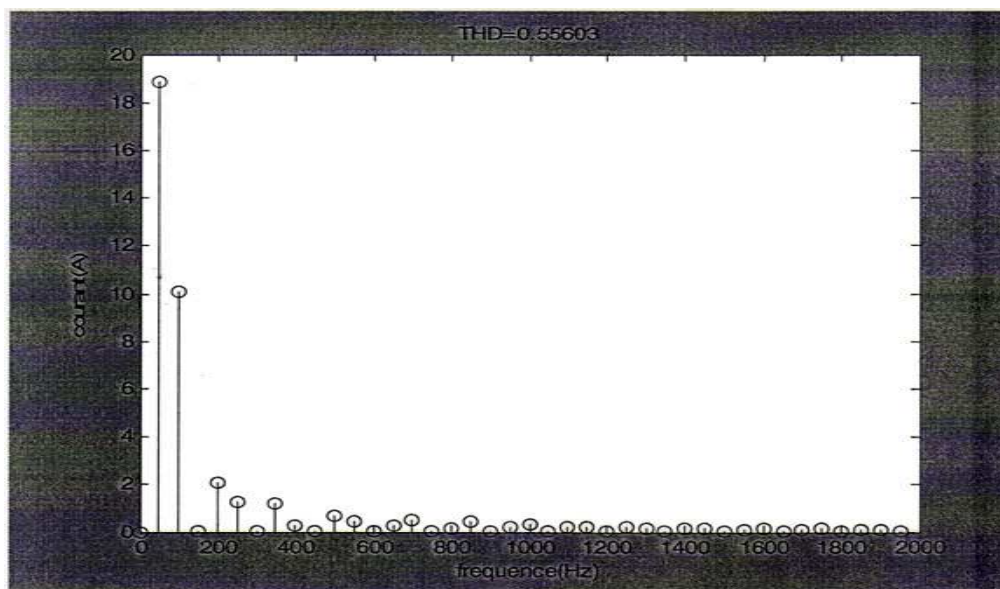
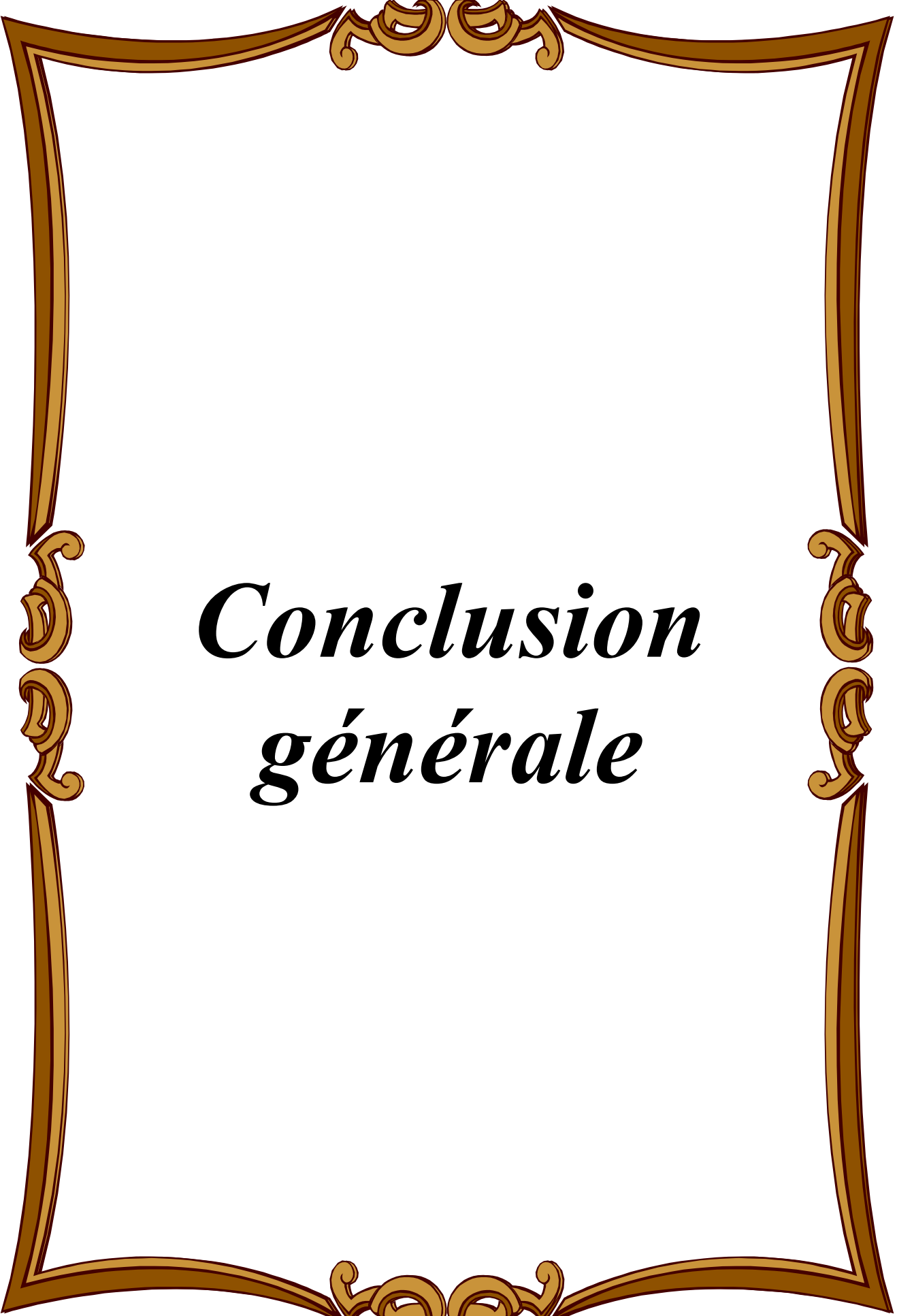


Fig. IV.12 : Analyse spectrale du courant de source (i_s).



Conclusion générale

Conclusion générale

Le travail présenté dans ce mémoire est une étude comparative entre les harmoniques de courant générés par les redresseurs sur le réseau électrique.

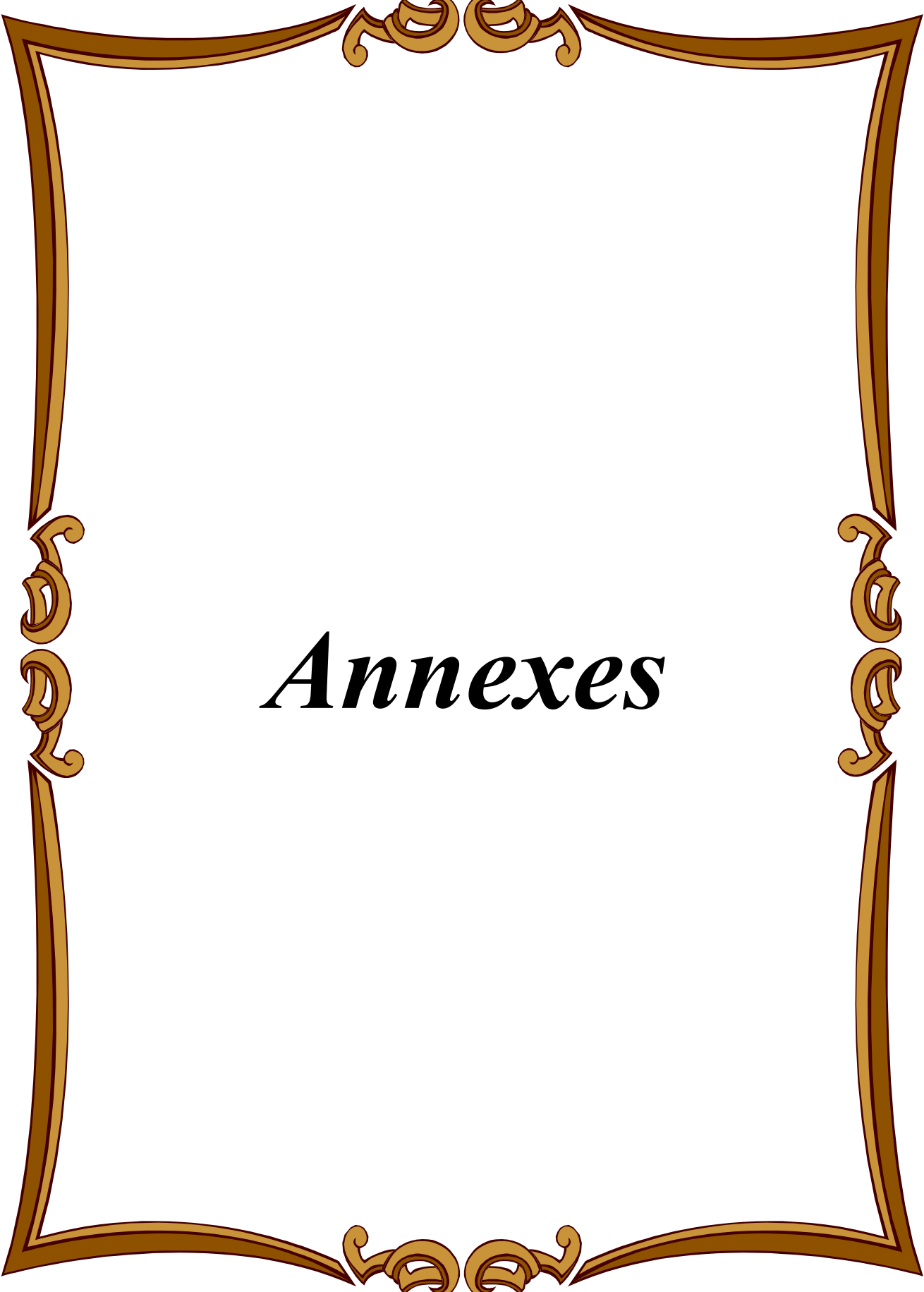
A fin d'aborder cette étude nous avons commencé par présenter les conversions « alternative continue » commandées, et non commandées.

Puis nous avons étudié les courants générés par ces redresseurs (monophasés, triphasés), en utilisant la décomposition en série de FOURIER, la méthode de simulation et l'analyse spectrale de ces courants.

Ces courants représentent des harmoniques qui provoquent des échauffements supplémentaires notamment dans les lignes, les transformateurs et les batteries de condensateur, ils causent des vibrations et des bruits dans les matériels électromagnétiques, aussi peuvent perturber la liaison et les équipements, et le risque d'excitation de résonance.

Comme solution préliminaire pour réduire ces harmoniques et améliorer les allures des courants du réseau ainsi améliorer le THDI (taux de distorsion harmonique du courant) ; elle existe plusieurs techniques de réduction de ces harmoniques.

Néanmoins, nous avons constaté que ces redresseurs triphasés commandé sont ceux qui ont moins d'harmoniques ce qui nous permet de conclure que ce sont des montages redresseurs les plus utilisables.



Annexes

Nomenclature :

V_s : Tension de source.

V_c : Tension instantanée de charge.

V_D : Tension aux bornes d'une diode.

V_T : Tension aux bornes d'un thyristor.

I_c : Courant instantanée de charge.

I_g : Courant de gâchette.

i_T : Courant traversant le thyristor.

i_D : Courant traversant la diode.

i_s : Courant de la source.

i_{seff} : La valeur efficace du courant en secondaire.

r_D : Résistance de la diode.

φ_1 : Déphasage du fondamentale du courant i_{s1} par rapport a la tension V_{s1} .

P : Puissance active.

Q : Puissance réactive.

S : Puissance apparent.

D : Puissance déformante.

f_p : Facteur de Puissance.

La charge utilisée a les paramètres suivant :

- **La valeur de la résistance :**

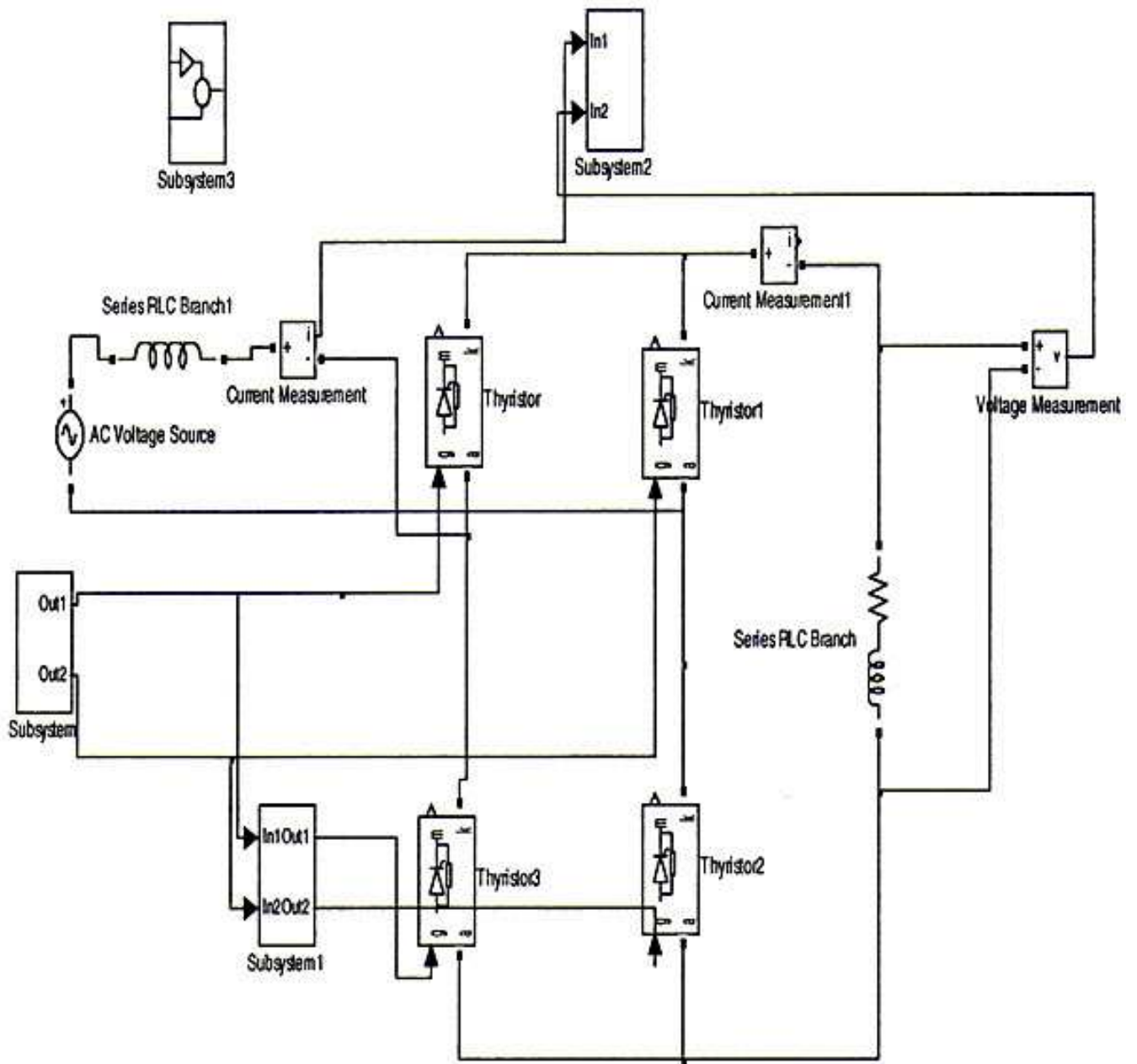
$$R = 20 \, \Omega$$

- **La valeur de la self :**

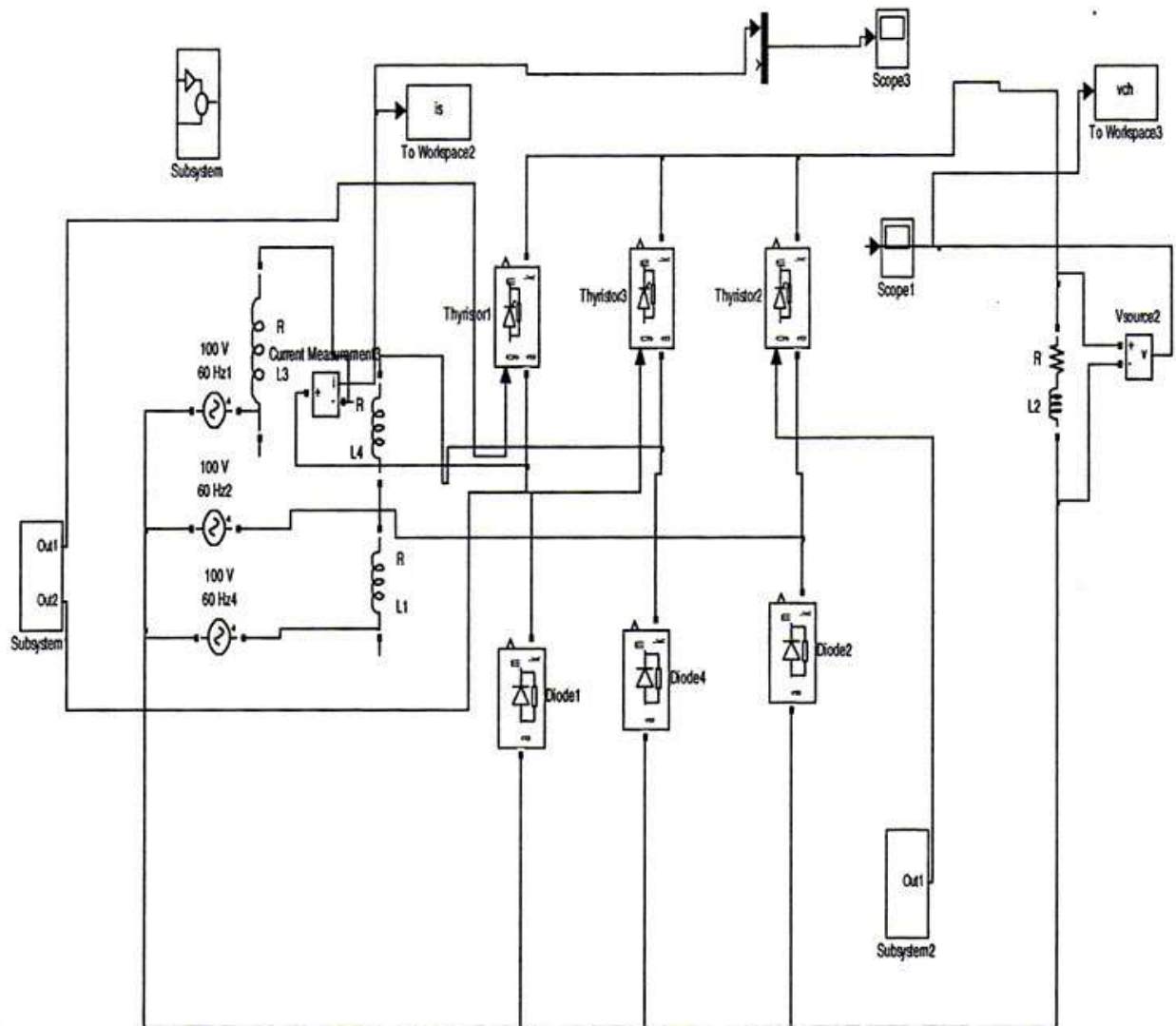
$$L = 0,02 \, H$$

- **La valeur de la capacité :**

$$C = \infty$$



Redresseur monophasé en pont tout thyristor.



Redresseur triphasé en pont mixte.



Bibliographie

- [1] : www.multimania.fr
- [2] : www.françois-raoul/html/diodes.htm
- [3] : www.françois-raoul/html/diodes.htm
- [4] : [fstt-ing.jens.fr/étude de thyristor.htm](http://fstt-ing.jens.fr/étude%20de%20thyristor.htm)
- [5] : [fstt-ing.jens.fr/étude de thyristor.htm](http://fstt-ing.jens.fr/étude%20de%20thyristor.htm)
- [6] : elec.org/cours/redresseurs
- [7] : S.CHARI ; N.L.Technique.
- [8] : S.CHARI ; N.L.Technique.
- [9] : Mémoire « thème 1 ».
- [10] : Mémoire « thème 1 ».
- [11]:M.Mokhtari. M. Marie « Application de MATLAB et SIMULINK »

I. Ouvrages :

- GUY SEGUIER ; « Electronique de puissance les fonctions de base et leurs principales applications », (EP 18).
- D. MEIER, D. IRLINGER ; « Electronique conversion de puissance », (EP 19).
- F. LABRIQUE ; « Les convertisseurs de l'électronique de puissance », (EP 34).
- H.BUHLER ; « Electronique de puissance », (EP 25).
- F.MILSANT ; « Electrotechnique, électronique de puissance cours et problèmes », (EP 21).
- J.M.RONSSEL ; « Problèmes d'électronique de puissance 12 énoncés avec solutions détaillées », (EP 35).
- M.BORNAND ; « Problème d'électrotechnique ».
- A.JAMEL ; « Cours d'électronique de puissance »

II. Mémoires :

Thème 1 :

« Analyse de fonctionnement des redresseurs monophasés et triphasés débitant sur différentes charges ».

Encadré par :

Mr M. Aoues

Réalisé par :

NAIMI Hakim

DJAIDER Lakhdar

Promotion : 2005/2006

Thème 2:

« Etude des harmoniques de courant générés par les redresseurs »

Encadré par :

Mr M. Aoues

Réalisé par :

Mr. F.Aberkane

M^{elle} N.Ghanem

M^{elle} D. Demim

Promotion: 2008/2009