

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

UNIVERSITE MOULOUD MAMMARI DE TIZI-OUZOU



FACULTE DU GENIE ELECTRIQUE ET D'INFORMATIQUE
DEPARTEMENT D'ELECTROTECHNIQUE

Mémoire de Fin d'Etudes de MASTER ACADEMIQUE

Domaine : **Sciences et Technologies**

Filière : **Electrotechnique**

Spécialité : **Réseaux Electriques**

Présenté par

YAHIA MESSAOUD Nacera

HAMEG Chahrazad

Thème

***MODELISATION, SIMULATION ET
REALISATION D'UN REDRESSEUR MIXTE
POUR LE REGLAGE D'EXCITATION D'UN
ALTERNATEUR DE PETITES PUISSANCES.***

Mémoire soutenu publiquement le 06/07/ 2017 devant le jury composé de :

Mr Mustapha ZAOUIA

Maître de conférences classe A, U.M.M.T.O, Président

Mr Hakim DENOUN

Maître de conférences classe A, U.M.M.T.O, Encadreur

Mr Nabil BENYAHIA

Maître de conférences classe A, U.M.M.T.O, Co - Encadreur

Mr Rabah KHALDI

Maître Assistant classe A, U.M.M.T.O, Examineur

Mr Arezki FEKIK

Doctorant, U.M.M.T.O, Examineur

Remerciement

*Ce mémoire de master été proposé et dirigé par Monsieur **H.***

***Denoun.** Ce mémoire est pour nous l'occasion de vous témoigner notre profond respect et notre immense reconnaissance. On tient à remercier chaleureusement **N. BenYahia** notre Co-promoteur pour son implication direct dans la réalisation de nos travaux. Ses conseils et ses orientations ont été précieux.*

Nous remercions le président et les membres de jury pour l'honneur qu'ils font en examinant notre travail.

Enfin, Que l'ensemble du personnel du département d'électrotechnique et ses étudiants ainsi que ceux et celles qui ont contribués de près ou de loin à la réalisation et la finalisation de ce mémoire trouvent ici notre profonde gratitude.

Dédicaces

*A mes parents pour leur soutien inconditionnel ses
encouragement, et bien sûr pour m'avoir permis de réaliser mes
études dans les meilleures conditions.*

A mes chères sœurs et frères je leur souhaite le meilleur toujours.

A mes nièces et mes neveux,

A toute la famille Yahia Messaoud.

A ma binôme Chahrazad avec qui j'ai partagé ce travail.

Et enfin

A tous mes amis.

A tous ceux qui me sont chers.

Nacera

Dédicaces

*À mes parents pour leur soutien inconditionnel ses
encouragement, et bien sûr pour m'avoir permis de réaliser mes
études dans les meilleures conditions.*

À mes chères sœurs et frère je leur souhaite le meilleur toujours.

À mes nièces et mon neveu.

À toute la famille Hameg.

À ma binôme Nacera avec qui j'ai partagé ce travail.

Et enfin

À tous mes amis.

À tous ceux qui me sont chers (dj).

Chahrazad

Notations utilisées

Notations utilisées

A : Constante de la tension en dents de scie ;

A' : Constante de tension co sinusoidale ;

a_0, a_1, a_2 et b_0 : Constantes de polynôme de la fonction transfère final ;

$C(p)$: Fonction de transfère de régulateur ;

D : Entrée de l'arduino ;

$D1$: Sortie de l'Arduino ;

D_1, D_2, D_3, D_4 : Diodes utilisées pour les redresseurs ;

$D2$ et $D4$: Entrées de l'arduino pour les signaux A et B ;

$D3$ et $D5$: Sorties de l'arduino pour les signaux A et B ;

E : Force Contre électromotrice

G_0 : Gain statique ;

G_{0ch} : Gain statique de la charge ;

G_d : Gain statique dans la commande linéaire ;

G_r : Gain statique du redresseur ;

G_R : Gain statique du régulateur ;

I : Courant à la sortie de l'alternateur ;

i_e : Courant d'entrée du redresseur (courant de source) ;

i_{e-ref} : Courant d'entrée du redresseur de la référence ;

i_s : Courant de sortie du redresseur ;

K_i, K_p : Coefficient de régulateur PI ;

L : Bobine (self) de la charge ;

M : Masse qui va se brancher à la masse de la carte du passage par zéro ;

m : Masse qui va se brancher à la masse de l'arduino ;

$M1$: Masse du redresseur ;

$m1$: Masse de l'Arduino ;

P : Operateur ;

PI : Régulateur proportionnel intégral ;

R : Résistance de la charge ;

$R1$ et $R2$: Résistances de 330Ω ;

r : Résistance interne du bobinage de l'alternateur ;

S : Source continue de 5V ;

T_1, T_2, T_3, T_4 : Thyristors utilisés pour les redresseurs ;

$T1$: Entrée du redresseur ;

T_q : Période de l'ondulation de la tension de sortie du redresseur ;

U : Tension à la sortie de l'alternateur ;

$U(p)$: Fonction de transfert ;

V_e : Tension d'entrée (tension de source) ;

V_L : Tension aux bornes de la bobine de charge ;

V_R : Tension aux bornes de la résistance de charge ;

V_s : Tension de sortie (tension au borne de la charge) ;

Y_{ref} : Fonction de transfert de référence ;

α : Constante de temps due à l'amorçage des thyristors (angle d'amorçage) ;

τ : Constante de temps due à la bobine de lissage ;

τ_{ch} : Constante de temps due à la charge ;

τ_r : Constante de temps due au redresseur ;

τ_R : Constante de temps due au régulateur ;

ψ : Angle de commutation ;

4N35 : Opto-coupleur ;

5V : 5V de l'arduino ;

.

Liste des figures

Liste des figures

Chapitre I : Généralités

Figure I.1 : Schéma d'excitation d'un alternateur.....	19
Figure I.2 : Schéma symbole d'un redresseur.....	20
Figure I.3 : Schéma d'un redresseur non commandé.....	20
Figure I.4 : Représentation graphique de la tension de sortie du redresseur non commandé.	20
Figure I.5 : Schéma d'un redresseur tout thyristor.....	21
Figure I.6 : Représentation graphique des tensions, des courants de la source et de la charge (R, L) et la commande d'un redresseur tout thyristor pour $\alpha = 10^\circ$	22
Figure I.7 : Représentations graphique des tensions et des courants de la source et de la charge (R, L) et la commande du redresseur tout thyristor pour $\alpha = 90^\circ$	22
Figure I.8 : Représentations graphique des tensions et des courants de source et de la charge (R, L) et la commande du redresseur tout thyristor pour $\alpha = 120^\circ$	23
Figure I.9 : Schéma d'un redresseur a pont mixte.....	24
Figure I.10 : Représentation graphique des tensions, de courant de la source et de la charge (R, L) et la commande du redresseur mixte pour un angle de 10°	25
Figure I.11 : Représentation graphiques des tensions, des courants de la source et de la charge (R, L) et la commande du redresseur mixte pour un angle de 90°	25
Figure I.12 : Représentations graphique des tensions, des courants de source et de la charge (R, L) et la commande du redresseur mixte pour un ongle de 120°	26

Figure I.13 : Schéma bloc d'un régulateur proportionnel intégral PI.....	27
Figure I.14 : Schéma générale d'un système asservi linéaire en boucle ouverte.....	27
Figure I.15 : Schéma général d'un système asservi linéaire en boucle fermée.....	28
Figure I.16 : Microcontrôleurs.....	28
Figure I.17 : Brochage du PIC16F871.....	29
Figure I.18 : Carte Arduino UNO.....	30
Figure I.19 : Carte Arduino MEGA.....	31
Figure I.20 : Présentation de la carte Arduino.....	31

Chapitre II : modélisation, régulation et simulation

Figure II.1 : Diagramme fonctionnel du convertisseur.....	38
Figure II.2 : Commande linéaire (a) et cosinus (b) d'un redresseur.....	39
Figure II.3 : Schéma bloqué du système à simuler.....	40
Figure II.4 : Représentation du modèle de la charge (R, L).....	42
Figure II.5 : Schéma bloc du système sans régulateur (convertisseur et charge).....	44
Figure II.6 : Schéma du système à étudier sans régulateur.....	47
Figure II.7 : Représentation graphique du courant de charge.....	47
Figure II.8 : Schéma du système à étudier avec régulateur.....	48
Figure II.9 : Représentation graphique du courant de charge et sa référence avec régulateur.....	48

Chapitre III : Réalisation pratique et résultats expérimentaux

Figure III.1 : Photographie de la carte des passages par zéro de la tension alternative.....	52
Figure III.2 : Représentation graphique des tensions de sortie de la carte et au borne des deux diodes sur l'oscilloscope.....	53
Figure III.3 : Circuit suivi pour avoir les mêmes signaux sur l'Arduino.....	54
Figure III.4 : Le branchement de l'auto-coupleur.....	54
Figure III.5 : Photographie de l'alimentation de la carte du passage par zéro.....	54
Figure III.6 : Les signaux d'entrées et sorties de l'Arduino.....	56
Figure III.7 : Circuit électrique du décalage de la tension d'entrée.....	57
Figure III.8 : Représentation graphique de la tension décalée.....	57
Figure III.9 : Photographie de la carte du redresseur.....	58
Figure III.10 : Circuit finale du branchement de tous les composants.....	59
Figure III.11 : Branchement de l'Opto-coupleur.....	59
Figure III.12 : Photographie réel du circuit finale de commande du redresseur.....	60
Figure III.13 : Les signaux qui traversent les deux thyristors.....	60

Sommaire

Sommaire

<i>Introduction Générale</i>	17
Chapitre I : Généralités	
<i>I.1. introduction</i>	19
<i>I.2. excitations des alternateurs</i>	19
<i>I.3. système d'excitation</i>	19
<i>I.3.1. redresseur non commandé</i>	20
<i>I.3.2.redresseur commandé</i>	21
<i>a) redresseur a pont tout thyristor</i>	21
<i>b) redresseur a pont mixte</i>	24
<i>I.4. réglage de la tension d'excitation</i>	26
<i>I.4.1 les régulateurs</i>	27
<i>I.4.2. commande en boucle ferme et en boucle ouverte</i>	27
<i>I.5. le microcontrôleur</i>	28
➤ <i>Les avantages de microcontrôleurs</i>	29
➤ <i>Les défauts des microcontrôleurs</i>	30
<i>I.6.carte arduino</i>	30
➤ <i>Différente carte Arduino</i>	30
➤ <i>Les constitutions de la carte arduino UNO</i>	31
➤ <i>Les bonnes raisons pour choisir arduino</i>	32
<i>I.7. conclusion</i>	33

Chapitre II : Modélisation, Régulation et Simulation.

<i>II.1.Introduction</i>	35
<i>II.2. Modélisation et Dimensionnement du système</i>	35
<i>II.2.1. Modélisation de redresseur</i>	35
<i>II.2.2.Modélisation de la charge(R, L)</i>	40
<i>II.2.3.Dimensionnement du régulateur PI</i>	42
<i>II.3.Simulation du système</i>	45
<i>II.4.Conclusion</i>	47

Chapitre III : Réalisation pratique et résultat expérimentaux.

<i>III.1.Introduction</i>	49
<i>III.2.Réalisation de la carte des passages par zéro de la tension alternative</i>	49
➤ <i>Schéma et composants</i>	49
➤ <i>Développement et réalisation</i>	49
<i>III.3.Réalisation de la carte du redresseur</i>	55
➤ <i>Schémas et composants</i>	55
➤ <i>Développement et réalisation du redresseur mixte</i>	57
<i>III.4. Conclusion</i>	59
<i>Conclusion générale</i>	61
<i>Référence bibliographique</i>	63
<i>Annexe</i>	66

Introduction générale

Les générateurs synchrones (alternateurs) sont les machines les plus utilisées pour la génération de l'énergie électrique, aussi bien pour des réseaux de grandes puissances interconnectés que pour les réseaux autonomes des systèmes embarqués ou de secours. Aujourd'hui, les utilisateurs de ces machines sont de plus en plus exigeant sur les performances dynamiques lors des perturbations des réseaux ou lors des variations de charge. Pour cela, les constructeurs ne cessent d'améliorer ces machines en intervenant sur les paramètres de conception (géométrie des pièces polaires, des amortisseurs, etc.) et aussi sur le système d'excitation. Ce dernier a très peu évolué depuis de nombreuses années sauf l'apport des régulateurs numériques à base de microcontrôleurs qui se sont contentés d'apporter essentiellement une souplesse sur le réglage du correcteur mais pas une révolution sur les performances dynamiques. Pour franchir une étape dans l'amélioration de ces régimes dynamiques, il est nécessaire de rechercher de nouvelles solutions sur les structures d'excitation et dans les lois de commande. Ces deux éléments ont une influence importante sur le comportement dynamique d'un alternateur[4].

Notre travail consiste à la modélisation, simulation et la conception d'un système d'excitation pour un alternateur de faible puissance. Ce système sera constitué d'un redresseur double alternance semi-commandé (monophasé).

Le travail que nous a réalisé au sein de laboratoire de recherche LATAGE de la faculté de génie électrique et d'informatique de l'Université mouloud maamri de tizi ousou. Au tour de trois chapitres :

Le premier chapitre sera consacré aux généralités et définitions, nécessaire pour comprendre l'intérêt et les méthodes de réglage de la tension d'excitation.

La modélisation, régulation et simulation du système à étudier fait l'objet du **deuxième chapitre**

Dans **le troisième chapitre** nous présentons le dispositif expérimental réalisé au sein de notre laboratoire. Il s'agit d'un redresseur mixte monophasé commandé par arduino. L'architecture de cette carte et le kit de développement, leurs algorithmes de commande et autre carte réalisées sont détaillées dans ce chapitre. Les résultats expérimentant sont présentés et analysés.

La conclusion générale viendra synthétiser les résultats obtenus, tirer les principaux renseignements

Chapitre I

Généralités

I.1. Introduction

Ce chapitre, se divise en trois parties; la première partie sera consacré à l'étude d'un système d'excitation et l'intérêt du réglage de ce dernier. Tandis que dans la seconde partie sera consacrée aux convertisseurs qui sont utiliser pour les systèmes d'excitations, la dernière étape ce focalisera sur l'étude des différents moyens de réglage de la tension d'excitation.

I.2. Excitation des alternateurs

La valeur de la tension induite dans un enroulement d'alternateur dépend de trois facteurs :

- la vitesse de rotation de l'alternateur,
- l'intensité du champ magnétique,
- la longueur du conducteur placé dans le champ magnétique.

Etant donné que la vitesse de rotation de l'alternateur doit demeurer constante et que la longueur du conducteur est fixée, le facteur déterminant est l'intensité du champ magnétique. L'intensité du champ magnétique ou densité des lignes de force dépendent du courant d'excitation, qui lui-même dépend de la tension d'excitation (loi d'Ohm). C'est donc dire qu'en faisant varier le courant d'excitation (ou la tension), on peut faire varier la tension aux bornes de l'alternateur. Le système d'excitation de l'alternateur est la source du courant continu créant le champ dans l'alternateur figure (I.1) [12] [4].

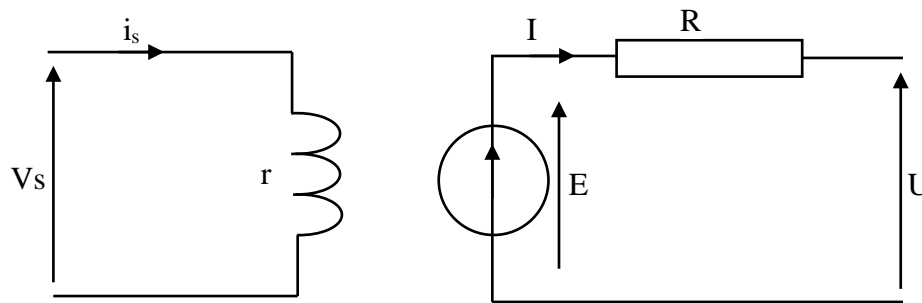


Figure I.1 : Schéma d'excitation d'un alternateur.

I.3. Système d'excitation

L'excitation des alternateurs des GE (générateurs électriques) de petite puissance est assurée généralement par des solutions basées sur l'électronique de puissance en particulier, les redresseurs. Dans notre étude, nous nous contentons d'étudier un système d'excitation, basé sur un redresseur monophasé. Les montages redresseurs, souvent appelés simplement redresseurs, sont des convertisseurs d'électronique de puissance qui assurent directement la conversion alternatif-continu figure (I.2) [2]. Alimentés par une source de tension alternative monophasée, ils permettent d'alimenter en courant continu le récepteur branché à sa sortie. On utilise un redresseur chaque fois que l'on a besoin de tension continue, alors que l'énergie électrique est disponible en alternative. L'énergie électrique est presque toujours générée et distribuée sous la seconde forme (tension alternative), les redresseurs ont un très vaste domaine d'applications [12]. On distingue deux types de redresseurs :

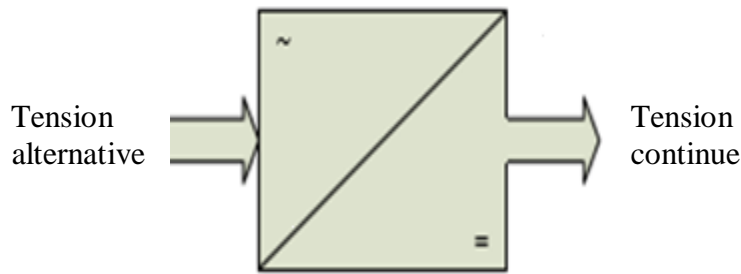


Figure.I.2 : Schéma symbole d'un redresseur.

I.3.1. Redresseur non commandé

Ce type de redresseur figure (I.3) permet d'obtenir en sortie une tension redressée dont la valeur moyenne est fixée (non réglable) figure (I.4). Ce dispositif est réalisé à partir de diodes qui ne permettent pas de faire varier la tension continue de sortie [7]. De plus, ils sont irréversibles, c'est-à-dire que la puissance ne peut être transmise que du côté alternatif vers le côté continu [3].

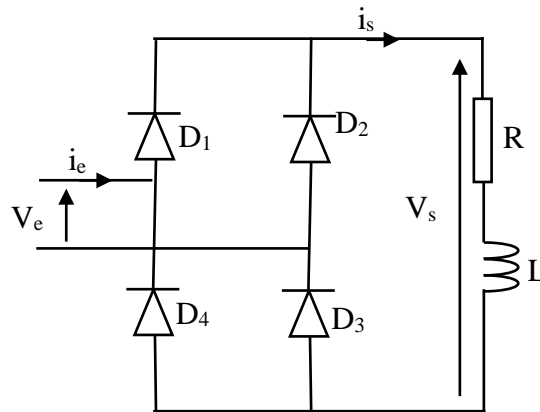


Figure.I.3 : Schéma d'un redresseur non commandé [3].

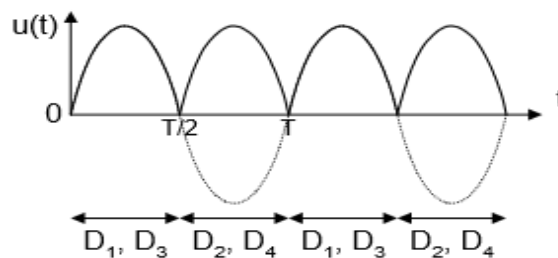


Figure.I.4 : Représentation graphique de la tension de sortie pour un redresseur non commandé [3].

Les redresseurs à diode sont simples à mettre en œuvre, néanmoins, ils présentent beaucoup d'inconvénients ; la tension de charge est incontrôlable, lorsque les paramètres de la source et de la charge sont fixes.

I.3.2. Redresseurs commandé

Comme pour les redresseurs à diodes, ces dispositifs permettent d'obtenir un courant continu dans la charge. Cependant, la tension moyenne aux bornes de la charge. Ce réglage peut être effectué en fonction du signal de commande envoyé sur les gâchettes des thyristors. Nous constatons que la tension de sortie peut être fortement ondulée. Il est alors important de lisser le courant destiné à la charge [7]. Il y a deux types de redresseur commandé.

- a) Redresseur a pont tout thyristor
- b) Redresseur à pont mixte

a) Redresseur a pont tout thyristor

La structure du convertisseur statique de la figure (I.5) Annexe A figure (A.2), est la même que pour le pont à diodes. Branchée sur le réseau de distribution monophasé, ce système fournit une tension redressée double alternance. La différence vient des interrupteurs semi-conducteurs qui vont permettre de contrôler la valeur moyenne de la tension de charge. En effet, les thyristors peuvent bloquer une tension positive et son entrée en conduction qui peut être retardée par rapport aux diodes. La conséquence sera donc visible sur les formes d'onde de la tension redressée figure (I.6) jusqu'à la figure (I.12)[7][3]. Le paramètre de réglage est l'angle α (angle de retard à l'amorçage) qui représente l'écart entre le début de conduction d'une diode (placée au même endroit que le thyristor) et l'amorçage du thyristor :

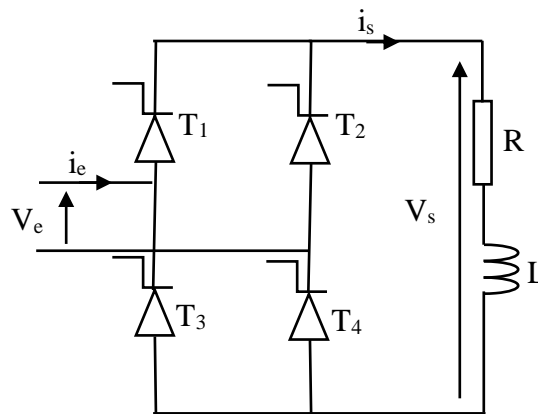


Figure .I.5 : Schéma d'un redresseur tout thyristor [3].

Pendant l'alternance positive, les thyristors T_1 et T_4 sont amorcés à $\omega t = \alpha$ par ce que ils sont polarisé en directe, ainsi la charge est connectée à l'entrée, ces derniers continuent à conduire jusqu'à $\omega t = \pi + \alpha$, et ils se bloquent par l'amorçage de T_2 et T_3 pendant l'alternance négative (T_2 et T_3 sont polarisés en directe tandis que T_1 et T_4 sont polarisés en inverse) Le courant de charge est transféré de T_1 et T_4 vers T_2 et T_3 , d'où la continuité du courant.

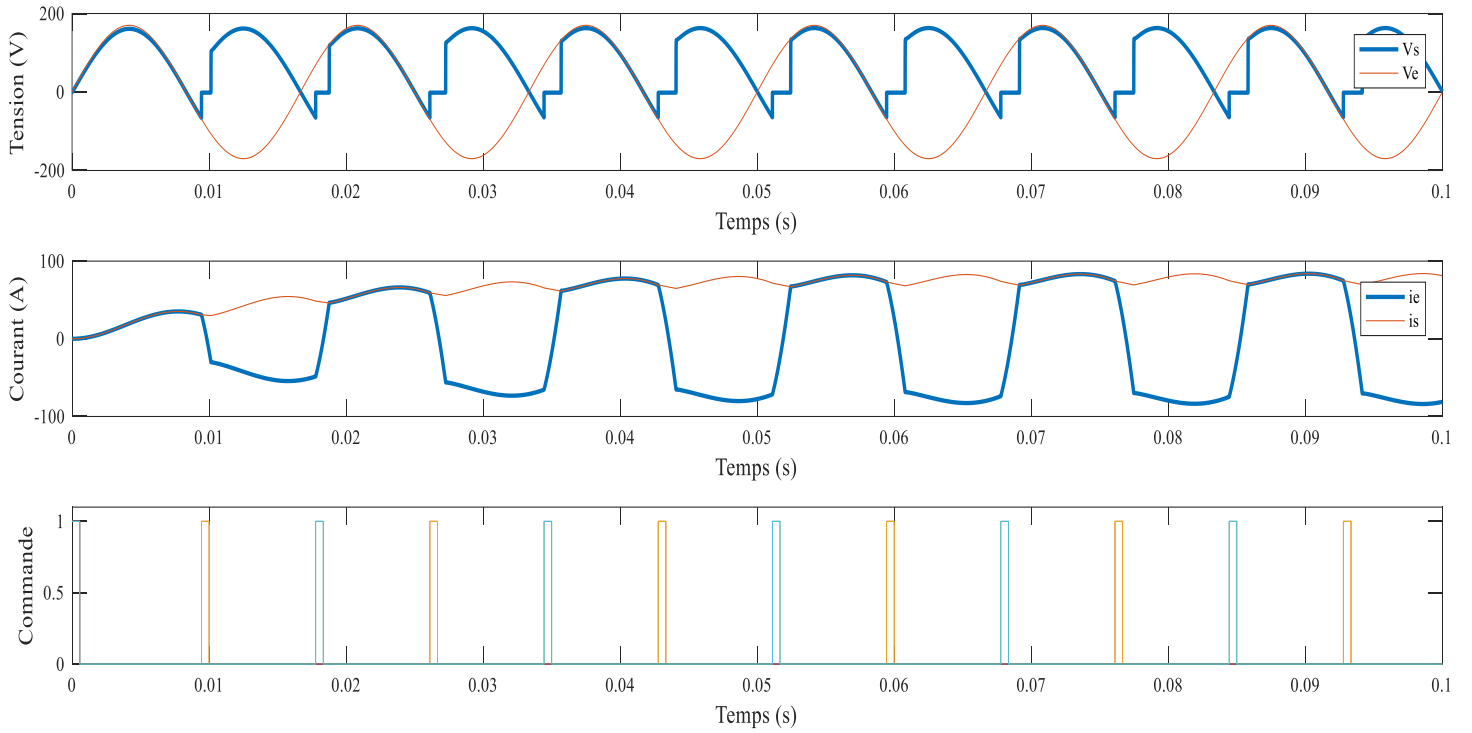


Figure .I.6 : Représentation graphique des tensions, des courants de la source et de la charge (R, L) et la commande du redresseur tout thyristor pour $\alpha = 10^\circ$.

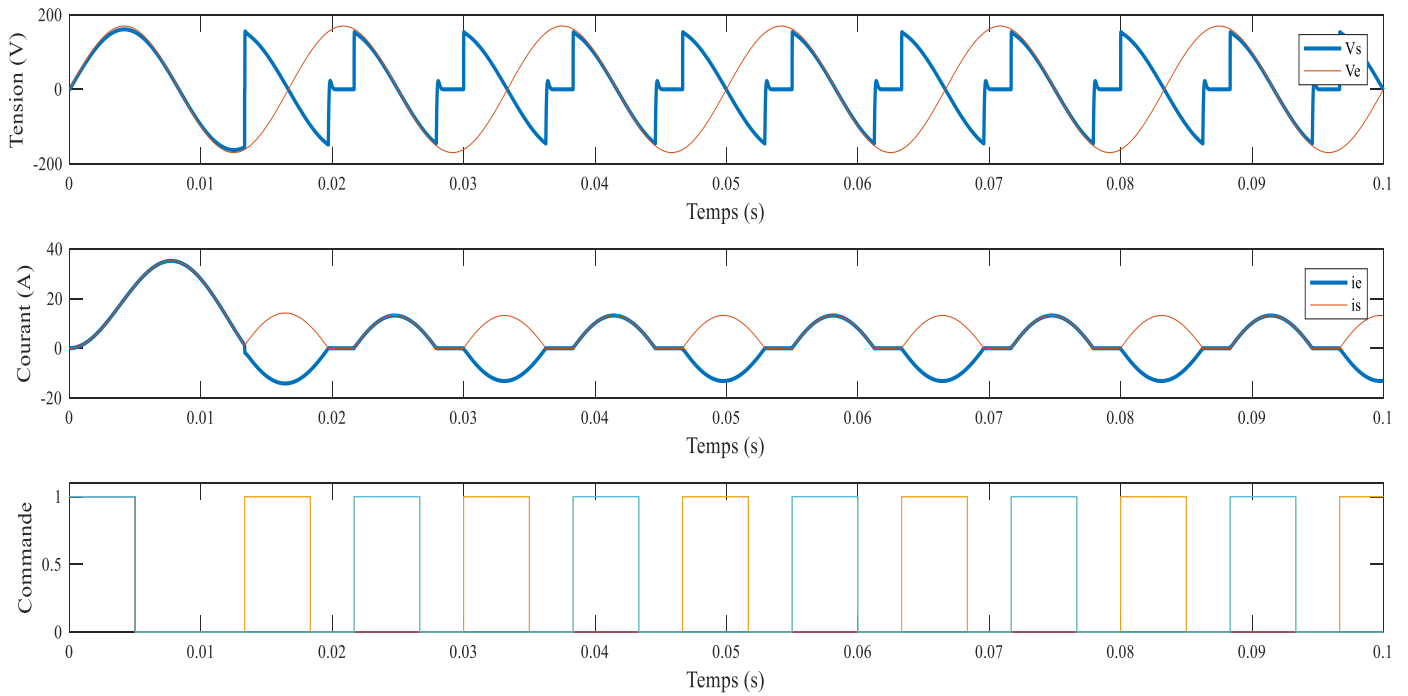


Figure .I.7 : Représentations graphique des tensions et des courants de la source et de la charge (R, L) et la commande du redresseur tout thyristor pour $\alpha = 90^\circ$.

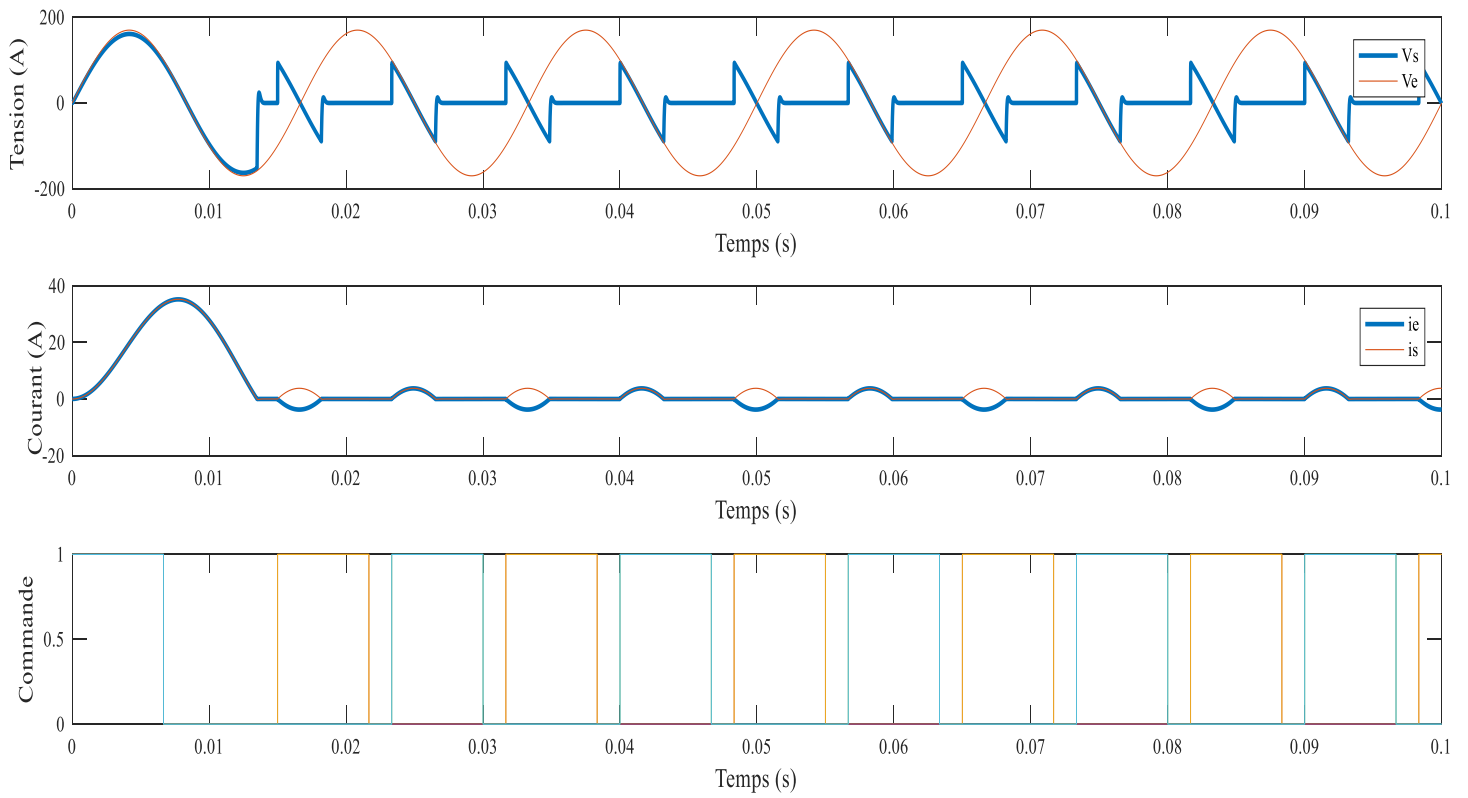


Figure .I.8 : Représentations graphique des tensions et des courants de source et de la charge (R, L) et la commande du redresseur tout thyristor pour $\alpha = 120^\circ$.

On remarque que lorsque l'angle d'amorçage devient de plus en plus important, la tension moyenne décroît, voir figure(I.6) jusqu'à figure(I.8).

On remarque également que la tension de charge s'inverse, ce qui influence négativement sur la valeur de la tension moyenne, ce qui nous a conduits à opter pour un redresseur mixte.

b) Redresseur à pont mixte

Un pont mixte est formé pour la moitié avec des thyristors et la moitié avec des diodes. Comparé au redresseur à pont tout thyristors figure (I.8).Annexe A figure (A.3)

L'existence d'un courant interrompu dans la charge implique toujours la conduction simultanée de deux interrupteurs électroniques.

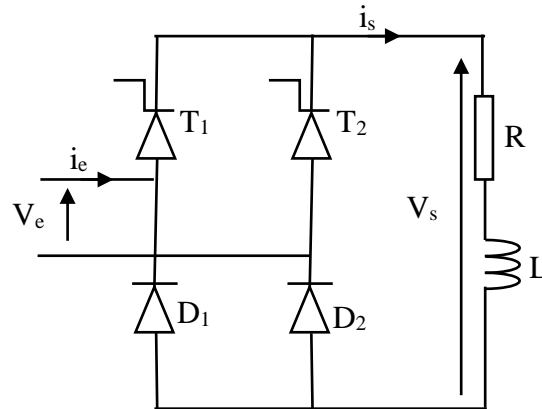


Figure.I.9 : Schéma d'un redresseur a pont mixte [3].

Pendant l'alternance positive, le thyristor T_1 est amorcé, ce dernier entraîne la conduction de la diode D_2 à $\omega t = \alpha$, ainsi la charge est connectée à l'entrée, ces derniers continuent à conduire jusqu'à $\omega t = \pi + \alpha$, et ils se bloquent par l'amorçage de T_2 et la conduction de D_1 pendant l'alternance négative. Le courant de charge est transféré de T_1 et D_2 vers T_2 et D_1 , d'où la continuité du courant [3].

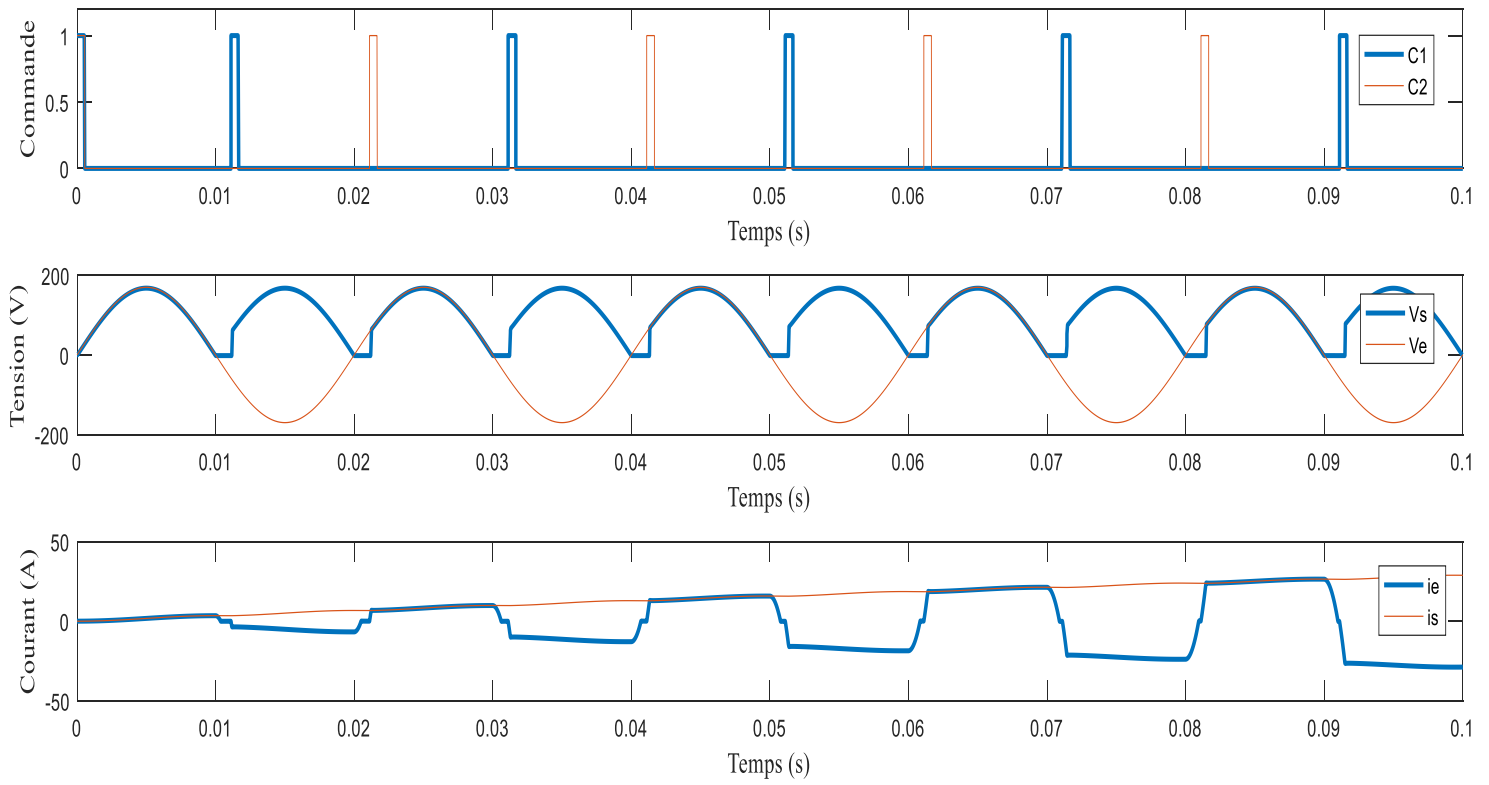


Figure.I.10 : Représentation graphique des tensions, de courant de la source et de la charge (R, L) et la commande du redresseur mixte pour un angle de 10° .

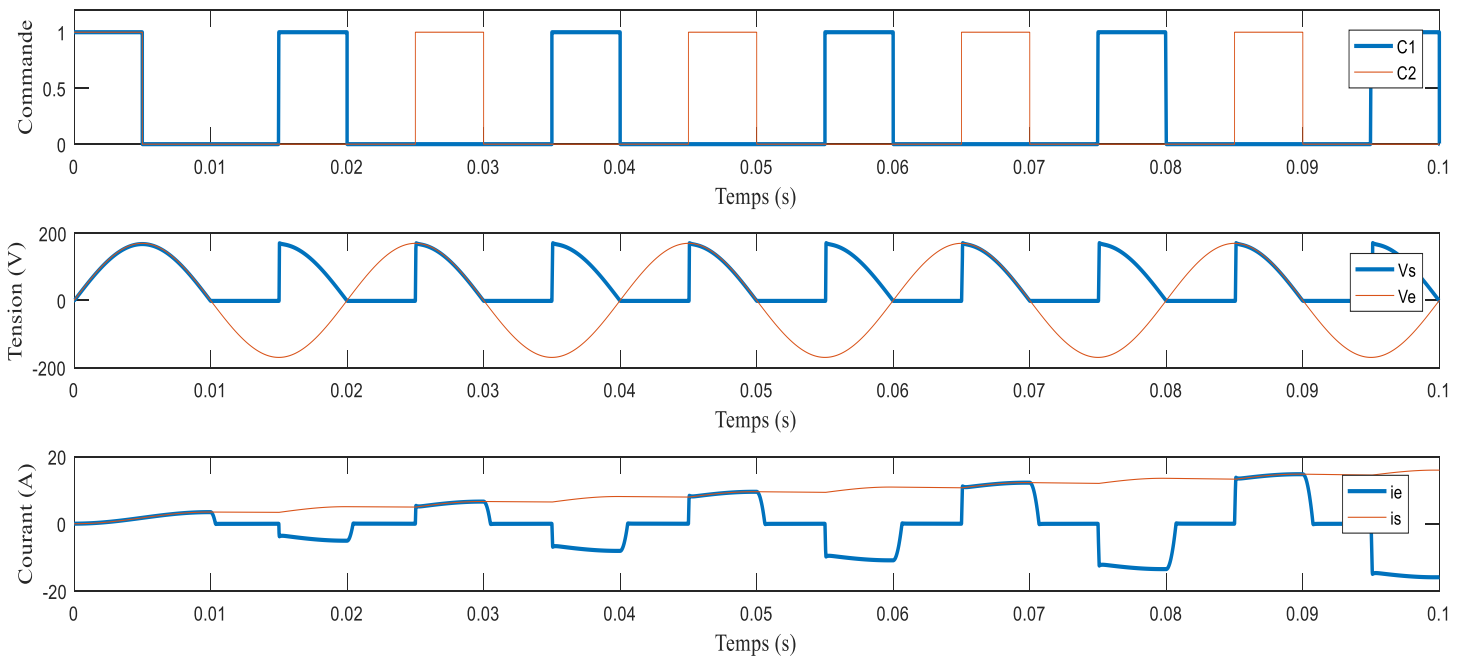


Figure.I.11 : Représentation graphiques des tensions, des courants de la source et de la charge (R, L) et la commande du redresseur mixte pour un angle de 90° .

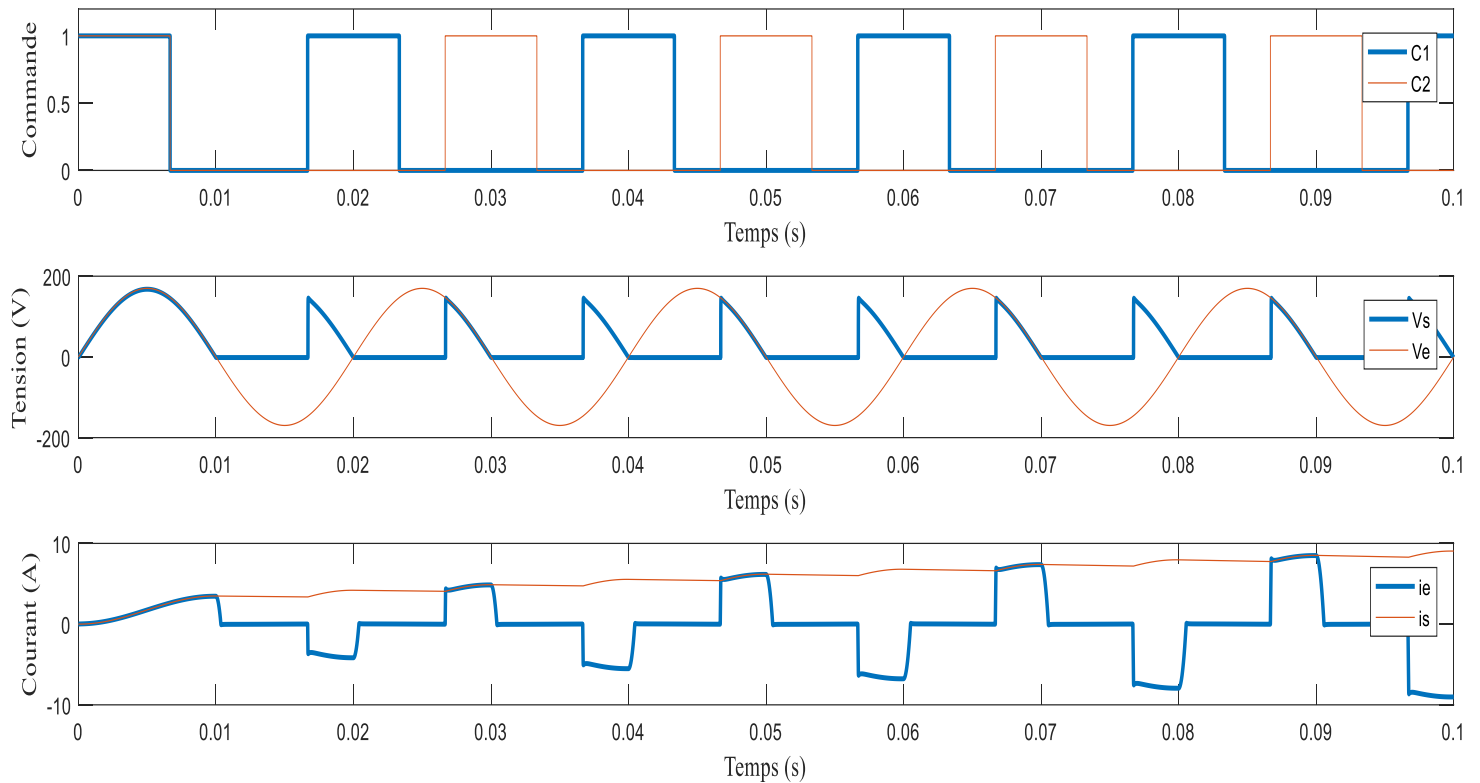


Figure.I.12 : Représentations graphique des tensions, des courants de source et de la charge (R, L) et la commande d'un redresseur mixte pour un angle de 120° .

L'intérêt du redresseur mixte réside dans le fait que la tension moyenne qu'on peut obtenir aux bornes de la charge est relativement important en comparaison avec le redresseur tout thyristor. On peut constater cet intérêt sur la figure (I.10) jusqu'à (I.12).

I.4.Réglage de la tension d'excitation

Les objectifs de la commande sont nombreux et très variés. Mais de manière générale, le problème consiste toujours à calculer la fonction de transfert $G(p)$ du régulateur.

Il est facile de régler la valeur de la tension induite dans un générateur. Il suffit de faire varier l'intensité du courant d'excitation au moyen d'une résistance variable intercalée en série avec les bobines excitatrices. Cette résistance variable porte le nom de rhéostat d'excitation. Il est nécessaire de réguler la tension de sortie, en contrôlant la tension d'excitation au moyen d'un régulateur [4].

I.4.1. Les régulateurs

Le régulateur est un système permettant de générer l'action voulue à appliquer à l'entrée de l'organe de commande afin de faire atteindre à la sortie du système à commander des objectifs définis en termes de durée et de la forme du régime transitoire ainsi que la valeur finale.

Il existe plusieurs types de régulateurs, il y a des régulateurs tout ou rien et d'autres à action continue. Les régulateurs tout ou rien ne disposent pas d'un signal de sortie continue, alors que pour les régulateurs à action continue il est prévu un signal continu (tension ou courant) qui peut en permanence prendre toutes les valeurs intermédiaires entre une valeur initiale et une valeur finale.

Dans notre cas, on a choisi un régulateur à action continue, c'est un PI : proportionnel intégral figure (I.13). On a opté pour ce régulateur, car il présente beaucoup d'avantages; simplicité et facilité de dimensionnement [3].

L'équation de ce régulateur est :

$$C(p) = K_P + \frac{K_I}{p} \quad (I.1)$$

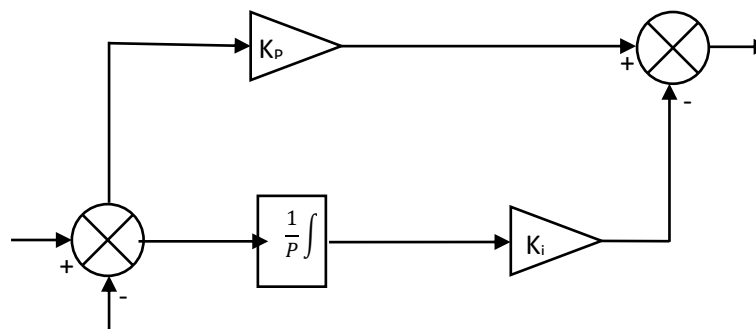


Figure.I.13:Schéma bloc d'un régulateur proportionnel intégral PI [3].

I.4.2. Commande en boucle fermée et en boucle ouverte

On dit que le système de commande fonctionne en boucle ouverte figure (I.14), lorsqu'il ne reçoit aucune information sur la sortie à commander. On dit qu'il fonctionne en boucle fermée figure (I.15), lorsqu'il dispose d'une information sur la sortie à contrôler. Dans ce cas, il travaille par comparaison entre la sortie à commander et la grandeur de référence à lui faire atteindre.

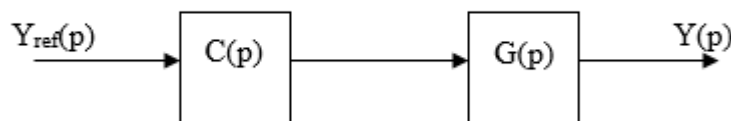


Figure.I.14 : Schéma générale d'un système asservi linéaire en boucle ouverte [3].

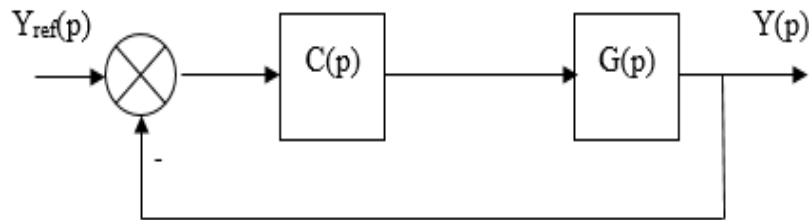


Figure.I.15 : Schéma général d'un système asservi linéaire en boucle fermée [3].

Pour contrôler, mesurer ou modifier les signaux et les informations électriques on utilise des composants électroniques qui sont assemblés sous forme de circuits parmi ces éléments on distingue les microcontrôleurs.

I.4. Le microcontrôleur

C'est un circuit programmable capable d'exécuter un programme et qui possède des circuits d'interface intégrés avec le monde extérieur [6] figure (I.16).

Un microcontrôleur est un composant réunissant sur un seul et même silicium un microprocesseur, divers dispositifs d'entrées/sorties et de contrôle d'interruptions ainsi que de la mémoire, notamment pour stocker le programme d'application.

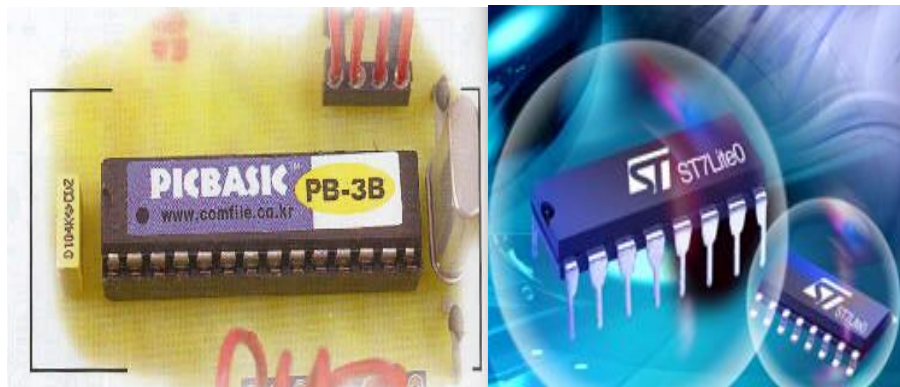


Figure.I.16 : Microcontrôleurs [6].

Il existe plusieurs familles de microcontrôleurs (Atmel, Micro-chip et Motorola) se différenciant par la vitesse de leur processeur et par le nombre de périphériques qui les composent. Toutes ces familles ont un point commun c'est de réunir tous les éléments essentiels d'une structure à base de microprocesseur sur une même puce. Voici généralement ce que l'on trouve à l'intérieur d'un microcontrôleur [6].

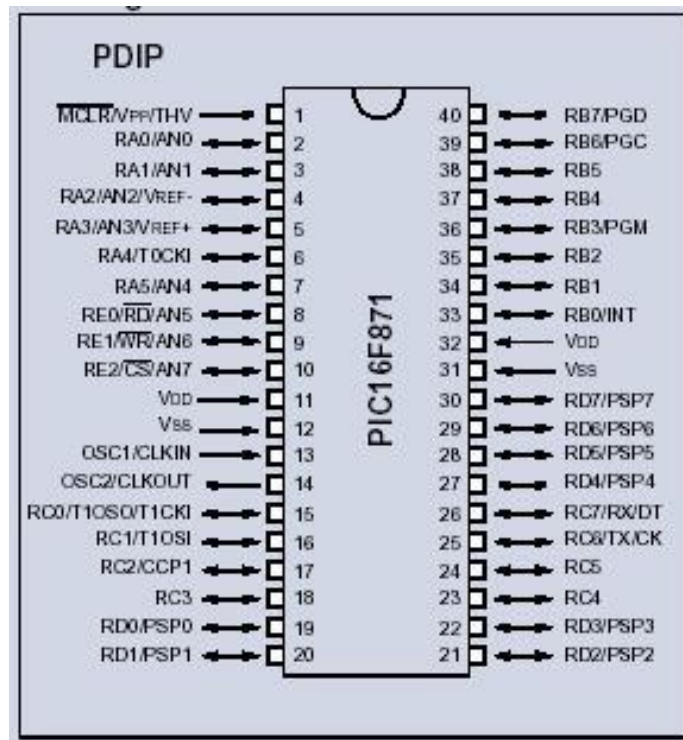


Figure.I.17 : brochage du PIC16F871 [6].

- Un processeur (C.P.U.),
- Des bus,
- De la mémoire de donnée (RAM et EEPROM),
- De la mémoire programme (ROM, OTPROM, UVPROM ou EEPROM),
- Des interfaces parallèles pour la connexion des entrées / sorties,
- Des interfaces séries (synchrone ou asynchrone) pour le dialogue avec d'autres unités,
- Des timers pour générer ou mesurer des signaux avec une grande précision temporelle.

➤ Les avantages du microcontrôleur

L'utilisation des microcontrôleurs pour les circuits programmables à plusieurs points forts et bien réels. Il suffit pour s'en persuader, d'examiner la spectaculaire évolution de l'offre des fabricants de circuits intégrés en ce domaine depuis quelques années.

Nous allons voir que le nombre d'entre eux découle du simple sens.

- Tout d'abord, un microcontrôleur intégré dans un seul et même boîtier ce qui, avant nécessitait une dizaine d'éléments séparés. Il résulte donc une diminution évidente de l'encombrement en matériel et du circuit imprimé.
- Cette intégration a aussi comme conséquence immédiate de simplifier le tracé du circuit imprimé puisqu'il n'est plus nécessaire de véhiculer des bus d'adresses et de données d'un composant à un autre.
- L'augmentation de la fiabilité du système, puisque, le nombre des composants diminuant, le nombre des connexions composants/supports ou composants/circuits imprimés diminue.

- Réalisation des applications non réalisables avec d'autres composants.

➤ **Les défauts des microcontrôleurs**

Comme tout matériel le microcontrôleur a des défauts, et parmi ses de inconvénients on site :

- Le microcontrôleur est souvent surdimensionné devant les besoins de l'application.
- Investissement dans les outils de développement.
- Écrire les programmes, les tester et tester leurs mises en place sur le matériel qui entoure le microcontrôleur.
- Incompatibilité possible des outils de développement pour des microcontrôleurs de même marque.

I.5. Carte Arduino

Le système Arduino est une carte électronique basée autour d'un microcontrôleur et de composante minimum pour réaliser des fonctions plus au moins évoluées bas coût, elle possède une interface USB pour la programmée. C'est une plateforme open-source qui est basée sur une simple carte à microcontrôleur de la famille AVR. C'est un environnement de développementintègre pour écrire, compilé et transférer n'importe quel programme vers la carte microcontrôleur [1].

➤ **Les différentes cartes Arduino**

Des cartes Arduino il en existe beaucoup, peut-être des centaines toutesdifférentes parmi eux :

-La carte Arduino **UNO**

Cette carte électronique figure (I.18) peut être autonome et fonctionner sans ordinateur :

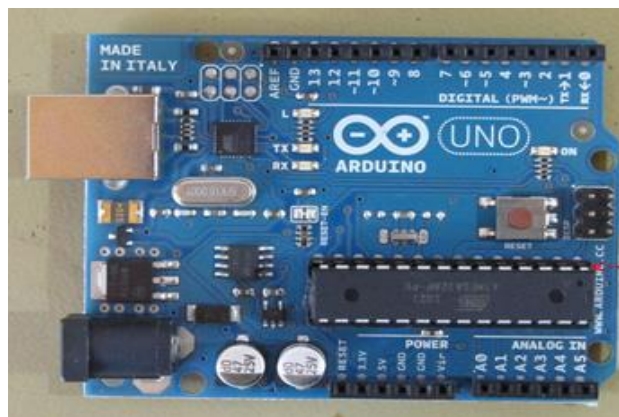


Figure.I.18 : Carte Arduino UNO [8].

- La carte Arduino **MEGA**

La carte Arduino méga figure (I.19), est une carte qui offre toute les fonctionnalités des précédentes mais avec des options en plus ; on retrouve notamment un nombre d'entrées et de sorties plus importante ainsi que plusieurs liaisons séries en revanche le prix est plus élevée[1][8] [5].



Figure.I.19 : Carte Arduino MEGA [1]

➤ Les constitutions de la carte Arduino UNO

La carte Arduino UNO R3 figure (I.20)est une carte microcontrôleur basée sur l'Atmega328 du fabricant Atmel AVR.

Voyons quel sont ces point important, et a quoi ils servent [1]

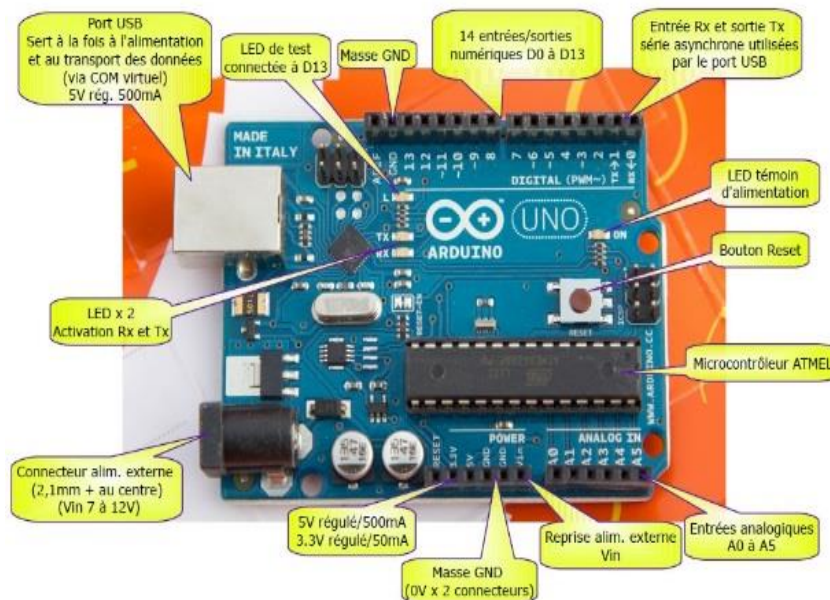


Figure.I.20 : Presentation de la carte Arduino [9].

- Port USB : sert a la fois a l'alimentation et au transport des données.
- LED de teste connecté a D13.
- LED x2 activation Rx et Tx.
- Masse (GND).
- 14 entrées/sorties numériques D0 a D13.
- Entrées Rx et sorties Tx, serie asynchrone utilisées par le port USB.

- LED témoin d'alimentation.
- Bouton reste .
- Microcontrôleur ATMEL.
- Entrées analogiques A0 à A5.
- Reprise alimentation externe Vin.
- Masse GND 0V x2 connecteurs.
- 5V régulé/500mA, 3.3V régulé/50mA.
- Connecteur alimentation externe.

➤ Les bonnes raisons de choisir Arduino

Il existe pourtant dans le commerce une multitude de plateformes qui permettent de faire la même chose. Notamment les microcontrôleurs mais y a plus de raisons pour choisir la carte Arduino [1] :

- Pas cher !
- Environnement de programmation clair et simple.
- Multiplateforme : tourne sous Windows, Macintosh et Linux.
- Nombreuses bibliothèques disponibles avec diverses fonctions implémentées.
- Logiciel et matériel open source et extensible.
- Nombreux conseils, tutoriaux et exemples en ligne (forums, site perso etc...).
- Existence de « shield » (boucliers en français) : ce sont des cartes supplémentaires qui se connectent sur le module Arduino pour augmenter les possibilités comme par exemple : afficheur graphique couleur, interface Ethernet, GPS, etc...

Par sa simplicité d'utilisation, Arduino est utilisée dans beaucoup d'applications comme l'électronique industrielle et embarquée, le modélisme, le domestique mais aussi dans des domaines différents comme l'art contemporain ou le spectacle [1]

L'Arduino permet de programmer des circuits électroniques qui interagissent avec le milieu qui les entoure. Connectés notamment à des capteurs sonores, thermiques, de mouvement, ces circuits électroniques peu coûteux, dénommés microcontrôleurs, peuvent en retour générer des images, actionner un bras articulé, envoyer des messages sur Internet, etc. Des dizaines de milliers d'artistes, de designers, d'ingénieurs, de chercheurs, d'enseignants et même d'entreprises l'utilisent pour réaliser des projets incroyables dans de multiples domaines: Prototypage rapide de projets innovants utilisant l'électronique, Arduino facilitant l'expérimentation en amont de la phase d'industrialisation; Production artisanale d'objets numériques et de machines-outils à faible coût dans la perspective d'une culture d'appropriation technologique favorisant le bricolage et la débrouille; Captation et analyse de données scientifiques (environnement, énergie, etc.) à des fins éducatives, de recherche ou d'appropriation citoyenne; Spectacle vivant, grâce aux nombreuses fonctions d'interaction offertes par Arduino, il est possible de créer des performances de VJing, utiliser le mouvement des danseurs pour générer en temps réel des effets sonores et visuels dans un spectacle; Installations d'arts numériques, Arduino permettant de réaliser des œuvres d'art interagissant de manière autonome avec le public; Mode et design textile, plusieurs stylistes et designers investissent ce domaine créatif en exploitant les possibilités offertes par l'intégration de l'électronique notamment dans des vêtements ; Projets pédagogiques à destination

d'étudiants, de professionnels ou du grand public selon les porteurs de ces initiatives : écoles supérieures, centres de formation spécialisée [5].

Pour notre étude on va choisir un Arduino au lieu d'un microcontrôleur, parce que ce dernier a plus de défauts que d'avantages.

I.6. Conclusion

Dans ce chapitre, le principe des circuits électriques utilisés pour l'excitation des alternateurs sont présents. En suite, nous avons parlé sur les systèmes d'excitation et les différents moyens de réglage. Le but de ce chapitre est de fournir une base théorique utile pour l'interprétation des résultats expérimentaux.

Chapitre II

Modélisation, Régulation et Simulation

II.1. Introduction

On a vu dans le chapitre précédent l'étude des différents moyens de réglage de la tension d'excitation, ce qui nous a conduits à la deuxième partie de notre étude qui se divise en deux parties, la première se focalisera sur la modélisation et le dimensionnement de la charge et du convertisseur (redresseur), tandis que la seconde partie consiste à la simulation des systèmes d'excitation.

II.2. Modélisation et Dimensionnement du système

La modélisation et le dimensionnement du système, consiste à étudier les différents composants qui le constitue.

II.2.1. Modélisation du redresseur

L'alimentation du circuit d'excitation de l'alternateur a besoin d'une tension continue, pour cela on utilise un convertisseur statique afin de redresser la tension du réseau.

Le redresseur est un pont mixte contenant deux thyristors et deux diodes, les diodes conduisent si elles sont placées en direct tandis que les thyristors conduisent lorsqu'on les excite avec un courant qu'on appelle courant de gâchette. Ces impulsions sont délivrées par un générateur d'impulsion espacé d'un angle α qu'on appelle angle d'amorçage [3] [10].

On peut agir sur l'angle d'amorçage α selon la tension moyenne redressée qu'on veut obtenir.

La fonction de transfert du pont est du premier ordre de la forme :

$$\frac{V_s}{V_e} = \frac{G_r}{1+Tp} \quad (\text{II.2})$$

Avec : $T = \alpha + \tau$

Néanmoins, il est à préciser que généralement, la constante de temps du convertisseur est négligeable (2 à 3ms) dans une étude théorique [13]. Par conséquent, on assimile la fonction de transfert du convertisseur à un gain pur noté G_r . le diagramme fonctionnel du redresseur est donné par la figure (II.1) [12].

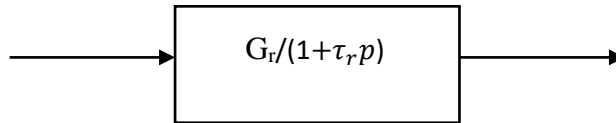


Figure II.1 : Diagramme fonctionnel du convertisseur.

En régime permanent et en conduction continue la valeur moyenne de la tension de sortie \bar{u} est imposée par la tension de commande V_s . En effet, on a :

$$V_s = u_0 \cos \alpha \quad (\text{II.3})$$

Les chutes de tension internes sont considérées incluses dans celles de la charge. Le bloc de commande appelé allumeur est un générateur d'impulsions, de commande des thyristors, synchronisé sur le réseau à partir d'une tension continue de commande v_e issue du régulateur précédent.

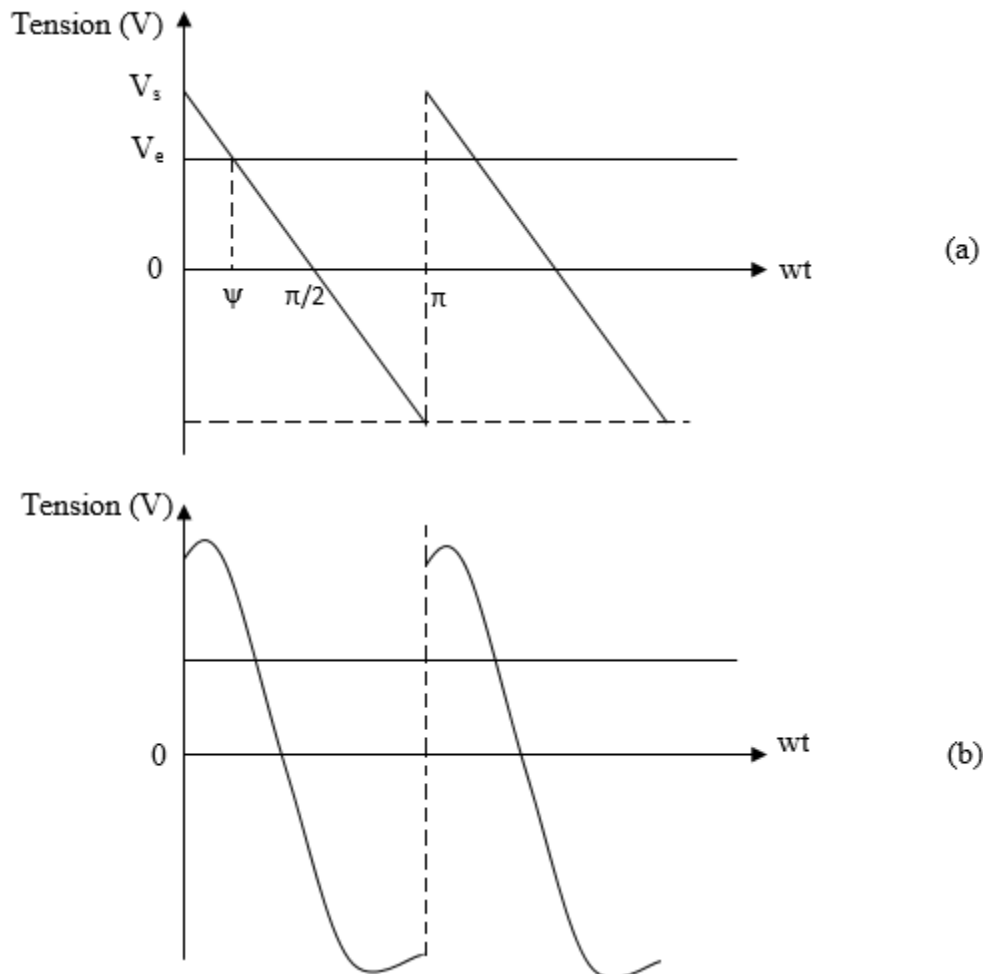


Figure.II.2 : Commande linéaire (a) et cosinus (b) d'un redresseur[13].

$$V_e = A(-\Psi + \delta) \quad (\text{II.4})$$

$$V_e = A' \cos \Psi \quad (\text{II.5})$$

$$V_s = u_0 \cos(V_e / A - \delta) \quad (\text{II.6})$$

$$V_s = \frac{u_0 V_e}{A'} \quad (\text{II.7})$$

Dans le cas sinusoïdal on a « linéarisé » la caractéristique de transfert et on définira un gain statique G_0 par :

$$G_0 = \frac{V_e}{A'} \quad (\text{II.8})$$

G_0 : Constant quelle que soit v_e

Cette commande linéaire donc la fonction de transfert statique du convertisseur ce qui en fait tout son intérêt. En régime dynamique, le système est bien évidemment échantillonné et non linéaire. Cependant si l'on admet que le fonctionnement est continu, que les durées de commutation des interrupteurs sont négligeables vis-à-vis de la période des tensions d'alimentation, que les courants sont suffisamment lisses pour que leurs valeurs instantanées restent proches des valeurs moyennes et que la bande passante de la régulation est faible vis-à-vis de la fréquence de commande, alors le système peut encore être assimilé à un amplificateur de gain G_0 déterminé en régime permanent. Lorsque celui-ci n'est pas constant une linéarisation autour du point de fonctionnement peut s'imposer comme dans le cas de la commande linéaire précédente [10].

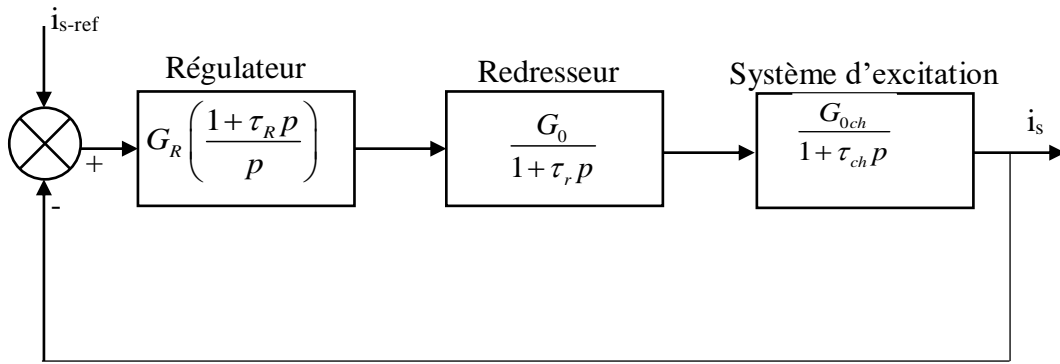


Figure.II.3 : Schéma bloqué du système à simuler.

Le gain est alors défini par :

$$G_0 = \frac{\Delta V_s}{\Delta V_e} \tag{II.9}$$

$$\Delta V_s = -u_0 \sin \Psi \Delta \Psi \tag{II.10}$$

D'où :

$$G_0 = \frac{u_0}{A} \sin \Psi \tag{II.11}$$

Avec la commande linéaire

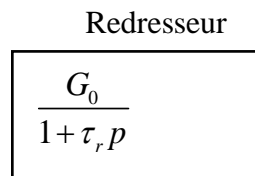
$$\Delta V_e = -A \Delta \Psi \tag{II.12}$$

$$D'où \quad G_d = \frac{u_0}{A} \sin \Psi \tag{II.13}$$

Ce gain varie avec le point de fonctionnement entre les valeurs 0 et $\frac{u_0}{A}$. Il faudra choisir une valeur intermédiaire, ou la valeur maximale, pour fixer le correcteur en fonction de la plage de tension utilisée effectivement. Dans le cas de la commande cosinus le problème n'existe pas puisque la linéarisation est déjà opérée.

Cependant le système étant échantillonné, il existe un retard entre l'instant où la tension v_e varie et celui où son effet se fait sentir. Ce retard est variable de 0 à T_q , période d'ondulation de la tension de sortie du redresseur. On définit alors un retard moyen $\tau = \frac{T_q}{2}$ ou τ est une constante de temps statistique que l'on introduit dans la fonction de transfert, qui devient alors :

$$G(s) = \frac{G_0}{1 + \tau_r p} \tag{II.14}$$



II.2.2. modélisation de la charge (R,L)

la charge utilisée dans notre étude est une charge (R, L), la variation du courant est donnée par l'équation suivante

$$V_s(t) = Ri(t) + \frac{Ldi}{dt} \tag{II.15}$$

$$i_s(t) = \frac{1}{L} \int V_s(t) - Ri(t) dt \tag{II.16}$$

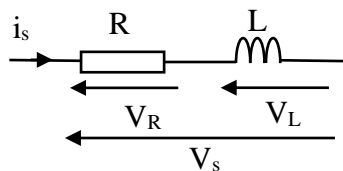


Figure.II.4 : Représentation du modèle de la charge (R, L).

De la figure (II.2) on a :

$$V_s = V_R + V_L \quad (\text{II.17})$$

Alors :

$$V_L = V_s - V_R$$

De l'équation de (II.16) et la figure (II.2):

$$i_s(t) = \frac{1}{p} \left[\frac{1}{L} (V_s - V_R) \right] \quad (\text{II.18})$$

on a

$$V_R = Ri(t)$$

on remplace V_R dans l'équation (II.29) on aura :

$$i_s(t) = \frac{1}{p} \left[\frac{1}{L} (V_s - Ri_s(t)) \right]$$

Alors:

$$i_s(t) = \frac{1}{p} \frac{1}{L} V_s - \frac{1}{p} \frac{1}{L} Ri_s(t)$$

Donc:

$$i_s(t) + \frac{1}{p} \frac{1}{L} Ri_s(t) = \frac{1}{p} \frac{1}{L} V_s$$

D'où :

$$i_s(t) \left(1 + \frac{1}{p} \frac{1}{L} R \right) = \frac{1}{p} \frac{1}{L} V_s$$

Cela implique :

$$\frac{i_s(t)}{V_s} = \frac{\frac{1}{p} \frac{1}{L}}{1 + \frac{1}{p} \frac{1}{L} R} \quad (\text{II.19})$$

On multiplie et en devise par $\frac{pL}{R}$:

$$\frac{i_s(t)}{V_s} = \frac{\frac{1}{R}}{\frac{pL}{R} + 1} \quad (\text{II.20})$$

De l'équation (II. 20) la fonction de transfert de la charge est comme suite :

$$G_{ch}(p) = \frac{G_{0ch}}{\tau_{ch} p + 1} \quad (\text{II.21})$$

Tel que : $G_{0ch} = \frac{1}{R}$ et $\tau_{ch} = \frac{L}{R}$

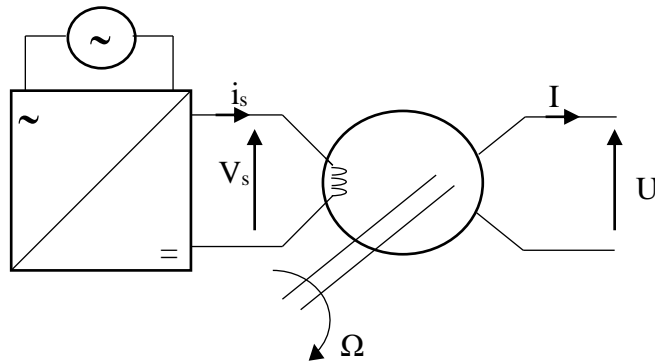


Figure.II.5 :Schéma bloc du system sans régulateur (convertisseur et charge)

II.2.1. Dimensionnement du régulateur PI

La structure générale d'un régulateur proportionnel intégral, noté PI, est composée de la fonction proportionnelle et de la fonction intégrale mises en parallèle. Sa fonction de transfert est donnée par l'équation suivante :

$$C(p) = K_p + \frac{K_i}{p}$$

Alors :

$$C(p) = \frac{pK_p + K_i}{p} = K \left(1 + \frac{1}{Tp} \right) \quad (\text{II.22})$$

Avec :

$$K = K_p \quad , \quad T = K_p / K_i$$

L'avantage principal d'un régulateur PI

est qu'il annule l'erreur statique grâce à la fonction intégrale et non pas en utilisant les coefficients K_p et K_i . En effet, il calcule la commande $u(t)$ à injecter au système en intégrant la grandeur d'erreur $\varepsilon(t)$. Ainsi, le signal de commande augmente tant que le signal d'erreur est non nul, la commande $u(t)$ ne cesse de croître tant que l'erreur entre la sortie $y(t)$ et la référence $y_{\text{ref}}(t)$ n'est pas nulle [3]. La fonction de transfert de la boucle fermée est donnée par :

$$G_{pf}(p) = \frac{C(p)G(p)}{1 + C(p)G(p)} \quad (\text{II.23})$$

Alors :

$$G_{bf}(p) = \frac{\left(K \left(1 + \frac{1}{Tp} \right) \right) G(p)}{1 + \left(K \left(1 + \frac{1}{Tp} \right) \right) G(p)} \quad (\text{II.24})$$

Qui montre que le régulateur PI ajoute un zéro à la fonction de transfert en boucle fermée. Celui-ci peut éventuellement être utilisé pour compenser un pôle de la fonction de transfert du système à commander, simplifiant ainsi l'ordre du transfert en boucle fermée. Il existe donc deux méthodes pour déterminer les paramètres K_p et K_i du régulateur [3].

1. **La méthode par compensation de pôle:** Cette méthode se déroule en deux étapes, elle consiste, dans une première étape, à utiliser le zéro du régulateur ($-K_i/K_p$) pour compenser un pôle du système à commander. Elle permet ainsi de simplifier l'ordre de la fonction de transfert en boucle ouverte. Cette compensation donne la première équation permettant de calculer les deux paramètres K_p et K_i . Dans une seconde étape, on calcule la fonction de transfert en boucle fermée, et on détermine une seconde équation permettant de calculer le deuxième coefficient du régulateur [10].

2. **La méthode par placement de pôle de la boucle fermée** : Cette méthode consiste à déterminer la fonction de transfert en boucle fermée directement [3]. Les deux paramètres K_p et K_i sont alors déterminés afin d'imposer deux pôles du dénominateur de la fonction de transfert de la boucle fermée.

En boucle ouverte on a :

$$G_{bo}(p) = \frac{K_p}{p} \left(p + \frac{K_i}{K_p} \right) \frac{G_0}{T(p+1/T)} \quad (\text{II.25})$$

On impose :

$$\frac{K_i}{K_p} = \frac{1}{T} \quad (\text{II.26})$$

Alors la fonction devient :

$$G_{bo}(p) = \frac{K_p G_0}{Tp} \quad (\text{II.27})$$

Qui en boucle fermée donne :

$$G_{bf}(p) = \frac{\frac{K_p G_0}{T}}{p + \frac{K_p G_0}{T}} = \frac{1}{1 + T_{bf} p} \quad (\text{II.28})$$

Avec : $T_{bf} = \frac{T}{K_p G_0}$ la constante de temps de la boucle fermée.

La constante de temps T_{bf} de la fonction de transfert en boucle fermée dépend du gain K_p du régulateur. Elle peut donc être imposée arbitrairement. Si on impose $T_{bf} = \frac{T}{\alpha}$ (α étant un nombre réel positif quelconque), alors :

$$T_{bf} = \frac{T}{K_p G_0} = \frac{T}{\alpha} \Rightarrow K_p = \frac{\alpha}{G_0} \quad (\text{II.29})$$

De l'équation (II.7), on déduit l'expression de K_i donnée par :

$$K_i = \frac{\alpha}{G_0 T}$$

Finalement, les paramètres du régulateurs sont dans ce cas donnés par :

$$K_p = \frac{\alpha}{G_0} \quad (\text{II.30})$$

$$K_i = \frac{\alpha}{G_0 T} \quad (\text{II.31})$$

II.3. Simulation du système

Dans cette partie de notre travail on se focalisera sur la simulation de notre système et le résultat quand va obtenir.

La figure (II.6) et la figure (II.8) représentent les schémas blocs de notre système à étudier, qu'on va réaliser lors du chapitre suivant

- le schéma bloc de notre système sans le régulateur.

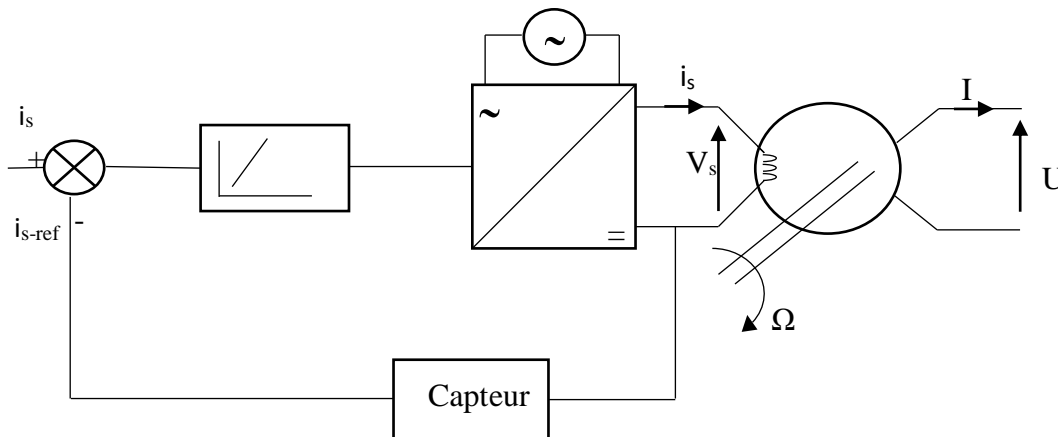
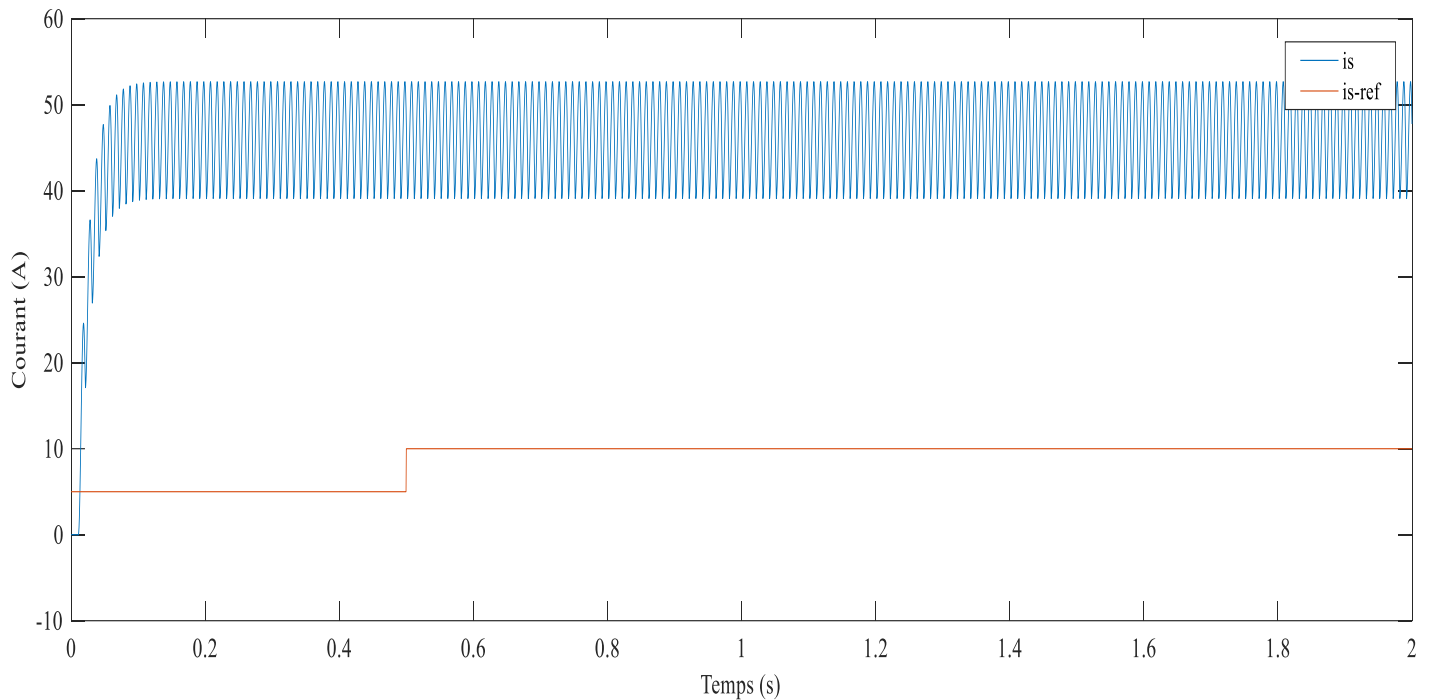
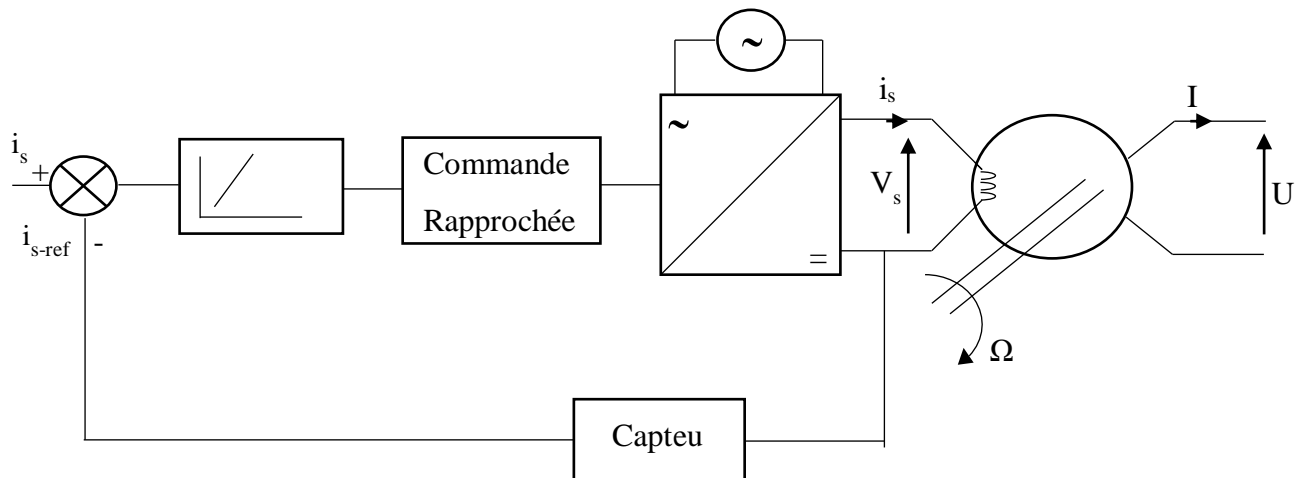


Figure.II.6 : Schéma bloc du système à étudier sans régulateur.**Figure.II.7 :** Représentation graphique du courant de charge et le courant de référence sans régulateur.

La figure (II.7) représente le graphe du courant de charge et le courant de référence qu'on lui impose.

On remarque dans cette figure que le courant de charge ne suit pas le courant de référence qu'on lui a imposée.

➤ le schéma bloc de notre système à étudier avec un régulateur.

**Figure.II.8 :** Schéma bloc du système à étudier avec régulateur.

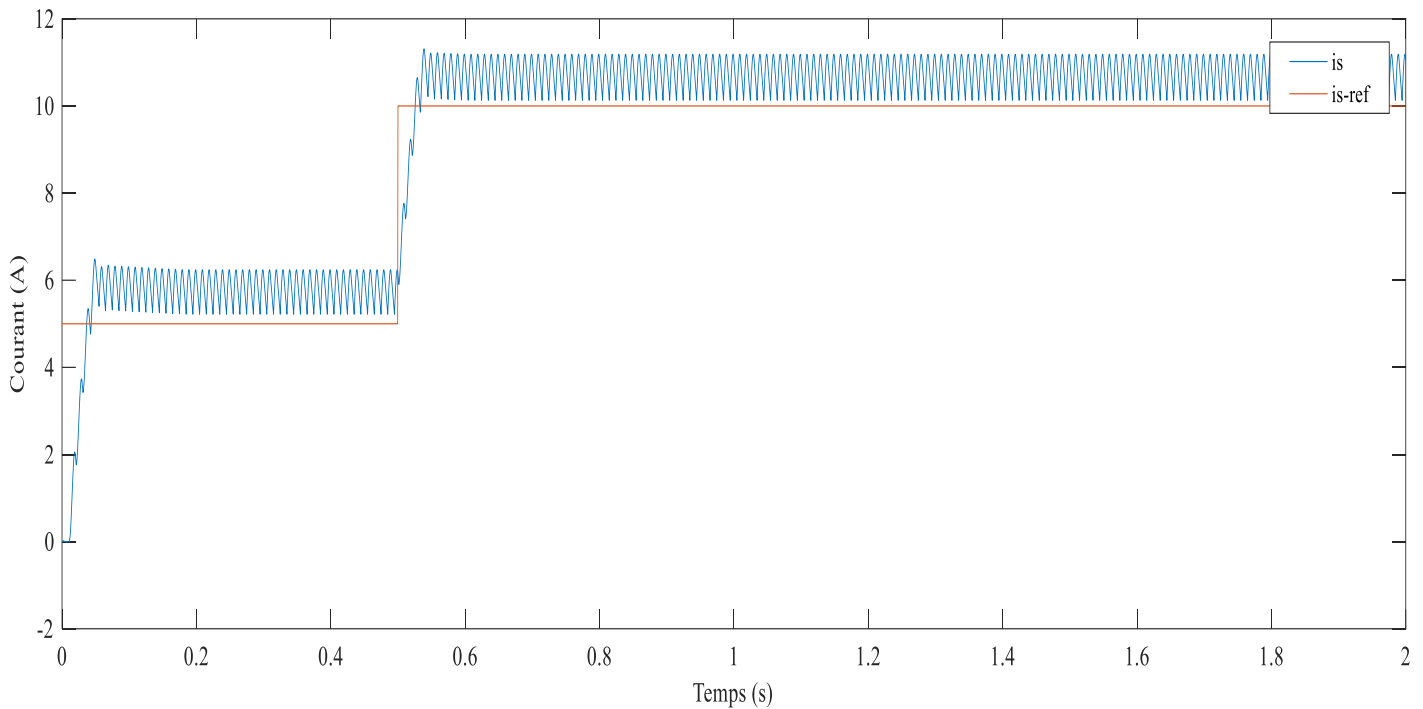


Figure.II.9 : Représentation graphique du courant de charge et de référence avec régulateur.

La figure (II.9) représente le graphe du courant de charge et le courant de référence qu'on lui impose avec régulateur. On remarque que le courant de charge suit le courant de référence qu'on lui a imposé et cela est dû au régulateur qu'on a ajouté.

II.4. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté la modulation et le dimensionnement du redresseur mixte double alternance. Nous avons également simulé ce dernier en variant le courant de référence de la charge. Après simulation du circuit de commande, on a remarqué qu'il y a une différence entre les deux circuits (avec et sans régulateur), on a pu constater aussi que si on insère un régulateur, on obtiendra le résultat voulu.

Chapitre III

Réalisation pratique et résultats expérimentaux

III.1.Introduction

Dans ce chapitre, la commande d'un redresseur mixte sera présentée. Dans cette partie, ses différentes cartes électroniques réalisées seront présentées (carte des moments du passage par zéro et la carte du redresseur mixte).

III.2.Réalisation de la carte des passages par zéro de la tension alternative

Le redresseur mixte utilisé pour alimenter le circuit d'excitation de l'alternateur est contrôlé par des angles d'amorçages qui sont retardés par la commande. Ce retard sert à faire varier la tension moyenne aux bornes de la charge. Ce retard est imposé par la carte de commande qui reçoit au préalable des signaux (de la carte électronique illustrée dans la figure ...) indiquant le passage par zéro de la tension d'alimentation (source de tension alternative).

Pour la carte de passage par zéro est une carte électronique, elle est utilisée dans le but de visualiser les moments où la tension alternative passe par zéro.

➤ Schéma et composants

Pour la réalisation de la carte des moments du passage à zéro, on a utilisé le circuit de la figure (C.1) sur le Protus. (Annexe C)

Les composants utilisés pour la carte des moments du passage à zéro de la tension sont présentés dans la figure (C.1). (Annexe C)

➤ Développement et réalisation

Tous les composants précédents ont été utilisés sur le protus afin d'aboutir au circuit magnétique figure (C.3) qui a été développé au laboratoire de LATAGE (Annexe C).

Après avoir assemblé tous les composants électroniques sur le protus on a fini par avoir la carte en 3D de la figure (C.4) (Annexe C)

Les composants électroniques ont été soudés sur la carte au laboratoire de recherche LATAGE de la faculté de Génie Electrique et d'Informatique qui se situe au département d'ELECTROTECHNIQUE

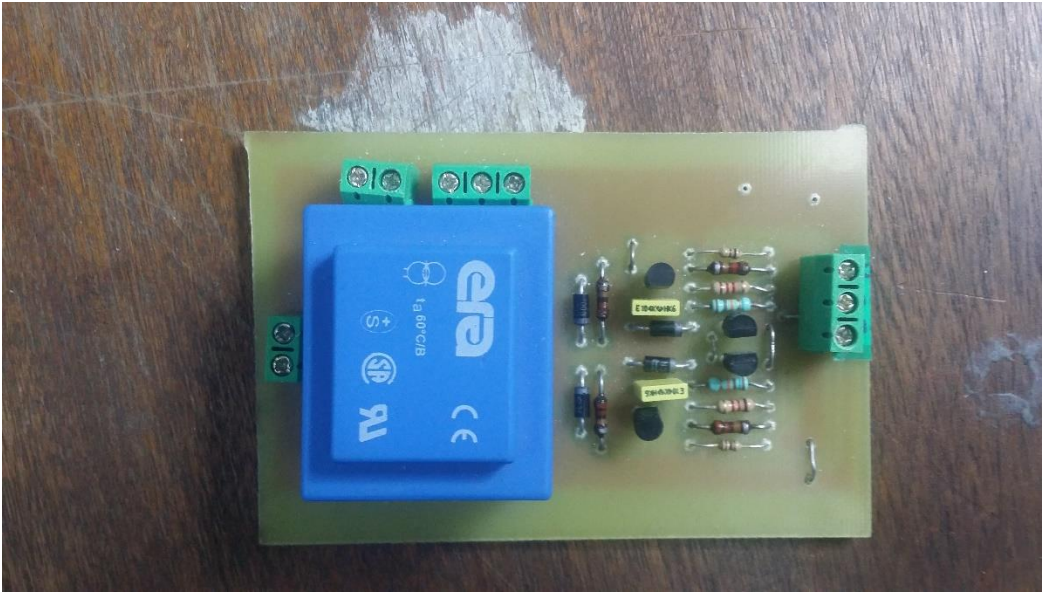


Figure.III.1: Photographie de la carte des passages par zéro de la tension alternative.

On a étudié la continuité de tout le circuit, Après avoir soudé tous les composants, et on a fait les essais sur la carte de passage par zéro. Alors on a utilisé l'oscilloscope pour visualisé les tensions des deux sorties de la carte et les tensions redressées au borne des deux diode figure(III.2).

Jaune : La tension de la sortie A.

Bleu : La tension de la sortie B.

Rouge : La tension à la sortie de la diode D1.

Vert : La tension à la sortie de la diode D2.

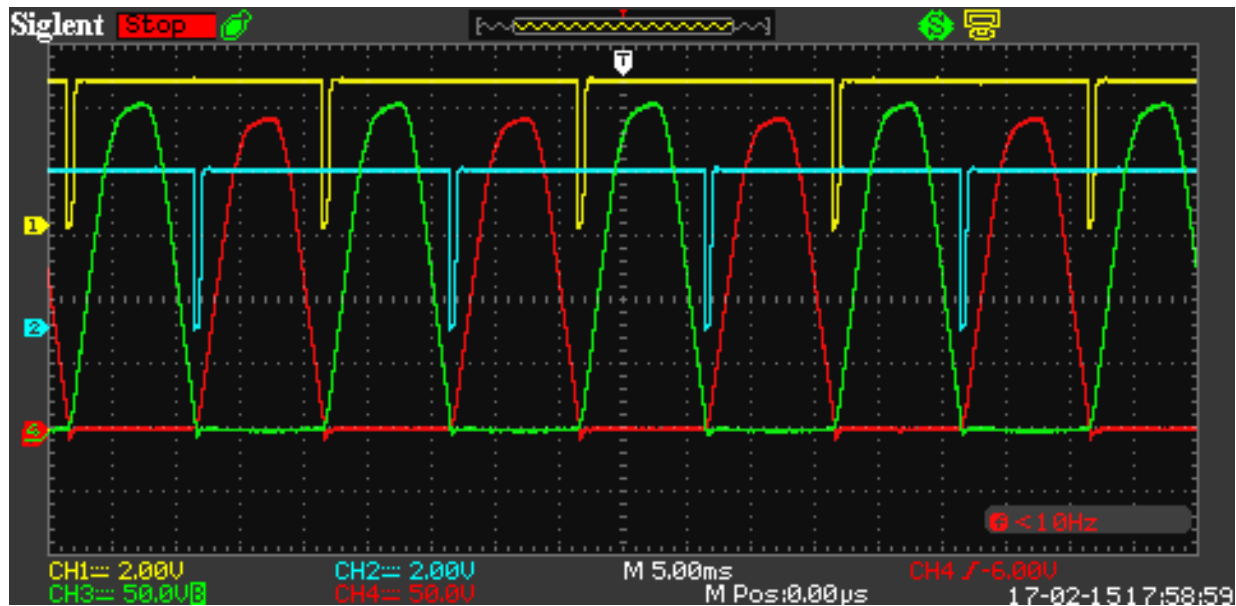


Figure.III.2 : Représentation graphique des signaux des sorties de la carte et les tensions au borne des deux diodes sur l'oscilloscope.

Les tensions redressées sont mesurées aux bornes des diodes D1 et D2, elles servent à détecter le passage à zéro de la tension alternative alimentant le redresseur de puissance (mixte).

Avant d'injecter ces signaux issus de la carte de passage par zéro, on a prévu des Optocoupleur pour protéger la carte Arduino.

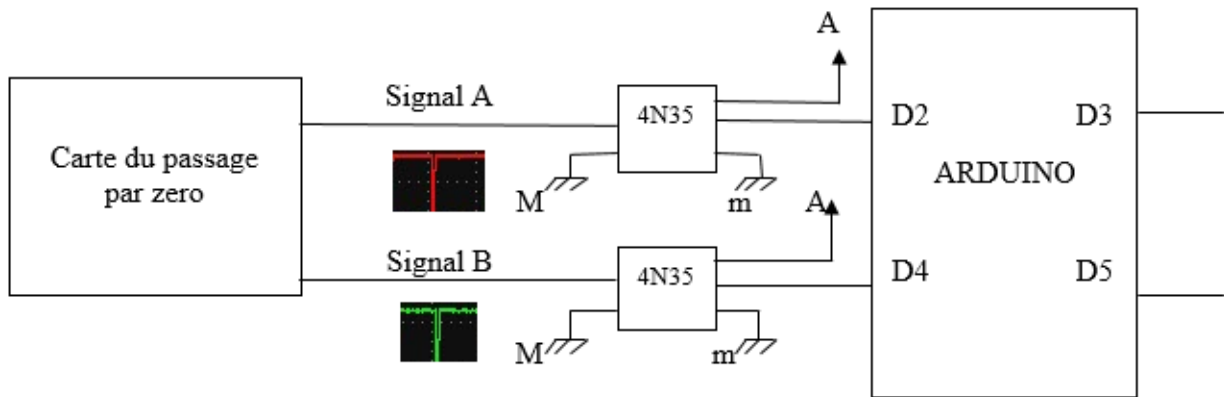


Figure.III.3 : Circuit suivi pour avoir les mêmes signaux sur l'Arduino.

On a utilisé un opto-coupleur afin d'avoir les mêmes signaux que ceux à la sortie de la carte des passages par zéro, on les a placé comme le montre la figure (III.4).

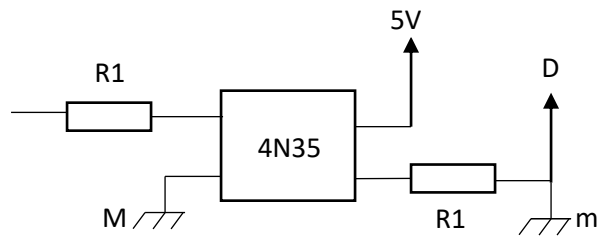


Figure.III.4 : Le branchement de l'Opto-coupleur entre la carte du passage par zéro et l'Arduino.

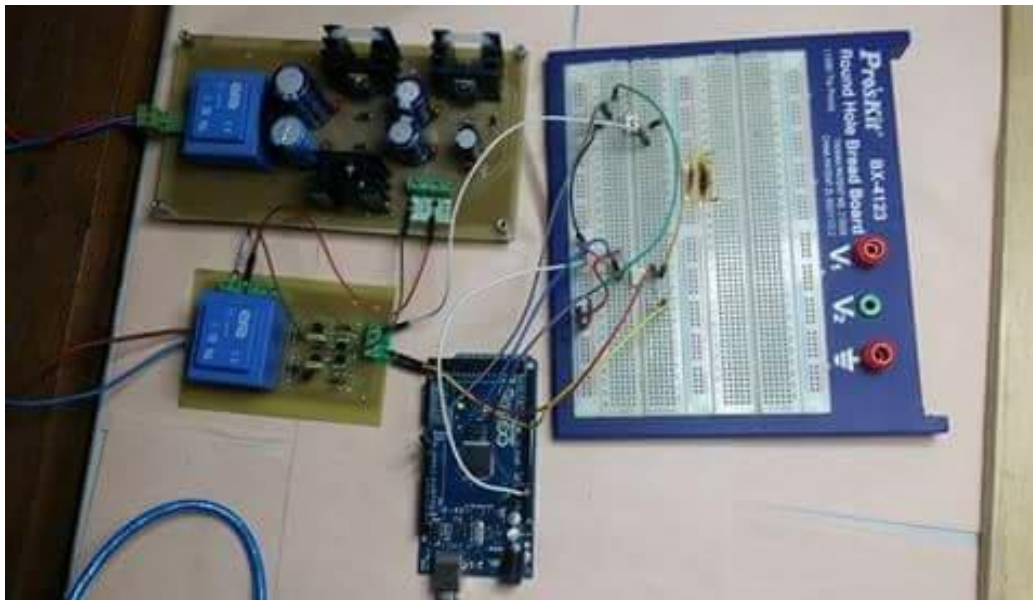


Figure.III.5 : Photographie de l'alimentation de la carte du passage par zéro.

Après avoir utilisé le programme qui suit sur le logiciel Arduino :

```

    const int input_signal_A = 2;
const int ledPin_A = 3;
const int input_signal_B = 4;
const int ledPin_B = 5;
void setup() {
  //-----
  pinMode(input_signal_A, INPUT);
  pinMode(ledPin_A, OUTPUT);
  pinMode(input_signal_B, INPUT);
  pinMode(ledPin_B, OUTPUT);
  //-----
}
void loop() {
  //-----
  if (!digitalRead(input_signal_A)) {
    digitalWrite(ledPin_A, HIGH);
    delay(0);
  } else {
    digitalWrite(ledPin_A, LOW);
  }
  if (!digitalRead(input_signal_B)) {
    digitalWrite(ledPin_B, HIGH);
    delay(0);
  } else {
    digitalWrite(ledPin_B, LOW);
  }
}

```

Les signaux visualisés des deux entrées (D2 et D4) et les deux sorties (D3 et D5) de la figure.III.1 sont les suivants :

Jaune : La tension de l'entrée de l'Arduino D2.

Bleu : La tension de l'entrée de l'Arduino D4.

Rouge : La tension à la sortie A.

Vert : La tension à la sortie B.

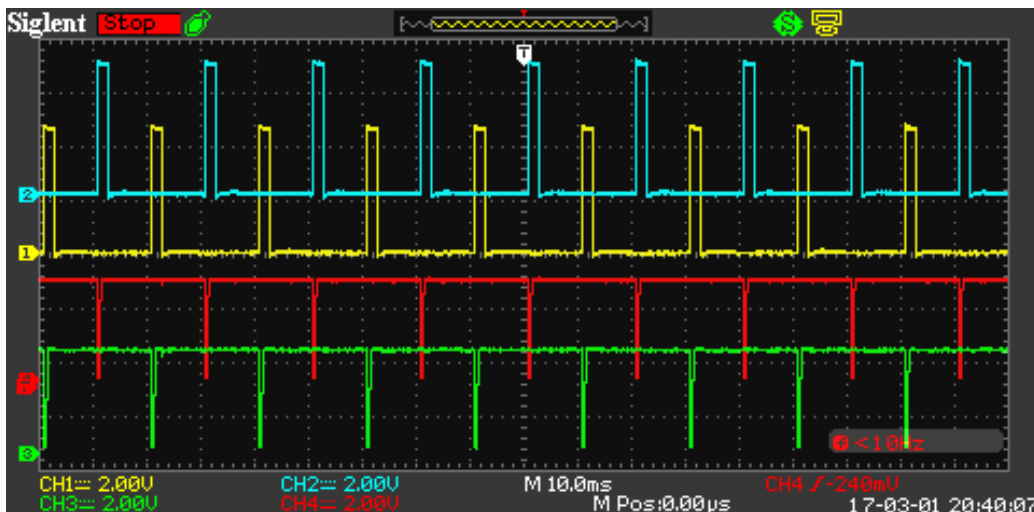


Figure.III.6 : Les signaux d'entrées et sorties de l'Arduino.

On remarque que les signaux des deux sorties de la carte de passage par zéro A et B (jaune et bleu) de la figure(III.2) sont les mêmes que les signaux des entrées de l'Arduino D2 et D4 (rouge et vert). Grâce aux deux Opto-coupleurs utilisés dans le circuit.

III.3. Réalisation de la carte du redresseur

Un redresseur également appelé convertisseur AC/DC, est distingué à alimenter une charge, qui nécessite une tension ou un courant continu.

➤ Schémas et composants

Après avoir réalisé la carte des passages par zéro, on passera à la carte du redresseur et pour la réaliser on va utiliser le circuit suivant sur le protus :

Les composants utilisés pour le redresseur sont dans l'Annexe D.2.

Pour avoir une tension inférieure ou égale à 2.5V, on a utilisé un diviseur de tension qui se compose de deux résistances R6 et R7. Tandis que pour décaler la tension de 2.5V vers le haut (car la carte Arduino ne peut pas tolérer la partie négative de notre signal et une tension supérieure à 5V), on a utilisé R10, R11 et C1 plus le diviseur de tension figure(III.7).

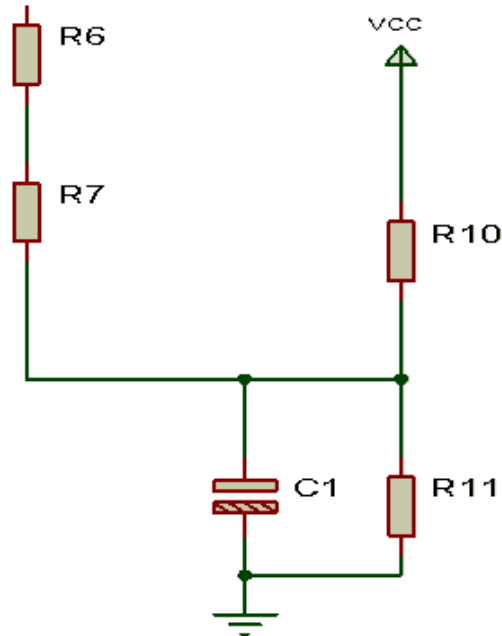


Figure.III.7 :Circuit électrique du décalage de la tension d'entrée.

Afin de visualiser la tension d'entrée (qui a été réduite à 2.5 V et décalée) on branchera une borne de l'oscilloscope vers la résistance R7 et l'autre borne vers la masse.

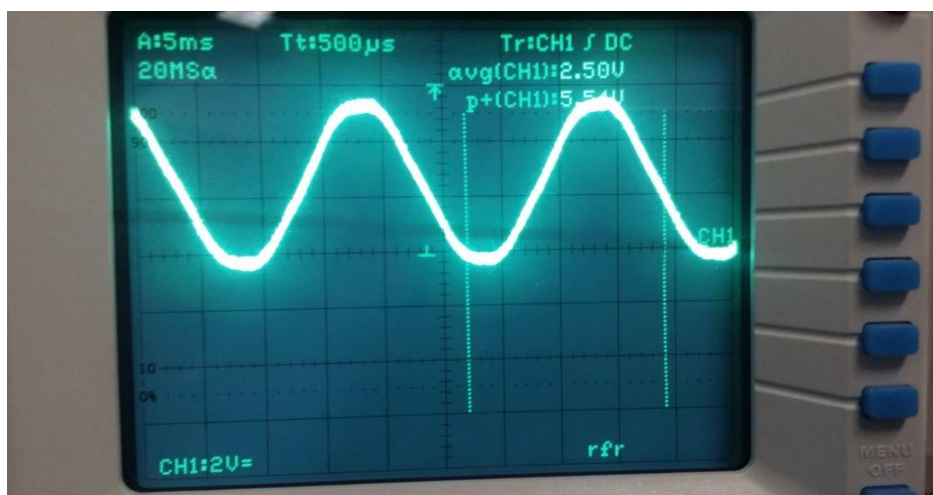


Figure.III.8 : Représentation graphique de la tension d'entrée décalée.

On remarque que la tension d'entrée visualisée sur l'oscilloscope est décalée de 2,5V vers le haut et cela est dû au diviseur de tension.

➤ Développement et réalisation du redresseur mixte

Tous les composants précédents on les a utilisé sur le protus afin d'aboutir au circuit électrique de la figure(D.3) de l'annexe .D. qui a été développé au laboratoire de LATAGE.

Après avoir assemblait tous les composants électroniques sur le protus on a fini par avoir la carte en 3D de la figure(D.4) de l'annexe D.

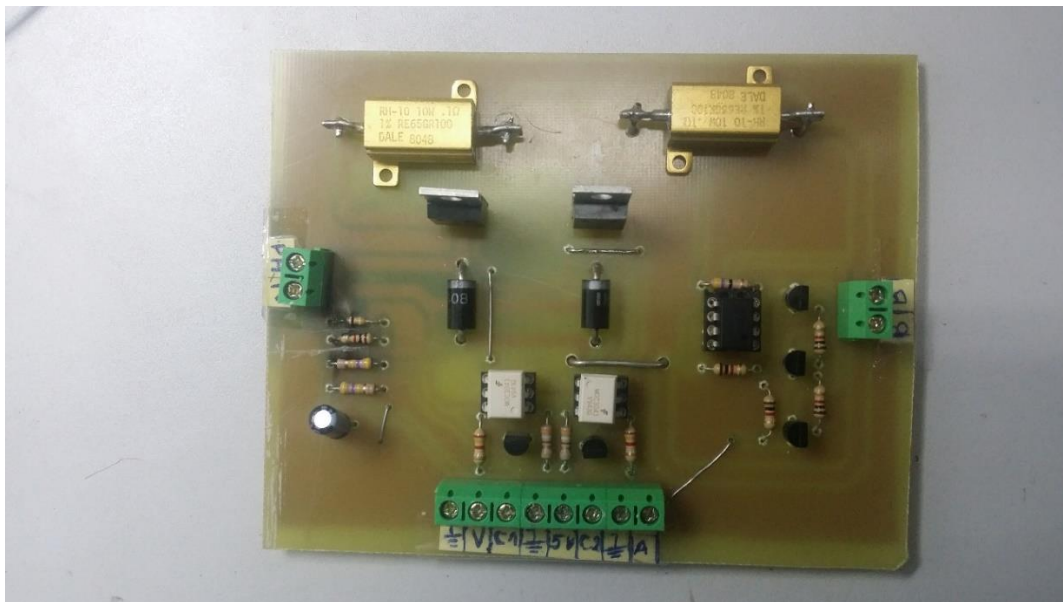


Figure.III.9 : Photographie de la carte du redresseur.

Après toutes les étapes qu'on a effectués pour la réalisation de la carte du redresseur mixte, on a abouti à la carte de la figure(III.9).

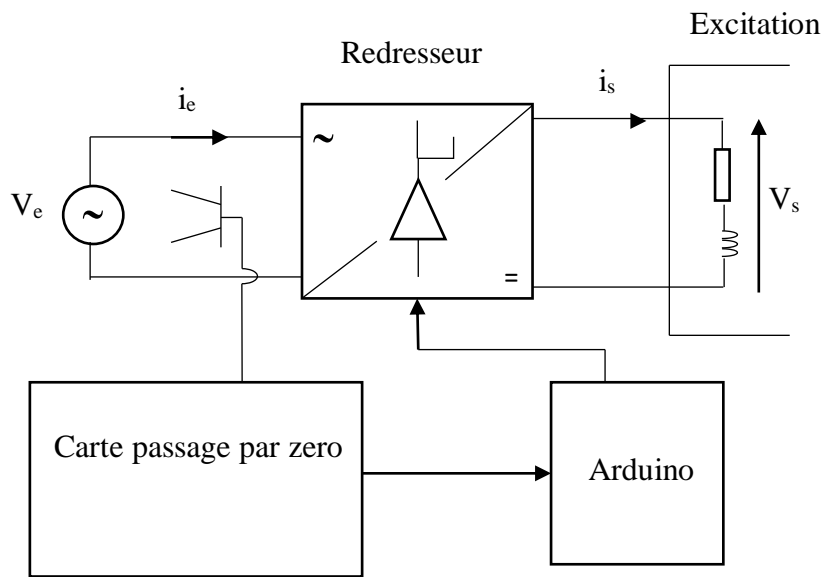


Figure.III.10 :Circuit finale du branchement de tous les composants.

Pour brancher l'auto-coupleur entre l'Arduino et le redresseur, on a utilisé le branchement de la figure(III.11).

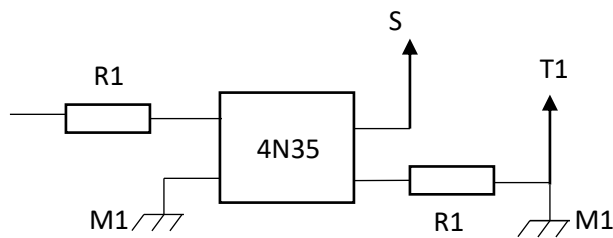


Figure.III.11 :Branchement de l'auto-coupleur entre l'Arduino et le redresseur.

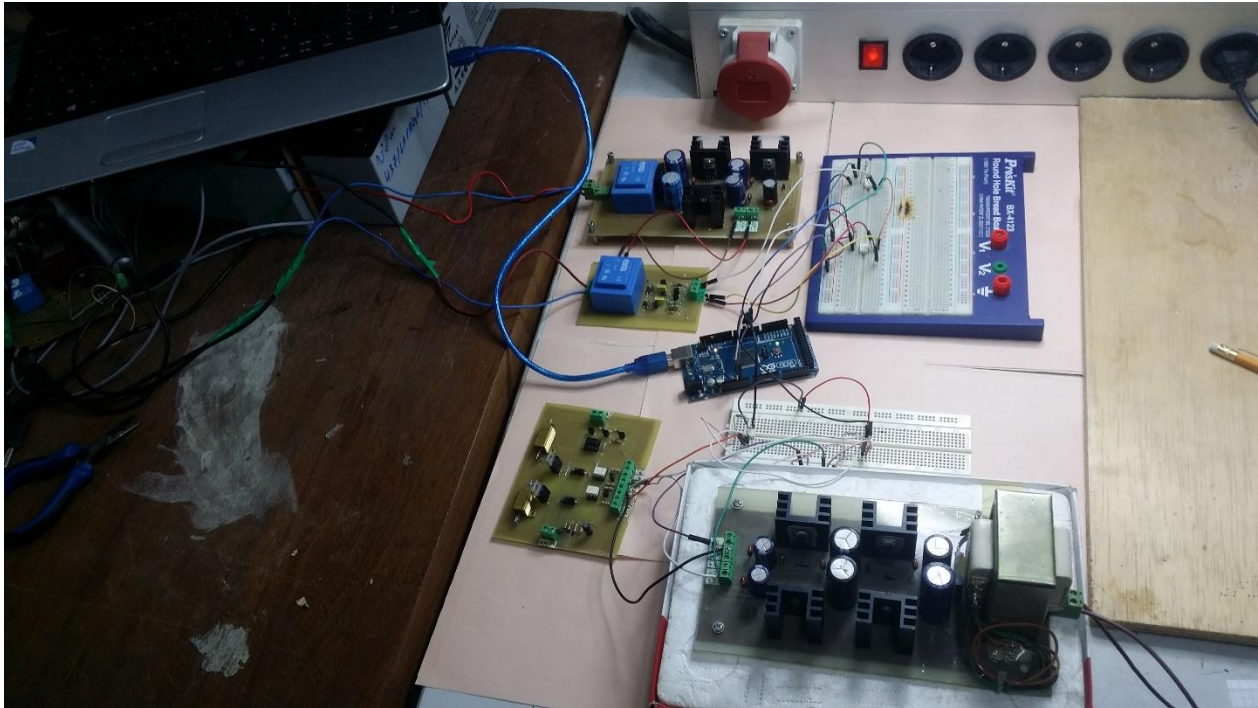


Figure.III.12 : Photographie réel du circuit finale de commande du redresseur.

On a utilisé le même programme l'Arduino que celui utilisé dans l'essai précédent. Et pour visualiser les deux signaux aux bornes des deux thyristors de la figure(III.10).

Les signaux illustrés en figure (III.13), représentent les signaux imposés à l'entrée des drivers des thyristors (MOC 3021).

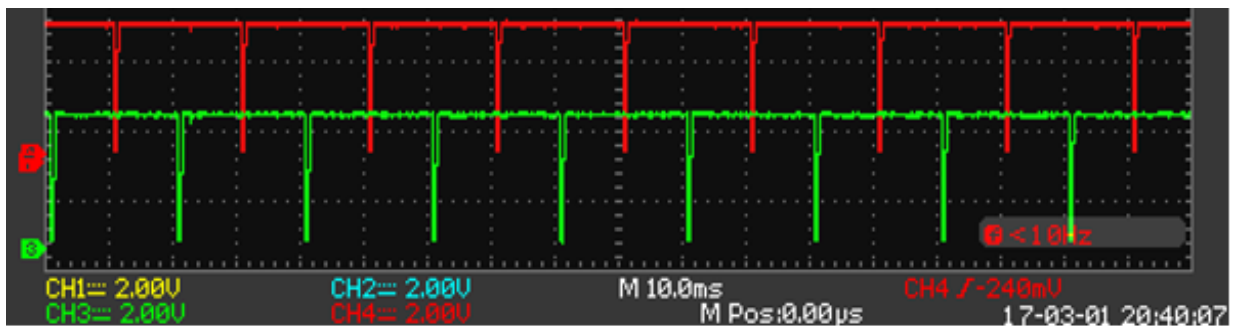


Figure.III.13 : Les signaux qui traversent les deux thyristors.

On remarque que les deux signaux qui sont imposés à l'entrée des drivers des deux thyristors (U1 et U2) de la figure(III.13) sont les mêmes que les signaux aux deux sorties de l'Arduino de la figure(III.6).

III.4. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons pu réaliser les différentes cartes (carte de passage par zéro et la carte du redresseur). Nous avons aussi fait les différentes expériences sur ces dernières les cartes électronique).

Nous avons également testé les différentes cartes et vérifié les signaux d'entrée (passage par zéro) et ceux de sortie (commande des thyristors).

Conclusion générale

L'objectif principal de ce projet de fin d'étude était l'étude, simulation et conception d'un redresseur mixte pour contrôler la tension d'excitation d'un alternateur de petite et moyen puissance. Pour ce faire, ce mémoire a été subdivisé en trois chapitres en plus de l'introduction et conclusion générale.

Dans le premier chapitre des généralités sur le principe et l'intérêt du réglage de la tension d'excitation son exposé.

Le deuxième chapitre a été consacré à la modélisation, dimensionnement et à la simulation de system d'excitation.

Le troisième chapitre est dédié à la réalisation de redresseur mixte ainsi que la commande a ce dernier.

Dans ce modeste travail, nous avons réaliser un redresseur à thyristor (mixte) pour une régulation de la tension d'excitation d'un alternateur de petite puissance. Effectivement, nous avons réalisé l'essentiel de ce travail en particulier le circuit de puissance, le circuit de commande et le programme, qui est aussi de gérer la régulation du courant d'excitation. Nous avons également effectués des essais sur les différentes cartes réalisées.

Ce travail peut être persévéré dans son volet régulation en dimensionnant le régulateur des courant d'excitation ainsi son implémentation sur la carte Arduino.

Références
Bibliographiques

- [1] S .BELKAD. Al F .HETTAL septembre 2015, mémoire de fin d'études: Imtmentation d'algorithmes DSP sur la carte Arduino pour un signal ECG, S
- [2] KH .OURAMDANE mai 2015. Mémoire présenté à l'école de génie de l'université du Québec : Modélisation et optimisation du système d'excitation du groupe turbo-alternateur de la simulation analogique d'Hydro-Québec.
- [3] R .MENSOURI. Cours sur les systèmes Asservis linéaires continus.
- [4] AM .BARAKAT novembre 2011. Thèse de Docteur de l'université de Poitiers : contribution a l'amélioration de la régulation de tension des générateurs synchrone nouvelle structures d'excitations associées à des loi de commande ∞ .
- [5] D.BOURSLIA. Al. M.SAYAD septembre 2015. Mémoire de fin d'étude de master professionnel étude et réalisation d'un suiveur de soleil à base d'une carte Arduino Mega ? UMMTO.
- [6] JUILLOT GUILLAUME 2 septembre 2003 : la programmation des ATMEL AVR.
- [7] B.ABDELKRIME. Al. H. GUEZOULI octobre 2014. Mémoire de master: étude et réalisation d'une carte de commande à base d'un microcontrôleur PIC 16F877 pour ponts redresseurs triphasés a thyristors. Université Abou-Bekr Belkaid Tlemcen.
- [8] SINON LONDRAULT (ESKINON) : arduino : premiers pas en informatique embarqué. Edition de 19 juin 2014.
- [9] Novembre 2006 : Initiation à la mise en œuvre matérielle et logicielle de l'arduino « atelier Arduino ».
- [10] S.OURABIA al F.TAMINE 1993. Mémoire de fin d'études : étude théorique et expérimentale d'un système de commande d'un moteur à courant continu. Université Mouloud Maamri Tizi-Ouzou.
- [11] P.Kundur. "Power System Stability and Control", New York: McGraw-Hill

Inc., 1994.

[12] Hajagos, L.M; Basler, M.J. "Recommended practice for excitation system Models for power system stability studies". Changes to IEEE 421.5 Power Engineering Society General Meeting 2005 IEEE.

[13]

Annexes

Annexe A :

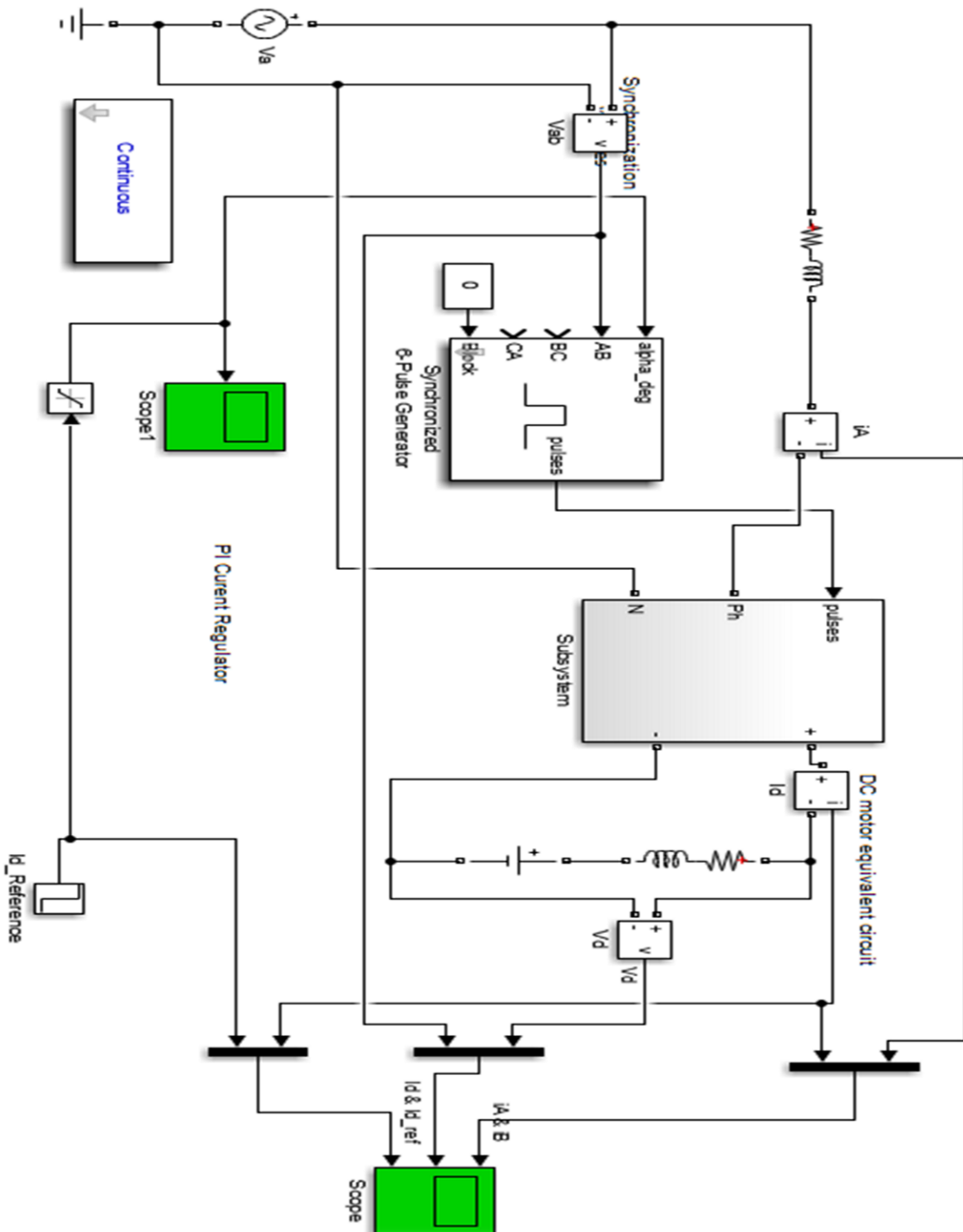


Figure A.1 : Circuit utiliser pour simuler notre système global sans régulateur (sur le Matlab).

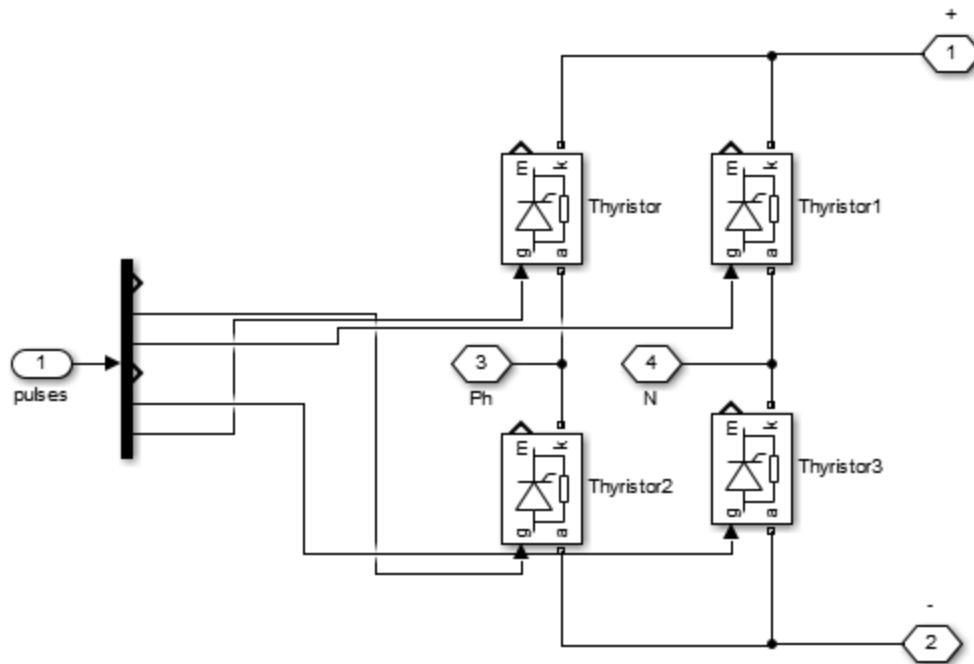


Figure A.2 : Circuit du redresseur tout thyristor sur le Matlab.

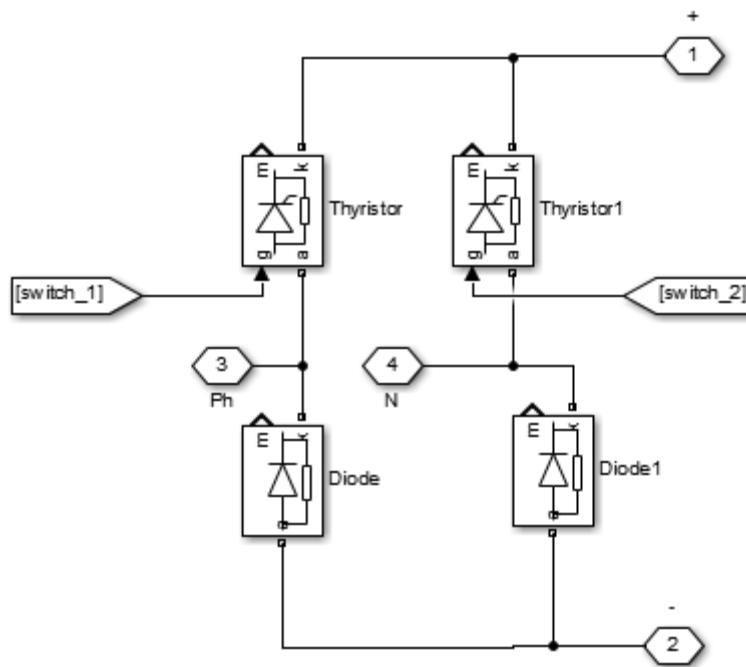


Figure A.3 : Circuit du redresseur mixte sur le Matlab.

Annexe B :

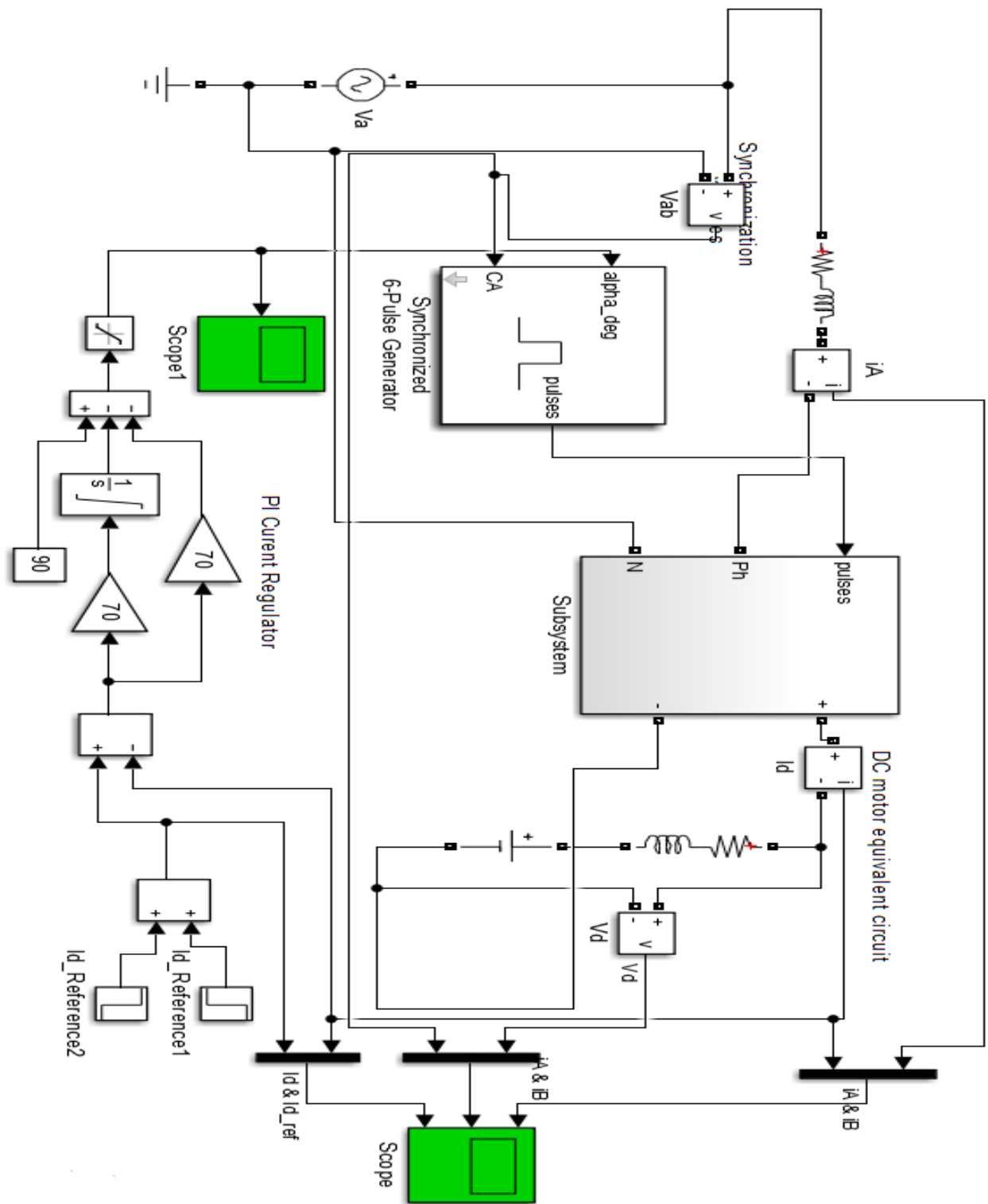


Figure B : Circuit utiliser pour simuler notre système global avec régulateur (sur le Matlab).

Annexe C

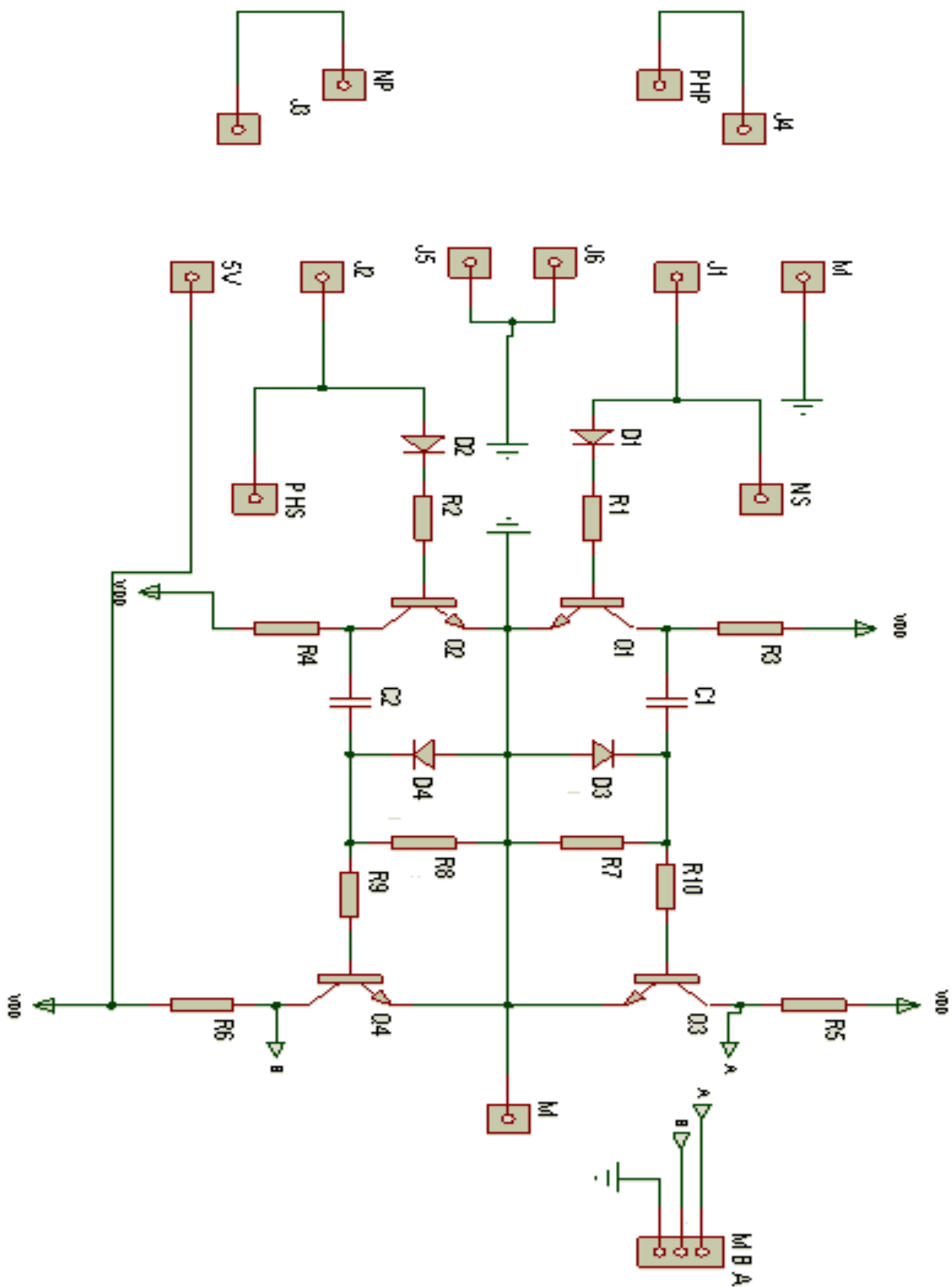


Figure C.1 : Circuit électrique de la carte de passage par zéro sur le Protus.

Annexe C.2 :

$R1 = R2 = 2.2 \text{ K}\Omega$.

$R3 = R4 = 1 \text{ K}\Omega$.

$R5 = R6 = 2.2 \text{ K}\Omega$.

$R7 = R8 = 10 \text{ K}\Omega$.

$R9 = R10 = 1.2 \text{ K}\Omega$.

D1, D2, D3 et D4 sont des diodes 1N4001.

Q1, Q2, Q3 et Q4 sont des transistors BC548.

C1 et C2 sont des condensateurs électroniques.

Un transformateur abaisseur 220V/18V.

Les bornés J1, J2, J3, J4, J5 et J6 sont pour le transformateur.

Les bornés PHP et NP sont pour la tension d'entrée.

Les bornés PHS et NS sont pour le secondaire du transformateur.

Le borné M pour la masse.

Les bornés A et B pour les sorties.

VDD est pour la tension continue de 5V.

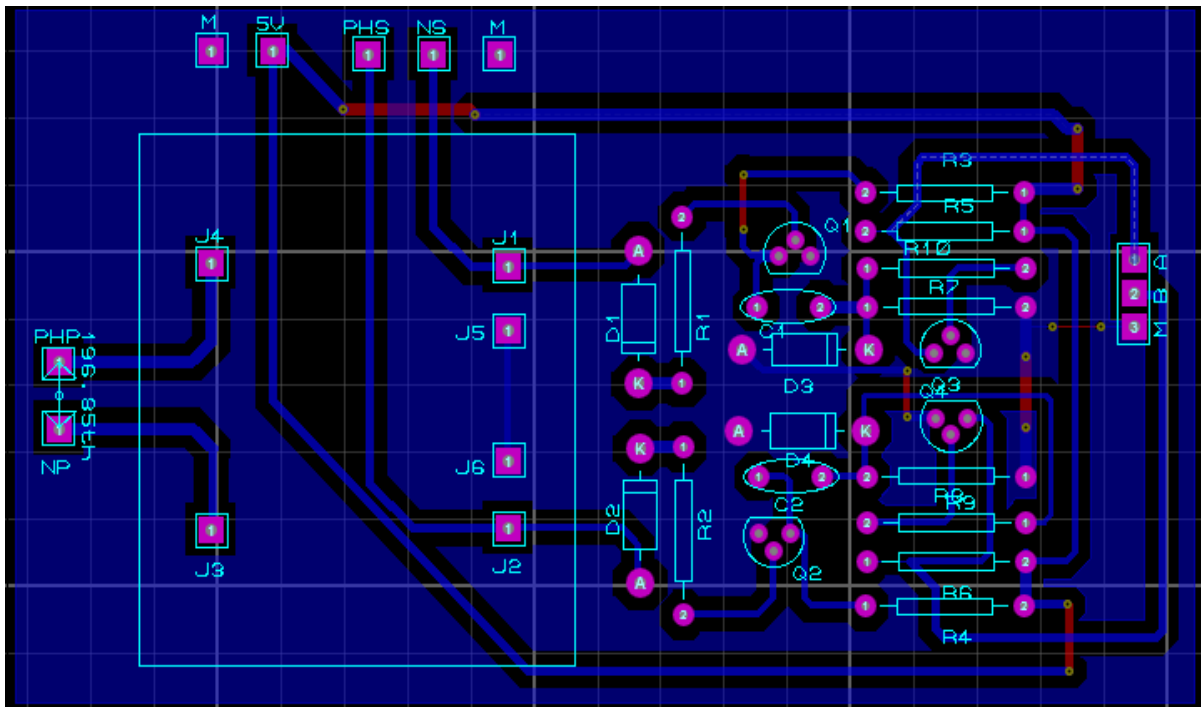


Figure C.3 : Circuit magnétique de la carte de passage par zéro sur le Protus.

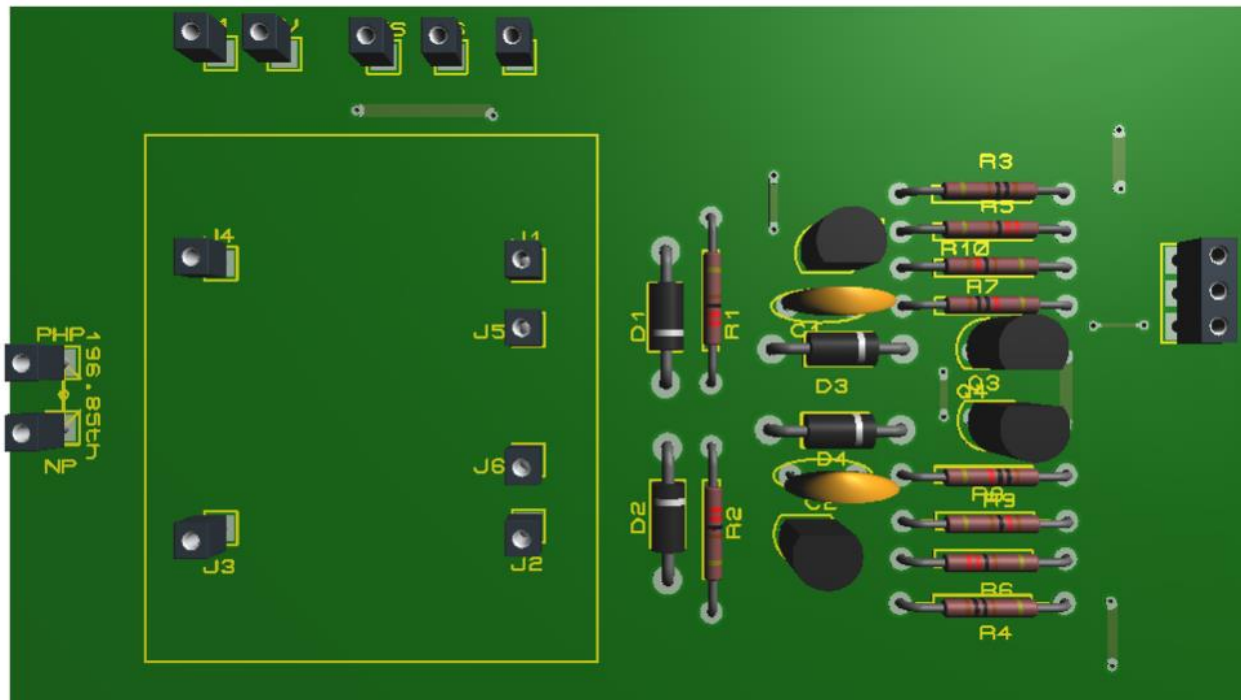


Figure C.4 : Visualisation de la carte de passage par zéro en 3D sur le Protus.

Annexe D.2 :

$$R1 = R2 = 0.33 \text{ K}\Omega$$

$$R3 = R4 = 2.2 \text{ K}\Omega$$

$$R5 = R16 = 0.1 \Omega$$

$$R6 = 100 \text{ K}\Omega$$

$$R7 = R9 = R12 = R13 = R14 = 1 \text{ K}\Omega$$

$$R8 = 50 \Omega$$

$$R10 = R11 = 470 \text{ K}\Omega$$

$$C1 = 10 \mu\text{F}$$

D1 et D2 : sont des diodes 1N5408.

U1 et U2 : Sont des thyristors T107D1.

U3 et U4 : Sont des drivers MOC3021.

U5 : c'est un amplificateur LM741.

Q1 et Q2 : Sont des transistors BC548.

Q3, Q4 et Q5 : Sont des transistors 2N390

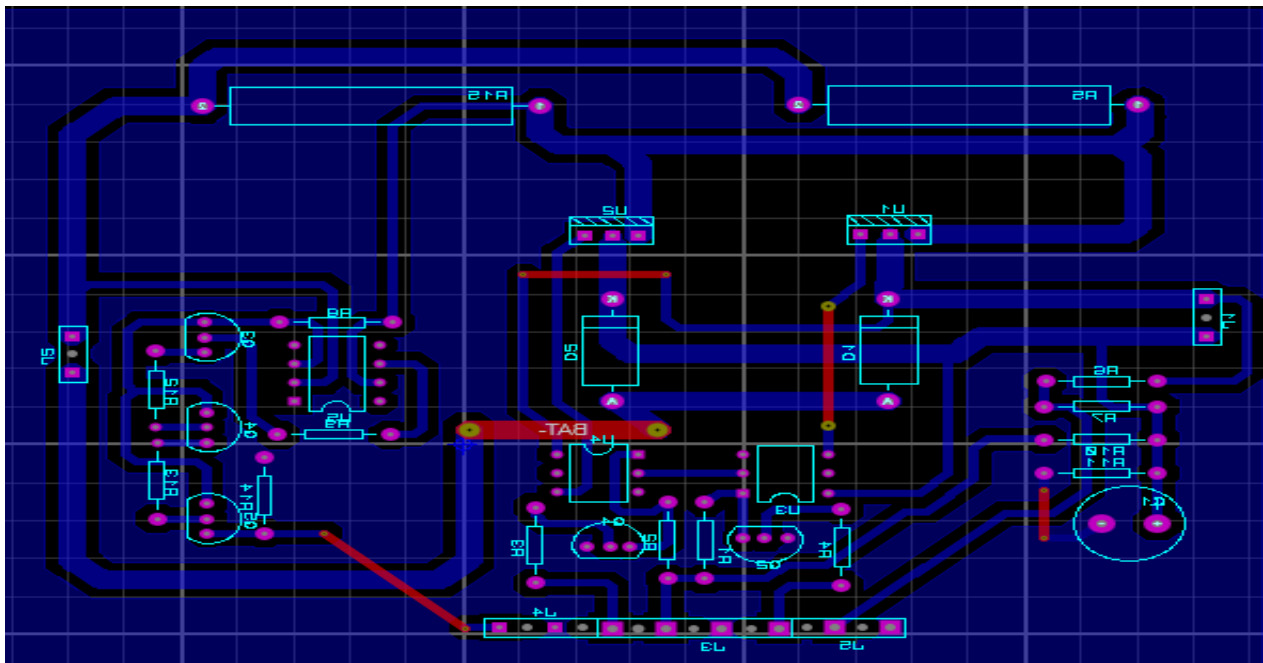


Figure D.3 : Le circuit magnétique du redresseur sur le Protus.

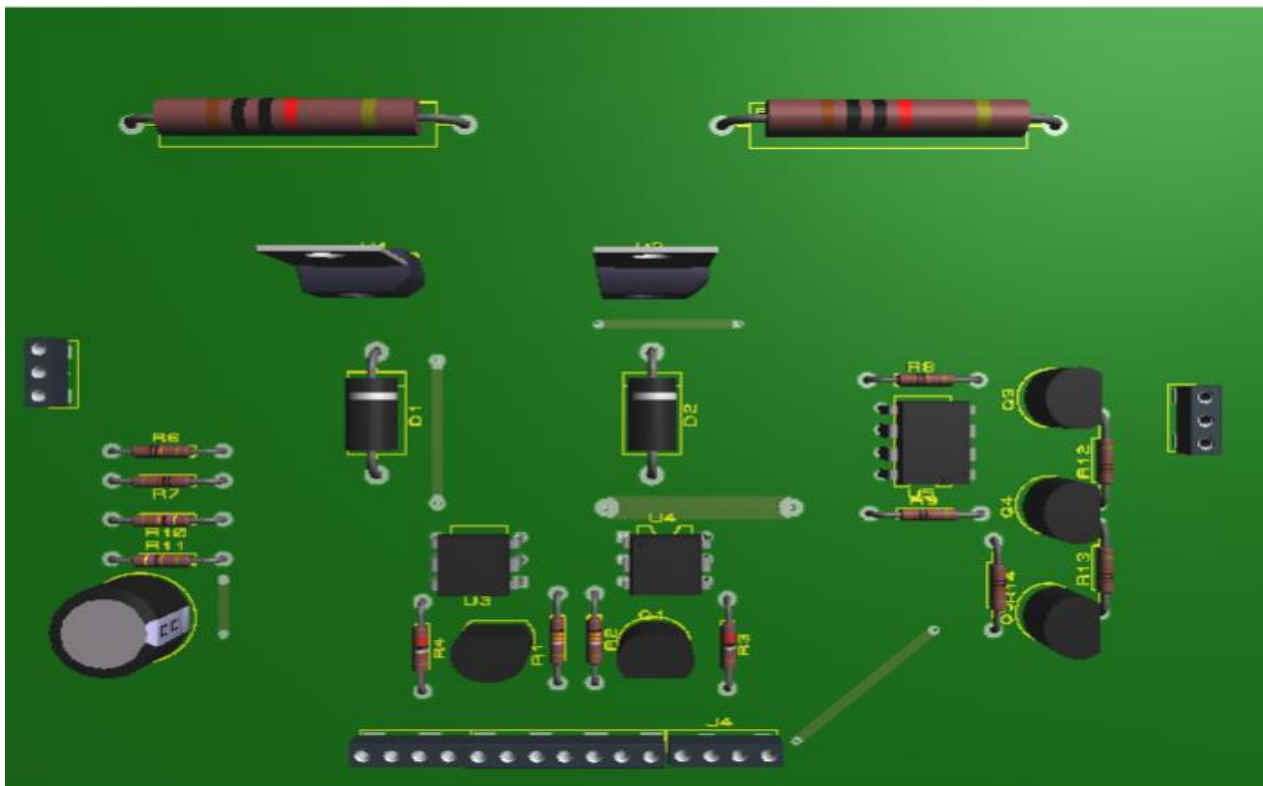


Figure D.4 : Visualisation du redresseur en 3D sur le Protus.

Résumé

Les générateurs synchrones (alternateurs) sont les machines les plus utilisées pour la génération de l'énergie électrique, aussi bien pour des réseaux de grandes puissances interconnectés que pour les réseaux autonomes des systèmes embarqués ou de secours. Aujourd'hui, les utilisateurs de ces machines sont de plus en plus exigeant sur les performances dynamiques lors des perturbations des réseaux ou lors des variations de charge. Pour cela, les constructeurs ne cessent d'améliorer ces machines en intervenant sur les paramètres de conception (géométrie des pièces polaires, des amortisseurs, etc.) et aussi sur le système d'excitation. Ce dernier a très peu évolué depuis de nombreuses années sauf l'apport des régulateurs numériques à base de microcontrôleurs qui se sont contentés d'apporter essentiellement une souplesse sur le réglage du correcteur mais pas une révolution sur les performances dynamiques. Pour franchir une étape dans l'amélioration de ces régimes dynamiques, il est nécessaire de rechercher de nouvelles solutions sur les structures d'excitation et dans les lois de commande. Ces deux éléments ont une influence importante sur le comportement dynamique d'un alternateur.

Notre travail consiste à réaliser un redresseur à thyristor (mixte) pour une régulation de la tension d'excitation d'un alternateur de petite puissance. Effectivement, nous avons réalisé l'essentiel de ce travail en particulier le circuit de puissance, le circuit de commande et le programme, qui est aussi de gérer la régulation du courant d'excitation. Nous avons également effectué des essais sur les différentes cartes réalisées.

Mots clé: Excitation des alternateurs, redresseur, régulateur, Arduino, logiciel Protus.