

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE DE M'SILA
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME
DE MASTER EN GENIE ELECTRIQUE
SPECIALITE : INGENIERIE DES SYSTEMES ELECTROMECHANIQUES

THEME

**Diagnostic de convertisseur AC-DC alimentant
un moteur à courant continu à excitation séparée**

Présenté par :

M. OULD BRAHIM Mahmoud Fewzi

Proposé et encadré par :

Dr. BENSLIMANE Tarak

Année Universitaire : **2013/2014**

N° d'ordre : **113**

Dédicace

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

*A mes chers parents mon père Brahim et ma mère debye (رحمة الله عليهما), mes frères: sidi
Ahmed et sa femme, vatimetou, lala*

A tous les proches que j'ai mentionnés et les autres que j'ai oubliés veuillez m'excuser

Je vous remercie tous

Mahmoud Feauzi BRAHIM

Remerciements

Le travail présenté dans ce mémoire a été effectué au département de génie électrique de l'université de M'sila.

Mes remerciements vont premièrement à Dieu tout puissant pour la volonté, la santé et la patience, qu'il m'a donnée durant toutes ces longues années.

Ainsi, je tiens également à exprimer mes vifs remerciements à mon encadreur **Dr. BENSLIMANE Tarak, Maître de Conférences -A-** à l'université de M'sila, pour avoir d'abord proposé ce thème, pour suivi continué tout le long de la réalisation de ce mémoire et qui n'a pas cessé de me donner ses conseils et remarques.

Mes sincères remerciements à messieurs les membres du jury pour l'honneur qu'ils me font en participant au jugement de ce travail.

Mes remerciements vont aussi à tous les enseignants du département d'électrotechnique qui ont contribué à ma formation et ceux qui m'ont aidé durant la réalisation de la partie expérimentale de ce mémoire surtout Mr. Riyadh ROUABHI et Mr. Ali DJERIOUI.

Enfin je tiens à exprimer mes reconnaissances à tous mes amis et collègues pour leur soutien moral et matériel...

NOTATIONS ET SYMBOLES

U_{eff}	Valeur efficace de la tension redressée
U_0	Valeur moyenne de la tension redressée
F	Facteur de forme
E	Force contre électromotrice
R	Résistance
L	Inductance
$D_1 (2,3,4,5,6)$	Diode $D_1 (2,3,4,5,6)$
$V_{D1 (2,3,4,5,6)}$	Tension de la diode $D_1 (2,3,4,5,6)$
V_C	Tension aux bornes de charge
I_C	Courant de charge
$T_1 (2,3,4,5,6)$	Thyristor $T_1 (2,3,4,5,6)$
$V_{T1 (2,3,4,5,6)}$	Tension du thyristor $T_1 (2,3,4,5,6)$
$I_{T1 (2,3,4,5,6)}$	Courants du thyristor $T_1 (2,3,4,5,6)$
$I_{S1 (2,3,4,5,6)}$	Courants de la diode $D_1 (2,3,4,5,6)$
$V_{\text{an}}, V_{\text{cn}}$ et V_{bn}	Tensions simples d'alimentation (réseau électrique)
n	Neutre du système triphasé d'alimentation (réseau électrique)
MLI	Modulation de largeur d'impulsion
ϵ	Erreur entre les valeurs mesurées et estimées (modèle)
V_{Pnmod}	Tension estimée entre le point P et le neutre n (modèle)
V_{Nnmod}	Tension estimée entre le point N et le neutre n (modèle)
V_{Pnmes}	Tension mesurée entre le point P et le neutre n
V_{Nnmes}	Tension mesurée entre le point N et le neutre n
h	Seuil relative au défaut
q	Indice de commutation
p	Indice de pulsation

SOMMAIRE

Dédicace

Remerciements

Notations et symboles

[Introduction générale](#)..... 1

Chapitre I

Généralités sur les redresseurs

I.1 Introduction	2
I.2 Définitions de quelques termes liés au redresseur	2
I.2.1 Indice de commutation q du montage	2
I.2.2 Indice de pulsation p de tension redressée	2
I.2.3 Facteur de forme	2
I.3 Redresseur non commandé	3
I.3.1 Redresseur monophasé parallèle simple alternance a diode	3
I.3.2 Redresseur monophasé parallèle simple alternance P2 a diode	4
I.3.3 Redresseur triphasé parallèle simple P3a diodes	6
I.3.4 Redresseur monophasé double alternance parallèle double a diodes PD2	7
I.3.5 Redresseur triphasé parallèle double alternance PD3 a diodes	9
I.4 Redresseur commandé	11
I.4.1 Redresseur monophasé parallèle simple alternance a thyristor	11
I.4.2 Redresseur monophasé parallèle simple alternance P2 a thyristor	13
I.4.3 Redresseur triphasé parallèle simple P3 a thyristor	14
I.4.4 Redresseur monophasé double alternance parallèle double a thyristor PD2	15
I.4.5 Redresseur triphasé parallèle double alternance PD3 a thyristors	17
I.5 Autres types de redresseur	19
I.6 Conclusion	20

Chapitre II

Défaillances des convertisseurs statiques et différentes méthodes de diagnostic

II.1 Introduction	21
II.2 Différents types de défaillance d'un redresseur	21
II.2.1 Composant maintenu fermé (Court-circuit)	21
II.2.2 Composant maintenu ouvert (Circuit ouvert)	22

II.3 Etat de l'Art des méthodes de diagnostic	22
II.3.1 Analyse de la procedure du diagnostic	22
II.3.2 Position du problème	22
II.4 Methodes de diagnostic	23
II.4.1 Méthodes internes	23
II.4.1.1 Méthode du modèle	24
II.4.1.2 Redondance analytique et materielle	24
II.4.2 Méthodes externes	25
II.4.2.1 Méthode de reconnaissance des formes	25
II.4.2.2 Diagnostic par systèmes experts	26
II.4.2.3 Diagnostic par logique flou	27
II.4.2.4 Diagnostic externe avec les réseaux de neurones	28
II.5 Conclusion	29

Chapitre III

Conception du système de diagnostic

Du redresseur PD3

III.1 Introduction	30
III.2. Méthode de diagnostic	30
III.3. Fonctionnement en cas normale	31
III.4. Fonctionnement en cas de défaut	33
III.4.1 Diode D1 maintenue ouverte	33
III.4.2 Diode D2 maintenue ouverte	34
III.4.3 Diode D4 maintenue ouverte	35
III.4.4 Diodes D5 et D6 maintenues ouvertes	36
III.4.5 Diodes D2 et D3 maintenues ouvertes	37
III.4.6 Diodes D1 et D4 maintenues ouvertes	38
III.5 Conclusion	40
 Conclusion générale	 41
 Annexe	 42
 Référeces bibliographiques	 43

Chapitre I

Figure I.1 Schéma électrique d'un redresseur monophasé simple alternance P1 à diode.....	3
Figure I.2 Forme d'onde de la tension d'entrée du redresseur	3
Figure I.3 Forme d'onde de la tension de la charge RL.....	4
Figure I.4 Forme d'onde de la tension aux bornes de la diode	4
Figure I.5 Forme d'onde du courant de la charge RL.....	4
Figure I.6 Schéma électrique d'un redresseur Parallèle simple alternance (P2) à diodes.....	5
Figure I.7 Forme d'onde des tensions d'entrée du redresseur	5
Figure I.8 Forme d'onde de la tension de la charge RL.....	5
Figure I.9 Forme d'onde de la tension aux bornes de la diode D1.....	5
Figure I.10 Forme d'onde du courant de la charge RL.....	6
Figure I.11 Schéma électrique d'un redresseur Parallèle simple alternance (P3) à diodes.....	6
Figure I.12 Forme d'onde de la tension d'entrée du redresseur.....	7
Figure I.13 Forme d'onde de la tension aux bornes de la charge RL	7
Figure I.14 Forme d'onde de la tension de diode.....	7
Figure I.15 Représentation courante de la charge RL.....	7
Figure I.16 Schéma électrique d'un redresseur PD2 a diodes	8
Figure I.17 Forme d'onde de la tension d'entrée du redresseur	8
Figure I.18 Forme d'onde de la tension aux bornes de la charge RL	8
Figure I.19 Forme d'onde de la tension aux bornes de la diode D1	8
Figure I.20 Forme d'onde du courant de la charge RL	9
Figure I.21 Schéma électrique d'un redresseur PD3 a diodes.....	9
Figure I.22 Forme d'onde de la tension de l'entrée du redresseur	10
Figure I.23 Forme d'onde de la tension aux bornes de la charge RL	10
Figure I.24 Forme d'onde de la tension aux bornes de la diode D1	10
Figure I.25 Forme d'onde du courant de la charge RL	10
Figure I.26 Schéma électrique d'un redresseur monophasé simple alternance à thyristor	11
Figure I.27 Forme d'onde de la tension de l'entrée du redresseur.....	12
Figure I.28 Forme d'onde de la tension aux bornes de la charge RL	12
Figure I.29 Forme d'onde de la tension aux bornes du thyristor.....	12
Figure I.30 Forme d'onde du courant de la charge RL	12
Figure I.31 Schéma électrique d'un redresseur P2 à thyristors	13
Figure I.32 Forme d'onde des tensions de l'entrée du redresseur	13
Figure I.33 Forme d'onde de la tension aux bornes de la charge RL	13
Figure I.34 Forme d'onde de la tension aux bornes du thyristor T1.....	14
Figure I.35 Schéma électrique d'un redresseur triphasé parallèle simple alternance P3 à thyristor.....	14
Figure I.36 Forme d'onde de la tension de l'entrée du redresseur	15
Figure I.37 Forme d'onde de la tension aux bornes de la charge RL	15
Figure I.38 Forme d'onde de la tension aux bornes du thyristor T1	15
Figure I.39 Forme d'onde du courant de la charge RL	15

Figure I.40 Schéma électrique d'un redresseur monophasé parallèle double alternance à thyristors.....	16
Figure I.41 Forme d'onde de la tension de l'entrée du redresseur	16
Figure I.42 Forme d'onde des tensions aux bornes des thyristors T1 et T3	16
Figure I.43 Forme d'onde de la tension aux bornes de la charge RL	17
Figure I.44 Forme d'onde du courant de la charge RL	17
Figure I.45 Schéma électrique d'un redresseur triphasé parallèle double alternance PD3 à thyristors.....	18
Figure I.46 Forme d'onde de la tension de l'entrée du redresseur	18
Figure I.47 Forme d'onde de la tension aux bornes de la charge RL	18
Figure I.48 Forme d'onde de la tension de thyristor.....	19
Figure I.49 Représentation courante de la charge RL.....	19

Chapitre II

Figure II.1 Synoptique de classement des méthodes de diagnostic	23
Figure II.2 Principe de fonctionnement de la méthode du modèle	24
Figure II.3 Principe de fonctionnement de la méthode de redondance analytique.....	25
Figure II.4 Procédure de diagnostic basée sur la technique de la reconnaissance des formes.....	26
Figure II.5 Architecture générale d'un système expert de diagnostic	27

Chapitre III

Figure III.1 Schéma synoptique de la méthode proposée pour le diagnostic du redresseur PD3-Mcc.....	30
Figure III.2 Schéma électrique du redresseur non commandé PD3 considéré.....	31
Figure III.3 Courbes expérimentaux pour un PD3 sans défaut	32
Figure III.4 Schéma électrique du redresseur non commandé PD3 considéré (D1 maintenue ouverte).....	33
Figure III.5 Courbes expérimentaux pour un PD3 avec D1 maintenue ouverte	33
Figure III.6 Schéma électrique du redresseur non commandé PD3 considéré(D2 maintenue ouverte)	34
Figure III.7 Courbes expérimentaux pour un PD3 avec D2 maintenue ouverte	34
Figure III.8 Schéma électrique du redresseur non commandé PD3 considéré(D4 maintenue ouverte).....	35
Figure III.9 Courbes expérimentaux pour un PD3 avec D4 maintenue ouverte	35
Figure III.10 Schéma électrique du redresseur non commandé PD3 considéré(D5 et D6 maintenues ouvertes)	36
Figure III.11 Courbes expérimentaux pour un PD3 avec D5 et D6 maintenues ouvertes.....	36
Figure III.12 Schéma électrique du redresseur non commandé PD3 considéré (D2 et D3 maintenues ouvertes)	37
Figure III.13 Courbes expérimentaux pour un PD3 avec D2 et D3 maintenues ouvertes	37
Figure III.14 Schéma électrique du redresseur non commandé PD3 considéré (D1 et D4 maintenues ouvertes)	38
Figure III.15 Courbes expérimentaux pour un PD3 avec D1 et D4 maintenues ouvertes.....	38

Figure III.16 Banc d'essai expérimental pour un PD3 avec D4 maintenue ouverte39

Chapitre I

Tableau I.1 Facteur de forme de la tension aux bornes de la charge RLaimantée par les différents types du redresseur non commandable	11
Tableau I.2 Facteur de forme de la tension aux bornes de la charge RLaimantée par les différents types du redresseur commandable	20

Chapitre III

Tableau III.1 caractéristiques des différents cas de défaut de diode maintenue ouverte du redresseur PD3 alimentant un moteur à courant continu.....	39
--	----

INTRODUCTION

GENERALE

Introduction générale

Le diagnostic des machines électriques s'est fortement développé dans le monde industriel tandis que celui des convertisseurs statiques de puissance n'a commencé que ces dernières décennies [1-5]. Dans ce sens, le travail proposé dans ce mémoire s'attarde sur le diagnostic des convertisseurs AC-DC. Nous nous sommes particulièrement intéressés aux défaillances du redresseur triphasé à diodes.

A cet effet, le présent travail s'articule sur trois chapitres suivants :

Le premier chapitre de ce document rappelle le contexte de l'étude: généralités sur les redresseurs. Nous donnons au début une introduction sur le redresseur. Ensuite nous présentons des définitions de quelques termes liés aux redresseurs. Enfin, nous présenterons les différents types de redresseurs.

Dans le deuxième chapitre, nous synthétiserons, en premier lieu, les différentes méthodes de diagnostic existantes, et en second lieu, nous présenterons les défauts les plus fréquents dans un redresseur.

Dans le troisième chapitre nous allons faire une étude sur le diagnostic des défauts dans le convertisseur statiques, à savoir le redresseur triphasé double alternance à diodes (PD3 à diodes) alimentant une machine à courant continu à excitation séparée. Nous allons mener une analyse expérimentale de différents cas du fonctionnement du redresseur (fonctionnement normale et avec défaut) en vue de concevoir un système de diagnostic localisant précisément le composant défaillant.

Nous terminons par une conclusion sur l'ensemble de cette étude et nous proposons des perspectives de ce travail.

Chapitre I
Généralités sur les
redresseurs

I.1 Introduction

Les redresseurs sont les convertisseurs de l'électronique de puissance qui assurent la conversion alternative/continu (AC/DC), ils sont alimentés par une source de tension alternative, ils permettent d'alimenter en courant continu le récepteur branché à leur sortie. Ils peuvent être à base de montages redresseurs simple alternance ou en pont comment ils peuvent être :

- Redresseurs tout diodes ou redresseurs non commandés : La relation entre la tension de sortie et celles de la source d'entrée ne dépend que de la structure du redresseur et de tensions d'entrée. Ils sont irréversibles : la puissance s'échange dans le sens alternatif-continu.
- Redresseurs tout thyristors ou redresseurs commandés : la relation entre la tension de sortie et celles de la source d'entrée dépend d'un paramètre supplémentaire qui est l'angle de retard à l'amorçage. Ils sont réversibles. Lorsque l'échange de puissance se fait dans le sens continu-alternatif, ils fonctionnent en onduleurs non autonomes.
- Autres types de redresseur [1].

I.2 Définitions de quelques termes liés au redresseur

I.2.1 Indice de commutation q du montage

L'indice de commutation est donné par la durée de conduction de chaque diode et correspond au nombre de phase du réseau de distribution [1].

I.2.2 Indice de pulsation p de la tension redressée

L'indice de pulsation p donne le nombre de portions de sinusoïde par période de la tension redressée [1].

I.2.3 Facteur de forme

La valeur du facteur de forme caractérise la tension redressée. Plus cette valeur est proche de l'unité, plus la tension obtenue est voisine d'une grandeur continue. Ce coefficient sert à comparer des montages redresseurs différents entre eux. Par définition, on nomme facteur de forme le rapport [1]:

$$F = U_{\text{eff}}/U_0 \quad (1)$$

U_{eff} : Valeur efficace de la tension redressée

U_0 : Valeur moyenne de la tension redressée

F: Facteur de forme

I.3 Redresseur non commandé

I.3.1 Redresseur monophasé parallèle simple alternance à diode P1

On envisage une structure comportant une source sinusoidales et une diode pour atteindre une charge (figure I.1). La tension n'apparaît aux bornes de la charge que si la tension de la source est positive entraînant une tension positive en sortie (figure I.2) [2].

Le courant de charge évolue selon l'équation liant les différents paramètres de la source de tension d'entrée et de la charge (R , RL , RLE) (figure I.5).

Dès que le courant de la charge s'annule, la diode est bloquée et accepte à ces bornes une tension négative, la tension aux bornes de la charge est (figure I.2, figure I.3, figure I.4 et figure I.5):

- nulle pour des charges R et RL ,
- égale à E pour des charges RE et RLE .

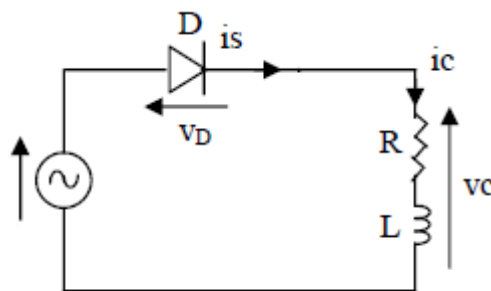


Figure I.1 Schéma électrique d'un redresseur monophasé simple alternance P1 à diode [1]

Dans la figure I.2, la figure I.3, la figure I.4 et la figure I.5 sont présentés respectivement, les formes d'onde de la tension de l'entrée, la tension aux bornes de charge RL , la tension aux bornes de la diode et le courant de charge RL .

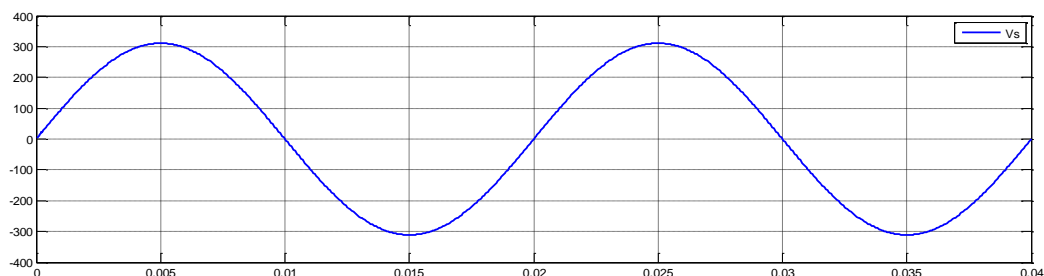


Figure I.2 Forme d'onde de la tension d'entrée du redresseur

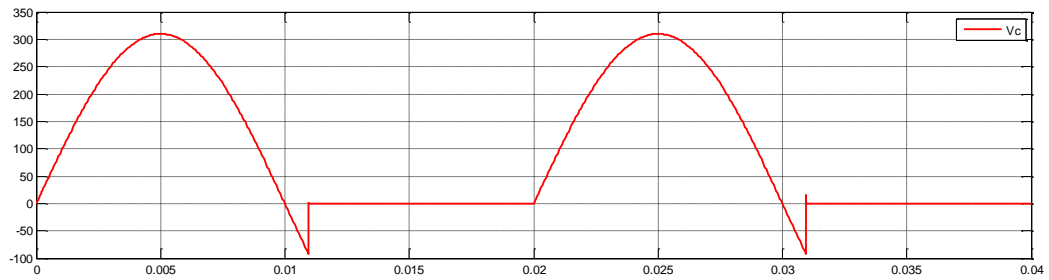


Figure I.3 Forme d'onde de la tension de la charge RL

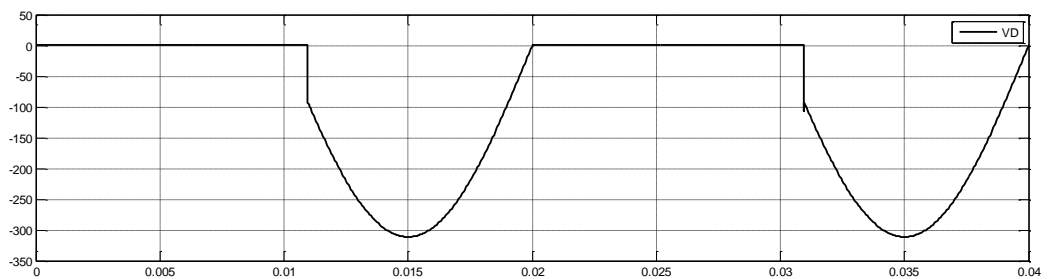


Figure I.4 Forme d'onde de la tension aux bornes de la diode

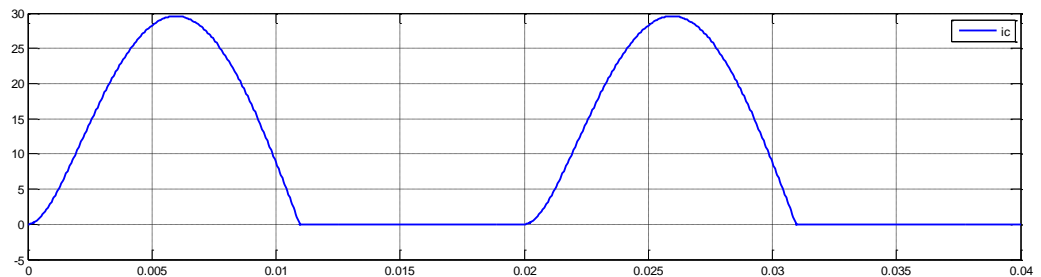


Figure I.5 Forme d'onde du courant de la charge RL

I.3.2 Redresseur monophasé parallèle simple alternance (P2) à diodes

Le montage redresseur P2 à diodes est constitué de deux diodes connectées en sortie d'un transformateur à point milieu. La charge est placée entre la cathode et le point milieu (figure I.6) [2]. La diode dont l'anode est liée à la source de tension la plus positive est conductrice, l'autre est bloquée.

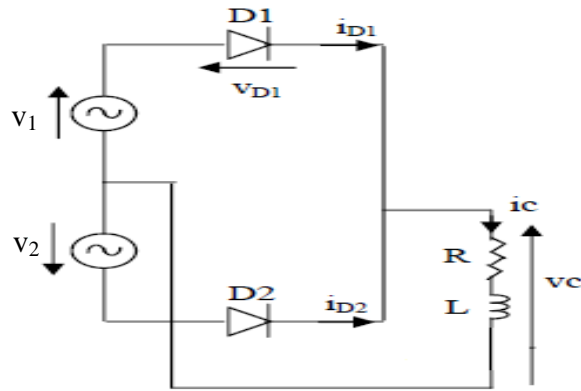


Figure I.6 Schéma électrique d'un redresseur Parallèle simple alternance (P2) à diodes [2]

Dans la figure I.7, la figure I.8, la figure I.9 et la figure I.10 sont présentés respectivement, les formes d'onde des tensions d'entrée, la tension aux bornes de charge RL, la tension aux bornes de la diode D1 et le courant de charge RL.

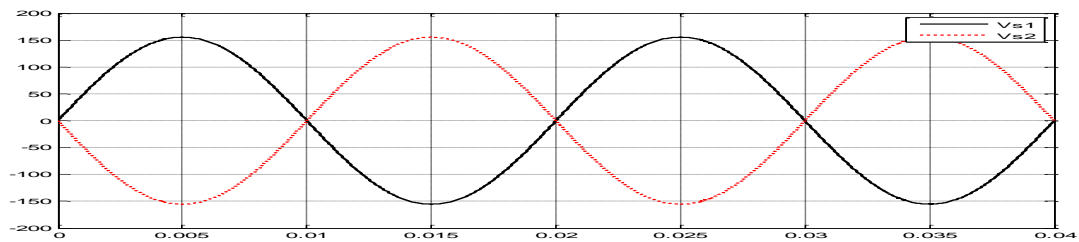


Figure I.7 Forme d'onde des tensions d'entrée du redresseur

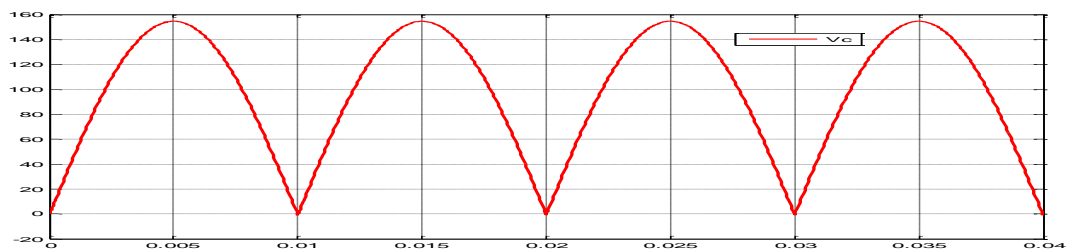


Figure I.8 Forme d'onde de la tension de la charge RL

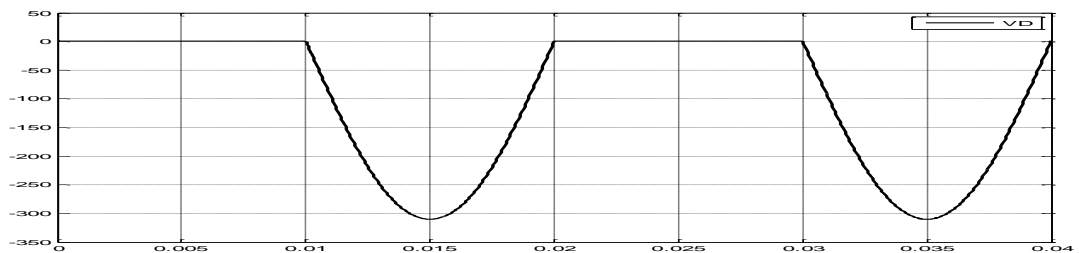


Figure I.9 Forme d'onde de la tension aux bornes de la diode D1

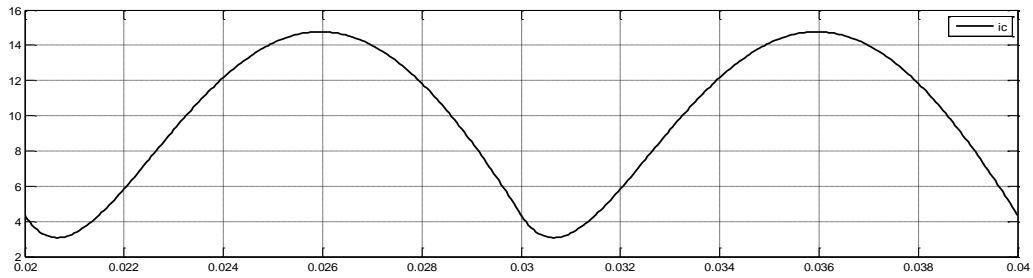


Figure I.10 Forme d'onde du courant de la charge RL

I.3.3 Redresseur triphasé parallèle simple alternance (P3) à diodes

Les enroulements secondaires du transformateur couplés en étoile forment un système triphasé direct de tension et le redresseur est composé de trois diodes montées en cathode commune (commutateur plus positive). La charge est placée entre la cathode et le neutre du système triphasé des tensions (figure I.11).

La diode dont l'anode est liée à la source de tension la plus positive est conductrice, les autres sont bloquées [2].

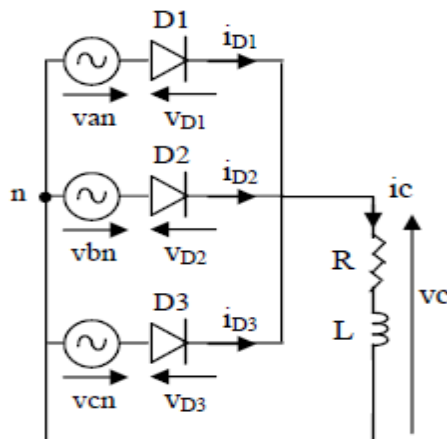


Figure I.11 Schéma électrique d'un redresseur Parallèle simple alternance (P3) à diodes [2]

Dans la figure I.12, la figure I.13, la figure I.14 et la figure I.15 sont présentés respectivement, les formes d'onde des tensions d'entrée, la tension aux bornes de charge RL, la tension aux bornes de la diode D1 et le courant de charge RL.

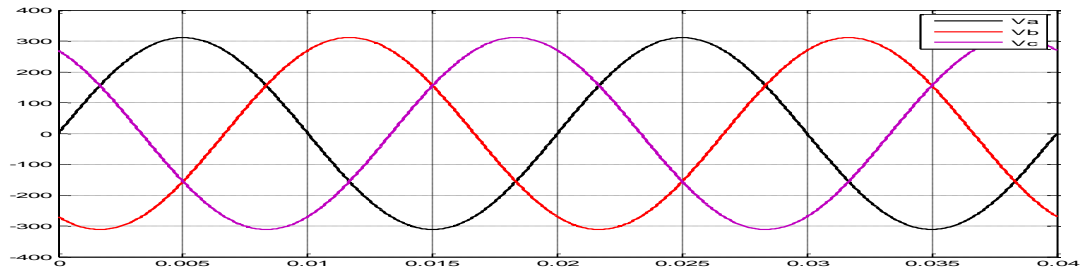


Figure I.12 Forme d'onde de la tension d'entrée du redresseur

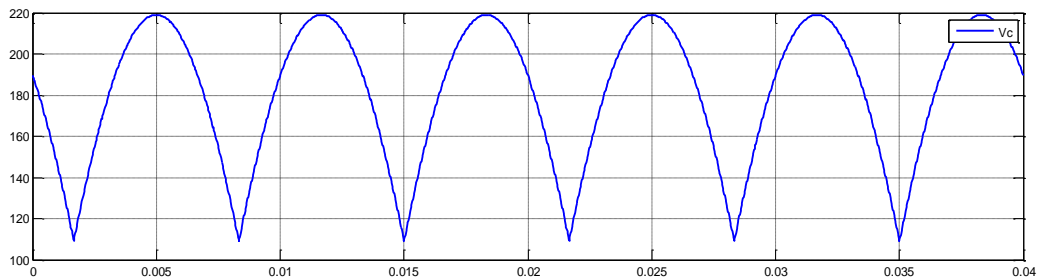


Figure I.13 Forme d'onde de la tension aux borns de la charge RL

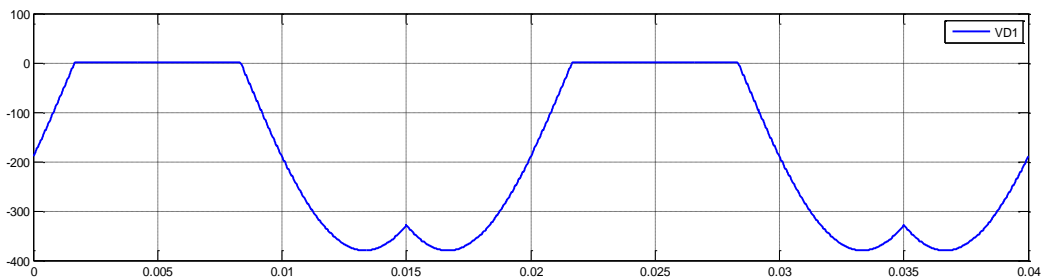


Figure I.14 Forme d'onde de la tension de diode

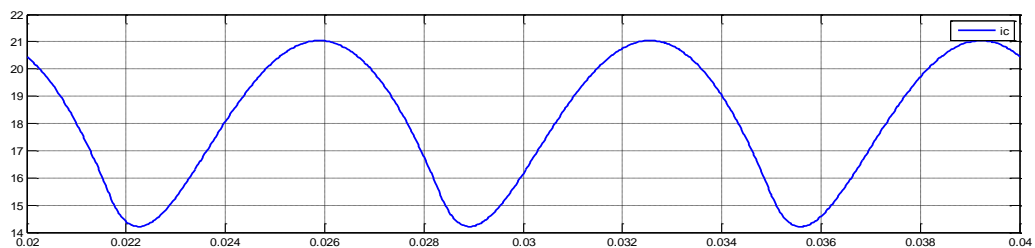


Figure I.15 Représentation courante de la charge RL

I.3.4 Redresseur monophasé double alternance parallèle double (PD2) à diodes

Le montage redresseur PD2 à diodes est constitué de quatre diodes connectés deux par deux en inverse (figure I.16). Pendant l'alternance positive de v les diodes D1 et D2 conduisent. Pendant l'alternance négative de v les diodes D3 et D4 conduisent [3].

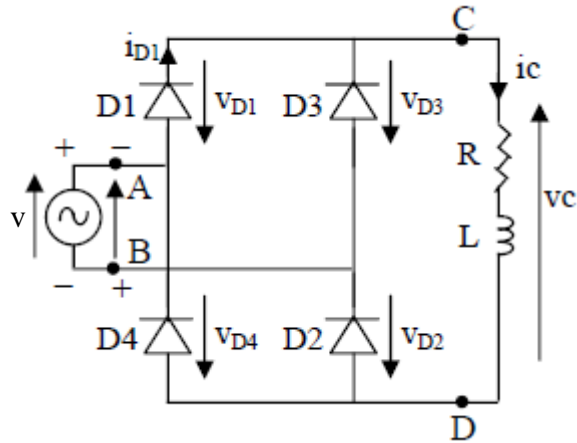


Figure I.16 Scéma électrique d'un redresseur PD2 a diodes [3]

Dans la figure I.17, la figure I.18, la figure I.19 et la figure I.20 sont présentés respectivement, les formes d'onde des tensions d'entrée, la tension aux bornes de charge RL, la tension aux bornes de la diode D1 et le courant de charge RL.

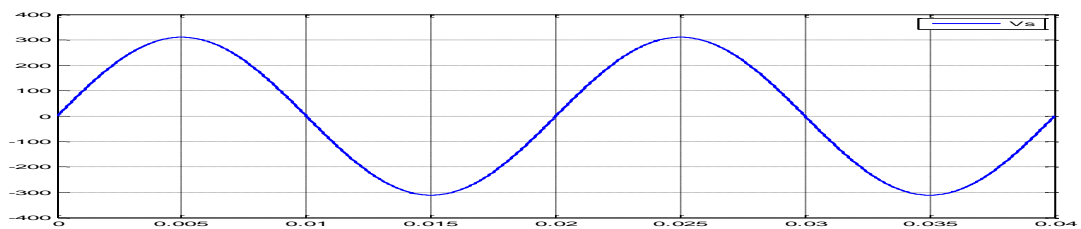


Figure I.17 Forme d'onde de la tension d'entrée du redresseur

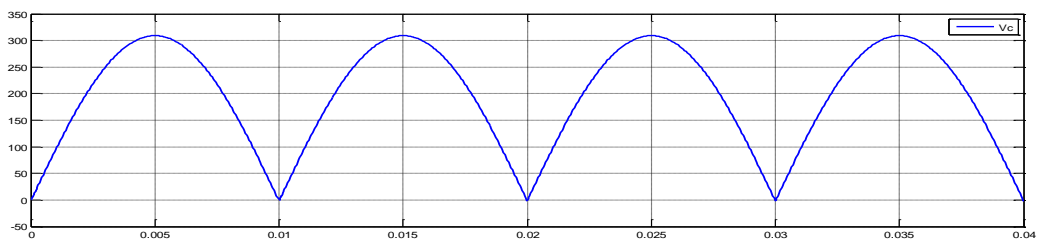


Figure I.18 Forme d'onde de la tension aux bornes de la charge RL

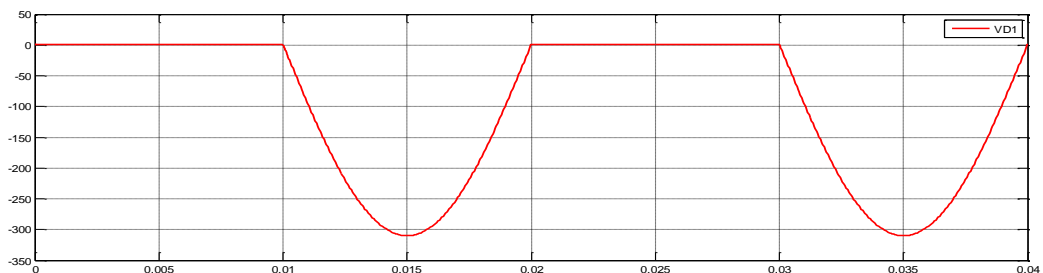


Figure I.19 Forme d'onde de la tension aux bornes de la diode D1

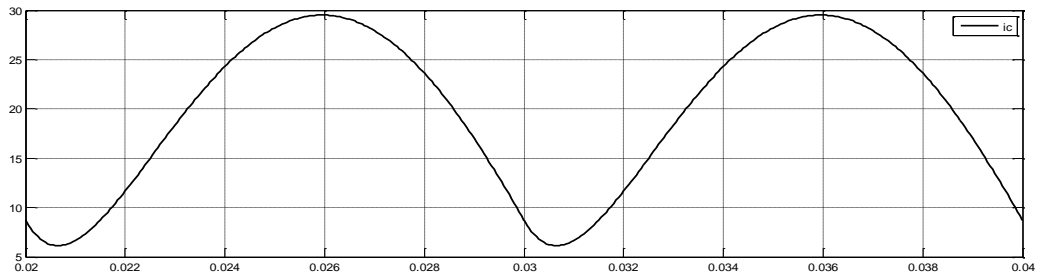


Figure I.20 Forme d'onde du courant de la charge RL

I.3.5 Redresseur triphasé parallèle double alternance (PD3) à diodes

Le montage redresseur PD3 à diodes est constitué de six diodes, connectées deux par deux en inverse, alimenté par un système de tension sinusoïdales triphasées, schématisé par la figure I.21 [2].

Deux diodes d'un même bras ne peuvent conduire simultanément. Lorsque D_1 conduit, l'une des deux diodes D_6 et D_2 conduit également.

Pour les trois diodes du haut (D_1, D_3, D_5) la diode dont l'anode liée à la source de tension la plus positive entre v_{an}, v_{bn}, v_{cn} sera polarisée en direct et par suite conductrice. Donc, Il en vient que D_1 conduit lorsque v_{an} est supérieure à v_{bn} et v_{cn} .

Pour les trois diodes du bas (D_2, D_4, D_6) la diode dont la cathode liée à la source de tension la plus négative entre V_{an}, V_{bn}, V_{cn} sera polarisée en direct et par suite conductrice. Donc, Il en vient que D_4 conduit lorsque v_{an} est inférieure à v_{bn} et v_{cn} [3].

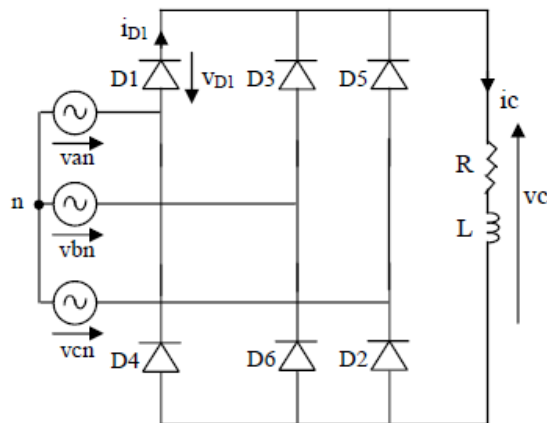


Figure I.21 Schéma électrique d'un redresseur PD3 a diodes [3]

Dans la figure I.22, la figure I.23, la figure I.24 et la figure I.25 sont présentés respectivement, les formes d'onde des tensions d'entrée, la tension aux bornes de charge RL, la tension aux bornes de la diode D1 et le courant de charge RL.

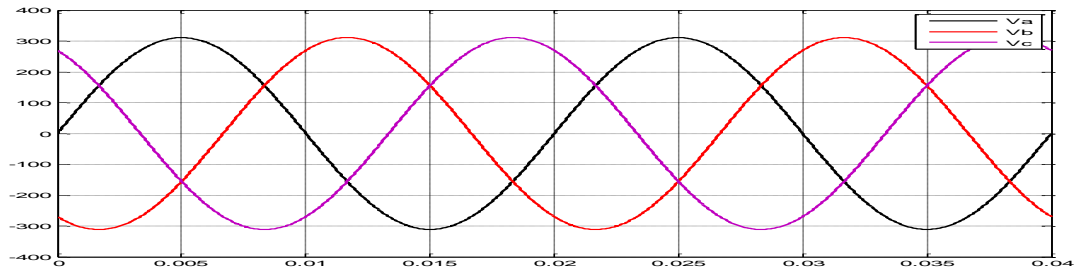


Figure I.22 Forme d'onde de la tension de l'entrée du redresseur

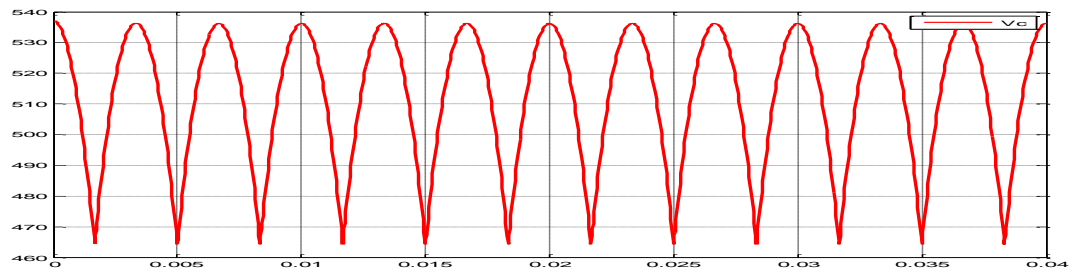


Figure I.23 Forme d'onde de la tension aux bornes de la charge RL

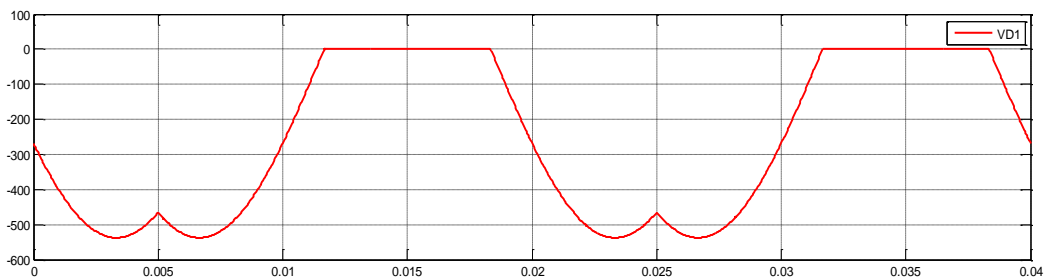


Figure I.24 Forme d'onde de la tension aux bornes de la diode D1

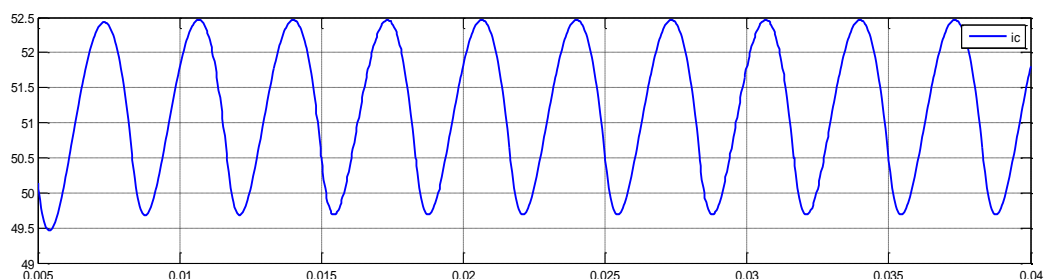


Figure I.25 Forme d'onde du courant de la charge RL

Dans le tableau suivant, on présente les valeurs du facteur de forme de la tension aux bornes de la charge RL aimantée par les différents types du redresseur non commandable. On constate que le redresseur PD3 offre le meilleur facteur de forme voisinant 1 puisque la valeur moyenne et efficace de la tension de sortie sont proches l'une de l'autre. Cela signifie que le

PD3 offre une tension redressée voisine d'une grandeur continue sans avoir recours à un filtrage capacitif coûteux. Cela, plus d'autres raisons qu'en va mentionner par la suite, justifie le choix du PD3 pour l'étudier en vue du diagnostic des défaillances accompagnant son fonctionnement.

Redresseur	P1	P2	P3	PD2	PD3
Veff (charge)	155.4	109.2	184	218.1	512.4
Vmoy (charge)	96.2	98.13	181	196.1	512
Facteur de formes de la tension de la charge (F)	1.615	1.113	1.017	1.113	1.001

Tableau I.1 Facteur de forme de la tension aux bornes de la charge RL aimantée par les différents types du redresseur non commandable

I.4 Redresseur commandé

I.4.1 Redresseur monophasé parallèle simple alternance à thyristor

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

La structure d'une redresseuse monophasée parallèle simple alternance à thyristor comporte une source sinusoïdale et un thyristor pour alimenter une charge (figure I.26). L'amorçage (passage d'un état bloqué à un état conducteur) du thyristor est conditionné par sa polarisation en direct (lorsque la tension de la source d'entrée est positive) et l'application du courant de gâchette. Le blocage (passage d'un état conducteur à un état bloqué) du thyristor est similaire à celui de la diode qui est conditionné par l'annulation du courant de la charge ce qui conduit à sa polarisation en inverse [1] [2].

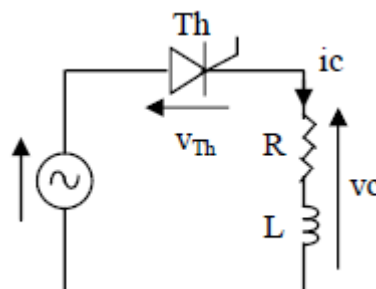


Figure I.26 Schéma électrique d'un redresseur monophasé simple alternance à thyristor [1]

Dans la figure I.27, la figure I.28, la figure I.29 et la figure I.30 sont présentés respectivement, les formes d'onde de la tension d'entrée, la tension aux bornes de charge RL, la tension aux bornes du thyristor et le courant de charge RL.

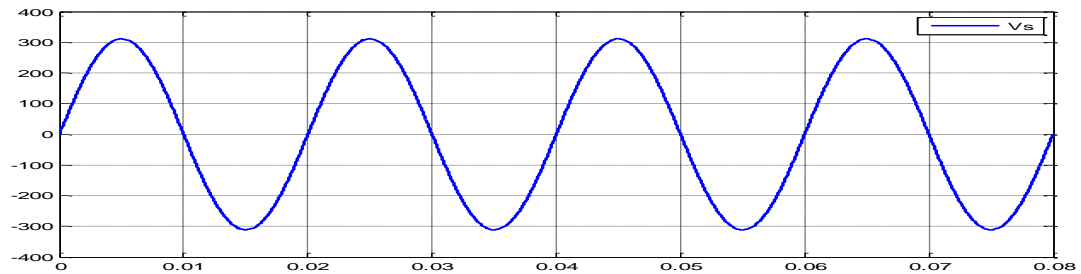


Figure I.27 Forme d'onde de la tension de l'entrée du redresseur

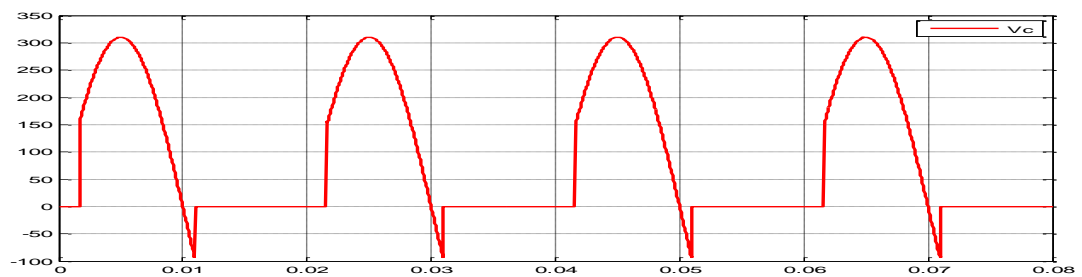


Figure I.28 Forme d'onde de la tension aux bornes de la charge RL

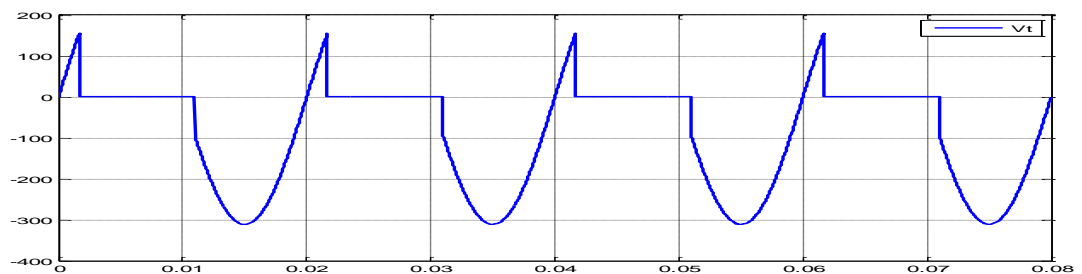


Figure I.29 Forme d'onde de la tension aux bornes du thyristor

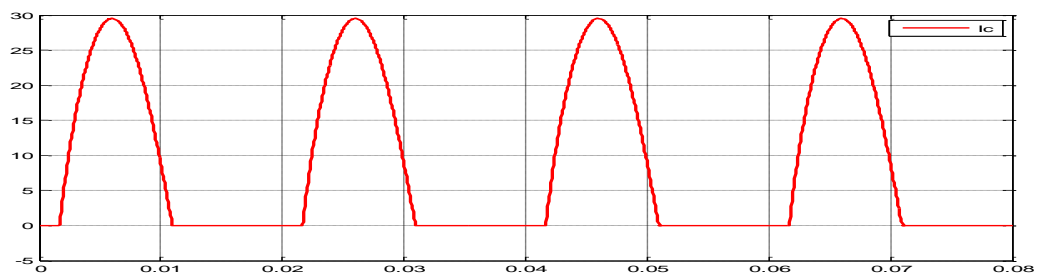


Figure I.30 Forme d'onde du courant de la charge RL

I.4.2 Commutation parallèle simple - P2 à thyristor

Le montage redresseur P2 à thyristors est constitué de deux thyristors connectés en sorties d'un transformateur à point milieu (figure I.31). L'impulsion de déblocage est envoyée au thyristor dont l'anode est lié à la source de tension la plus positive. Les impulsions des deux thyristors sont décalées de $T/2$ [1] [2].

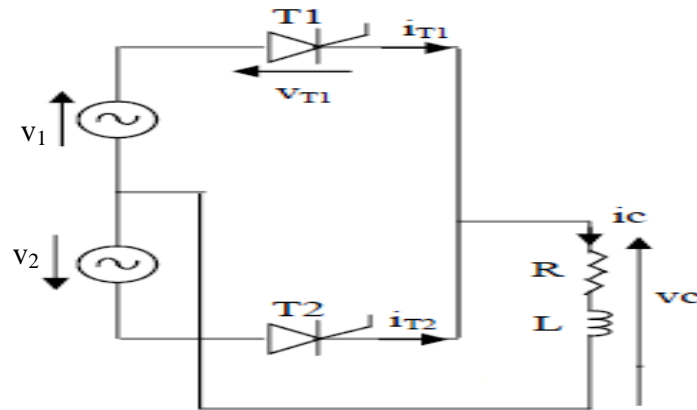


Figure I.31 Schéma électrique d'un redresseur P2 à thyristors [2]

Dans la figure I.32, la figure I.33, la figure I.34 et la figure I.35 sont présentés respectivement, les formes d'onde des tensions d'entrée, la tension aux bornes de charge RL, la tension aux bornes du thyristor T_1 .

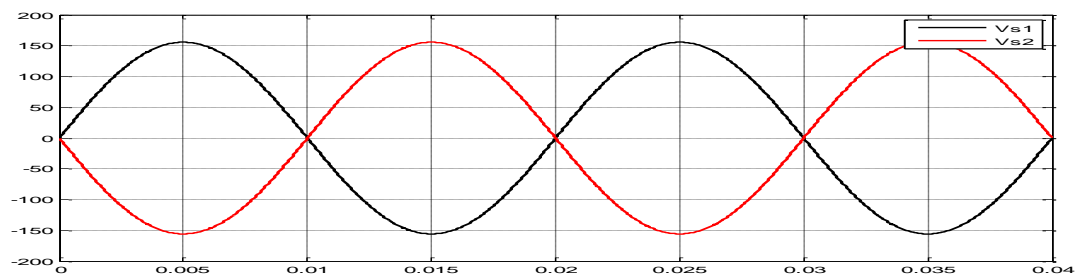


Figure I.32 Forme d'onde des tensions de l'entrée du redresseur

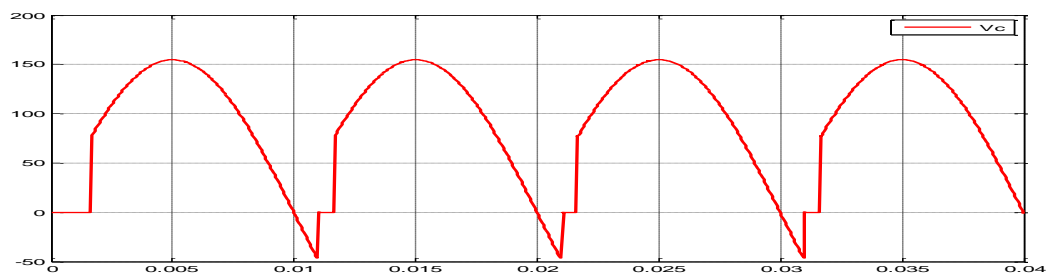


Figure I.33 Forme d'onde de la tension aux bornes de la charge RL

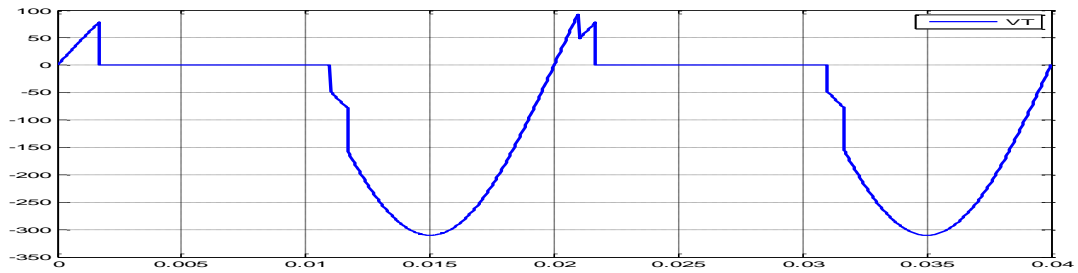


Figure I.34 Forme d'onde de la tension aux bornes du thyristor T1

I.4.3 Redresseur parallèle simple P3 à thyristors

Les enroulements secondaires du transformateur couplés en étoile forment un système triphasé direct de tension et le redresseur est composé de trois thyristors montés en cathode commune (commutateur plus positive). La charge est placée entre la cathode et le neutre du système triphasé des tensions (figure I.35).

L'impulsion de déblocage est envoyée au thyristor dont l'anode est liée à la source de tension la plus positive. Les impulsions des trois thyristors sont décalées de $T/3$ l'une par rapport à l'autre [1] [2].

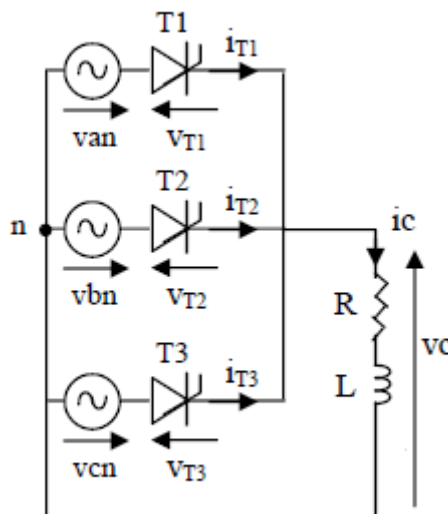


Figure I.35 Schéma électrique d'un redresseur triphasé parallèle simple alternance P3 à thyristor [2]

Dans la figure I.36, la figure I.37, la figure I.38 et la figure I.39 sont présentés respectivement, les formes d'onde des tensions d'entrée, la tension aux bornes de charge RL, la tension aux bornes du thyristor T_1 et le courant de la charge RL.

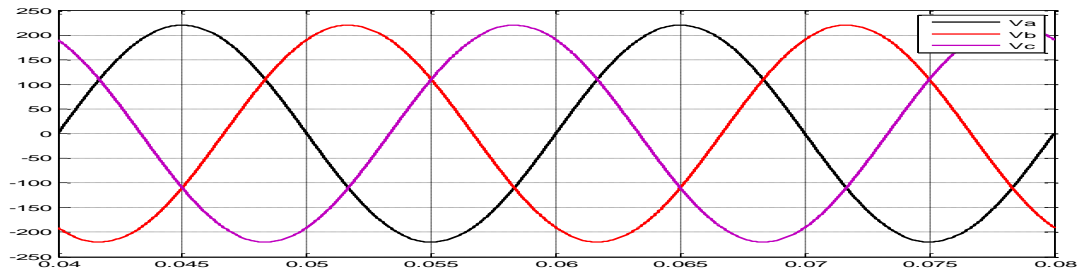


Figure I.36 Forme d'onde de la tension de l'entrée du redresseur

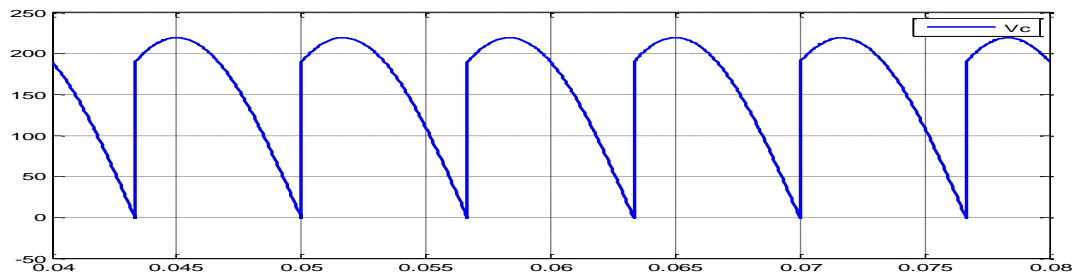


Figure I.37 Forme d'onde de la tension aux bornes de la charge RL

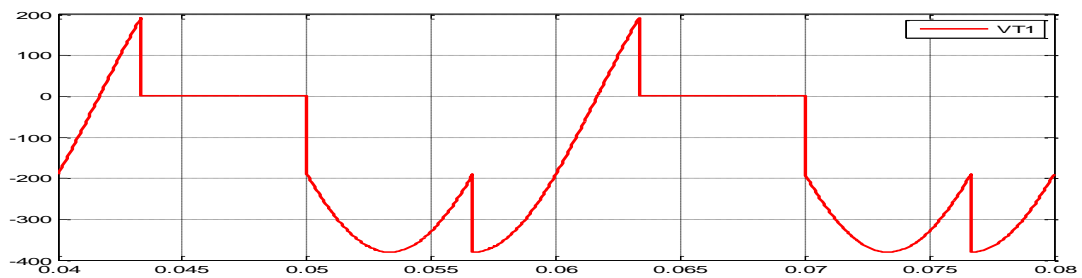


Figure I.38 Forme d'onde de la tension aux bornes du thyristor T1

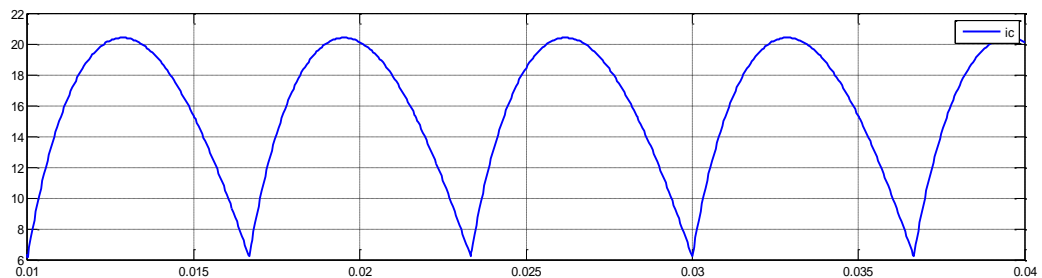


Figure I.39 Forme d'onde du courant de la charge RL

I.4.4 Redresseur monophasé parallèle double alternance PD2 à thyristors

Le montage redresseur PD2 à thyristors est constitué de quatre thyristors connectés deux par deux en inverse (figure I.40). Pendant l'alternance positive de la tension d'entrée, les thyristors T1 et T2 conduisent sous condition d'application des courants des gâchettes. La conduction des thyristors s'achève quand le courant de la charge s'annule. Pendant

l'alternance négative de la tension d'entrée, les thyristors T3 et T4 conduisent sous condition d'application des courants des gâchettes. [1], [2]. La conduction des thyristors s'achève quand le courant de la charge s'annule.

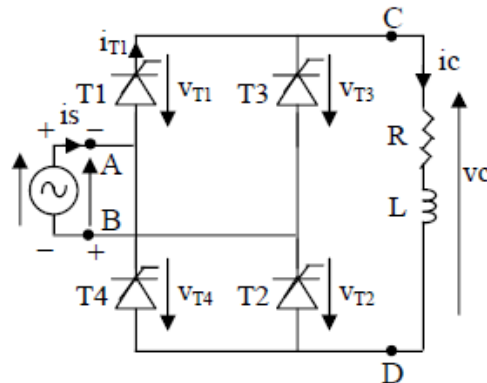


Figure I.40 Schéma électrique d'un redresseur monophasé parallèle double alternance PD2 à thyristors [1]

Dans la figure I.41, la figure I.42, la figure I.43 et la figure I.44 sont présentés respectivement, les formes d'onde des tensions d'entrée, la tension aux bornes de charge RL, les tensions aux bornes des thyristors T1 et T3 et le courant de charge RL.

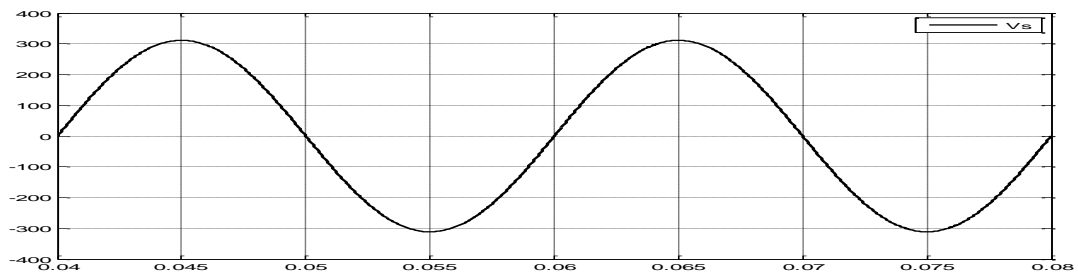


Figure I.41 Forme d'onde de la tension de l'entrée du redresseur

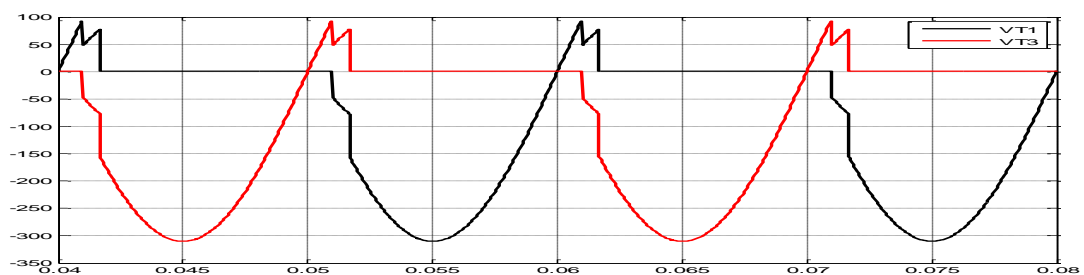


Figure I.42 Forme d'onde des tensions aux bornes des thyristors T1 et T3

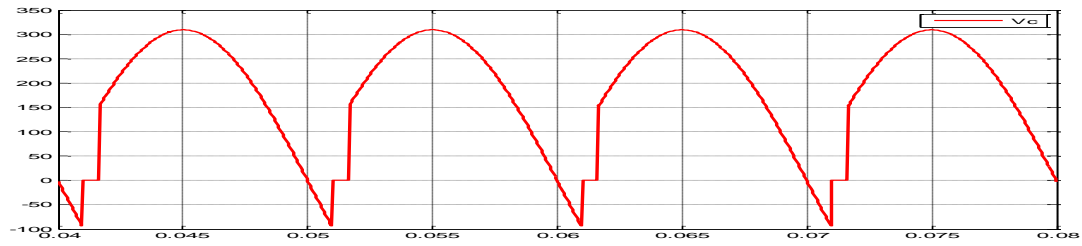


Figure I.43 Forme d'onde de la tension aux bornes de la charge RL

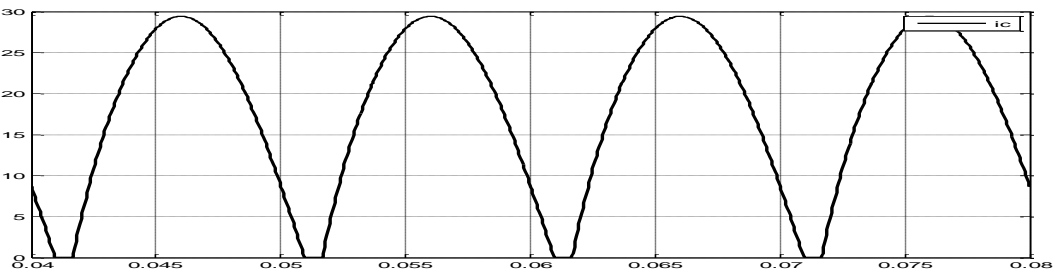


Figure I.44 Forme d'onde du courant de la charge RL

I.4.5 Redresseur triphasé parallèle double alternance PD3 à thyristors

Le montage redresseur PD3 à thyristor est constitué de six diodes, connectées deux par deux en inverse, alimenté par un système de tension sinusoïdales triphasées, schématisé par la figure I.21 [1].

Deux thyristors d'un même bras ne peuvent conduire simultanément. Lorsque T_1 conduit, l'un des deux thyristors T_6 et T_2 conduit également.

Pour les trois thyristors du haut (T_1, T_3, T_5), le thyristor dont l'anode liée à la source de tension la plus positive entre v_{an}, v_{bn}, v_{cn} sera polarisée en direct et par suite conductrice à condition que son courant de gâchette soit appliqué. Pour les thyristors du haut (T_1, T_3, T_5). Les impulsions des trois thyristors sont décalées de $T/3$ l'une par rapport à l'autre [1] [2].

Pour les trois diodes du bas (T_2, T_4, T_6), le thyristor dont la cathode liée à la source de tension la plus négative entre V_{an}, V_{bn}, V_{cn} sera polarisée en direct et par suite conductrice à condition que son courant de gâchette soit appliqué [1][2].

Pour les thyristors du bas (T_2, T_4, T_6). Les impulsions des trois thyristors sont décalées de $T/3$ l'une par rapport à l'autre [1] [2].

Les impulsions des six thyristors sont décalées de $T/6$ l'une par rapport à l'autre [1] [2].

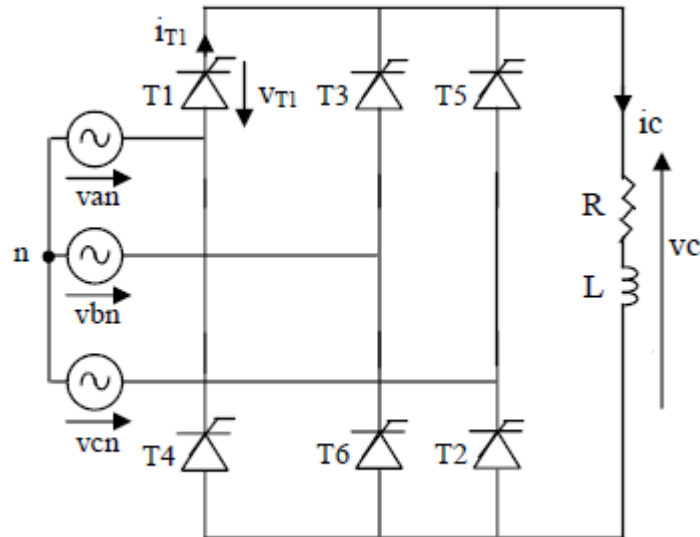


Figure I.45 Schéma électrique d'un redresseur triphasé parallèle double alternance PD3 à thyristors [2]

Dans la figure I.46, la figure I.47, la figure I.48 et la figure I.49 sont présentés respectivement, les formes d'onde des tensions d'entrée, la tension aux bornes de charge RL, la tension aux bornes du thyristor T1 et le courant de charge RL.

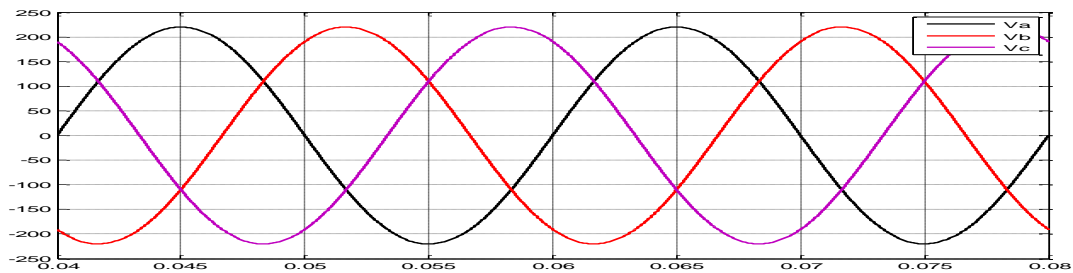


Figure I.46 Forme d'onde de la tension de l'entrée du redresseur

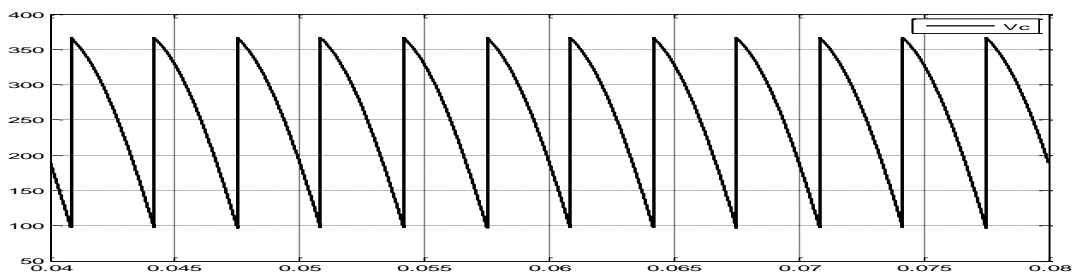


Figure I.47 Forme d'onde de la tension aux bornes de la charge RL

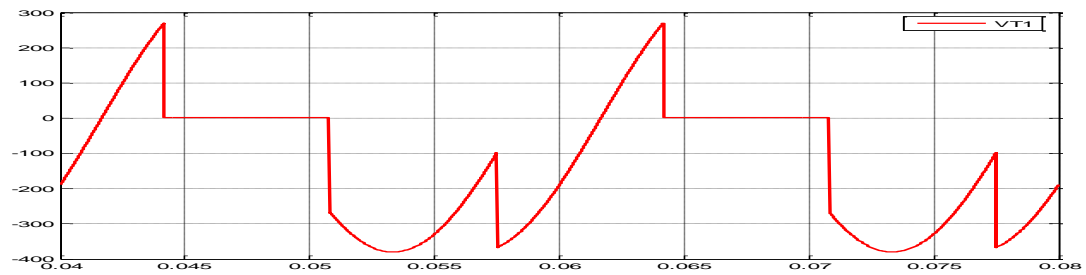


Figure I.48 Forme d'onde de latension de thyristor

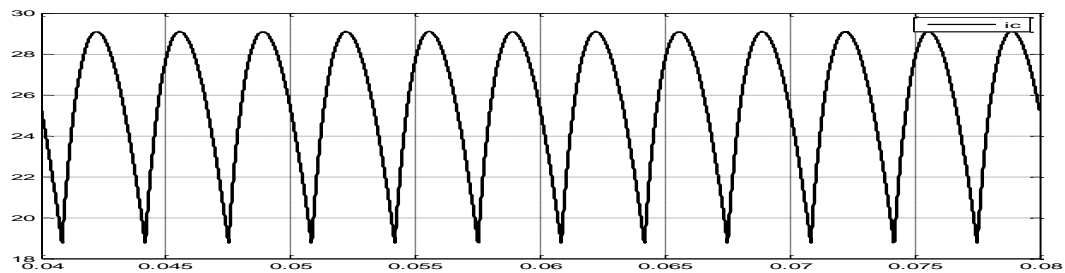


Figure I.49 Représentation courante de la charge RL

Dans le tableau suivant, on présente les valeurs du facteur de forme de la tension aux bornes de la charge RL aimantée par les différents types du redresseur commandable. On constate que le redresseur PD3 offre le meilleur facteur de forme voisinant 1 puisque la valeur moyenne et efficace de la tension de sortie sont proches l'une de l'autre. Cela signifie que le PD3 offre une tension redressée voisine d'une grandeur continue sans avoir recours à un filtrage capacitif coûteux.

Redresseur	P1	P2	P3	PD2	PD3
Veff (charge)	153,3	108	170	216,1	267,3
Vmoy (charge)	89,65	89,28	156,5	178,5	255
Facteur de formes de la tension de la charge (F)	1.71	1.21	1,086	1.21	1,048

Tableau I.2 Facteur de forme de la tension aux bornes de la charge RL aimantée par les différents types du redresseur commandable

I.5 Autres types de redresseur

Il existe d'autres types de redresseur tels que :

- Redresseur avec diode de roue libre (monophasé ou triphasé)
- Redresseur mixte (monophasé ou triphasé)
- Redresseur triphasé série (à thyristors ou à diodes)
- Redresseur à MLI.

I.6 Conclusion

Dans ce chapitre, différents types du redresseur sont présentés succinctement. Le choix de type de redresseur à utiliser est lié au type de la source AC disponible (monophasé ou triphasé) et à la qualité de la tension continue désirée. Cette dernière est exprimée par le facteur de forme de la tension de sortie.

Le facteur de forme des montages parallèles double alternance (PD) est meilleur que celui des montages parallèles simple alternance P, donc une meilleure qualité de la tension de sortie. Par contre, le nombre de composants dans les montages parallèles double alternance (PD) est élevé par rapport à celui des montages parallèles simple alternance P. Donc, les redresseurs à structure parallèle double sont plus probables à être exposés aux défauts de fonctionnement provenant d'un dysfonctionnement d'un composant d'électronique de puissance. Pour cela, on a choisi d'étudier le redresseur triphasé parallèle double alternance PD3 à diodes en mode normal et en mode de défaillance en vue de concevoir un système pour son diagnostic.

Vu la diversité des méthodes de diagnostic, on a consacré le chapitre suivant à leur présentation pour choisir une méthode que nous considérons convenable à notre système.

Chapitre II
Défaillances des
convertisseurs
statiques et différentes
méthodes de
diagnostic

II.1 Introduction

Quand un défaut apparaît dans un processus, il doit être détecté le plus tôt possible. Dans ce cas le système de détection du défaut doit indiquer l'existence d'une anomalie dans les équipements de réalisation du processus. Après la détection, le diagnostic du défaut est exécuté, le défaut est éliminé et sa cause est localisée.

Dans ce contexte et, d'après l'étude bibliographique [9] [10], on constate que les techniques utilisées pour la détection et le diagnostic de défaillances sont divisées en deux catégories :

- pour la première (ou méthode interne), à partir de modèles physiques ou de comportements validés par les techniques d'identification des paramètres, le diagnostic de défaillance devient possible en suivant en temps réel l'évolution des paramètres physiques ou bien en utilisant l'inversion du modèle de type « boîte noire » ;
- dans la deuxième catégorie (ou méthode externe), il n'est pas nécessaire de disposer d'un modèle mathématique du processus ; par contre les méthodes retenues reposent sur l'expertise humaine confortée par un solide retour d'expérience ; dans cette catégorie, on retrouve les méthodes basées sur l'intelligence artificielle, parmi lesquelles, nous pouvons citer la reconnaissance des formes, les systèmes experts et les réseaux de neurones artificiels.

A cet effet, ce présent chapitre est consacré à l'étude du diagnostic et ses différentes méthodes existantes.

II.2 Différents types de défaillance d'un redresseur

Les modes de défaillance les plus fréquents dans un redresseur sont les suivants:

- Défaillance de type circuit ouvert (considérer dans ce mémoire)
- Défaillance de type court-circuit type I (défaut de commande pour les redresseurs commandés) et court-circuit de type II (défaillance de puce) [4]

II.2.1 Composant maintenu fermé (Court-circuit)

Le défaut de type composant maintenu fermé se produit lorsqu'un des composants d'une cellule de commutation reste constamment fermé. Un tel défaut peut avoir deux causes : soit la mise en court-circuit physique de la puce de silicium (IGBT ou diode) par dépassement de température critique, soit la défaillance de la commande rapprochée. Ce type de défaillance est extrêmement préjudiciable au convertisseur et nécessiterait la mise en œuvre d'un système de sécurité permettant de déconnecter le bras défaillant dès l'apparition de cette défaillance [5], [6].

II.2.2 Composant maintenu ouvert (Circuit ouvert)

Il se peut, pour diverses raisons, qu'un des composants d'électronique de puissance (diode, thyristor, ... etc) d'une cellule de commutation d'un bras reste constamment ouvert (défaut de type circuit ouvert). Ce type de défaut a pour principale cause le vieillissement du composant ou une défaillance de la commande rapprochée (défaut thermique du driver ou perte d'alimentation par exemple). Ce type conduit à la perte de la symétrie de la tension et/ou courant alternatif ainsi que l'augmentation du taux d'ondulation de la tension et/ou courant continu [7][8]. Cela peut être interprété sur le plan mécanique de la machine par l'apparition de vibrations et un échauffement au cours du temps.

II.3 Etat de l'Art des méthodes de diagnostic

II.3.1 Analyse de la procédure du diagnostic

Lorsqu'un défaut apparaît dans un équipement industriel, le système de diagnostic lié à ce dernier doit d'abord détecter l'anomalie du fonctionnement puis y identifier la (ou les) cause(s) de défaillance à l'aide d'un raisonnement logique pour qu'il puisse être isolé [9].

En effet, l'organisation générale de la procédure de diagnostic s'articule autour des étapes suivantes :

- A partir des moyens de mesure ou d'observation appropriés, nous effectuons l'extraction des informations nécessaires à la mise en forme des caractéristiques associées aux fonctionnements normaux et anormaux ;
- l'élaboration des signatures associées à des symptômes de défaillance en vue de la détection d'un dysfonctionnement ;
- la détection d'un dysfonctionnement par comparaison avec des signatures associées à des états de fonctionnements normaux ;
- la mise en œuvre d'une méthode de diagnostic de défaillance à partir de l'utilisation des connaissances sur les relations de causalité (catalogue cause-effets) ;
- une phase d'interprétation des données de diagnostic (identification du type et de la nature du défaut);
- la prise de décision en fonction des conséquences et de l'importance des défauts.

II.3.2 Position du problème

Pour éviter de résoudre un problème inverse de diagnostic mal posé, il est indispensable de s'appuyer sur des relations de cause à effets.

En général, le problème du diagnostic revient essentiellement à un problème de connaissance sur le modèle déterministe entre la cause et l'effet. Pour cela, il existe plusieurs méthodes de diagnostic et leurs applications dépendent essentiellement de la nature du problème à résoudre.

Le problème à résoudre en terme de diagnostic est le choix des méthodes de diagnostic et leurs implémentations dans le système de diagnostic.

II.4 Méthodes de diagnostic

Le diagnostic qu'il soit médical ou bien industriel est toujours basé sur la comparaison entre le comportement du procédé défaillant et les connaissances du comportement sain ou de son modèle.

La comparaison nécessite des indicateurs, des symptômes révélateurs qui, une fois analysés permettent d'abord de détecter le comportement défaillant, d'en déduire la fonction ou l'élément en dysfonctionnement (localiser), puis d'en déterminer la cause et enfin, si possible d'y remédier. Le graphe suivant présente les différentes méthodes de diagnostic [9].

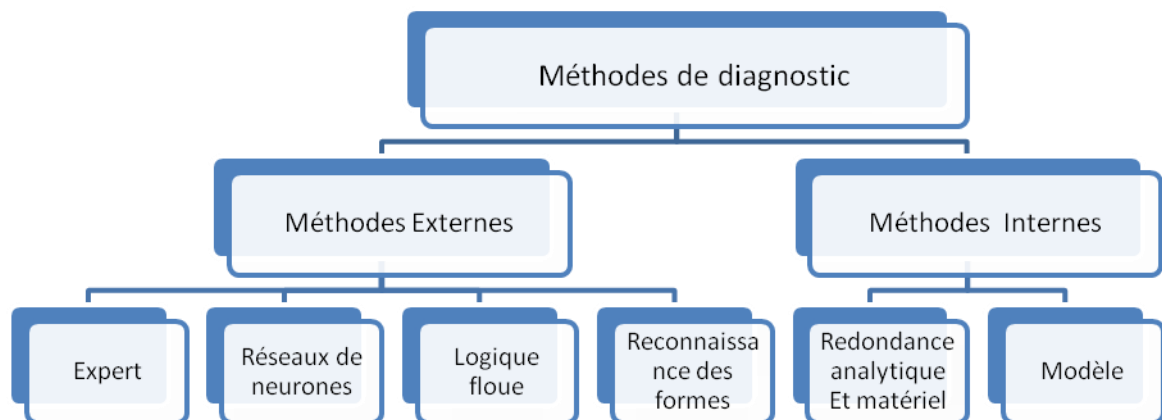


Figure II.1 Synoptique de classement des méthodes de diagnostic

II.4.1 Méthodes internes

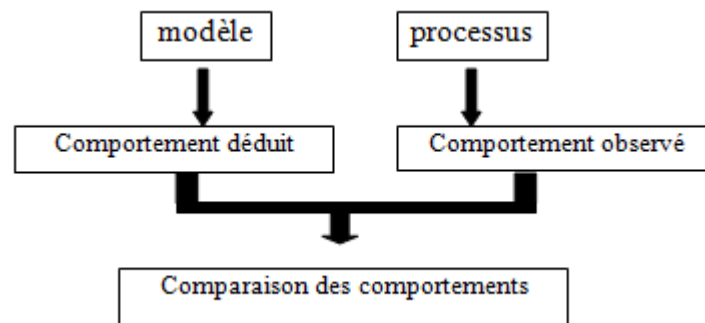
Cette famille de méthodes est principalement dérivée des techniques utilisées par les automaticiens à partir de modèles physiques ou de comportement validés par les techniques d'identification de paramètre, il devient possible de mettre en œuvre la méthode du problème inverse.

Le diagnostic de défaillance est possible en suivant en temps réel l'évolution des paramètres physique, ou bien en utilisant l'inversion de modèles de type "boite noire", les méthodes internes de diagnostic se regroupent en deux grandes familles :

- la méthode du modèle
- la méthode de redondance analytique et matérielle [9].

II.4.1.1 Méthode du modèle

La méthode du diagnostic basée sur le modèle [9] consiste à comparer les grandeurs déduites d'un modèle représentatif du fonctionnement des différentes entités du processus avec les mesures directement observées sur le processus industriel. La figure 2.2 représente le fonctionnement d'un système de détection de défaillances utilisant l'approche basée sur le modèle.



FigureII.2 Principe de fonctionnement de la méthode du modèle

En général, pour des processus continus dotés de systèmes de régulation, il est judicieux d'utiliser un modèle prenant séparément en compte les chaînes de régulation, les actionneurs et les sous-ensembles du processus industriel. Comme il a été utilisé en [8] et [9] pour un système d'entraînements électriques, le modèle possède une structure identique à celle du processus. La comparaison des comportements sert à la détection des écarts entre les signaux d'état normaux et anormaux. Les observations simultanées des signaux de sortie de comparaison permettent d'isoler rapidement le module défaillant [8], [9].

II.4.1.2 Redondance analytique et matérielle

La redondance analytique se base sur la connaissance d'un modèle mathématique du système à surveiller, ce modèle placé dans les mêmes conditions que le système est calculé en temps réel, fournit les relations de redondances nécessaires à la comparaison du procédé avec le modèle [8], [9], [10].

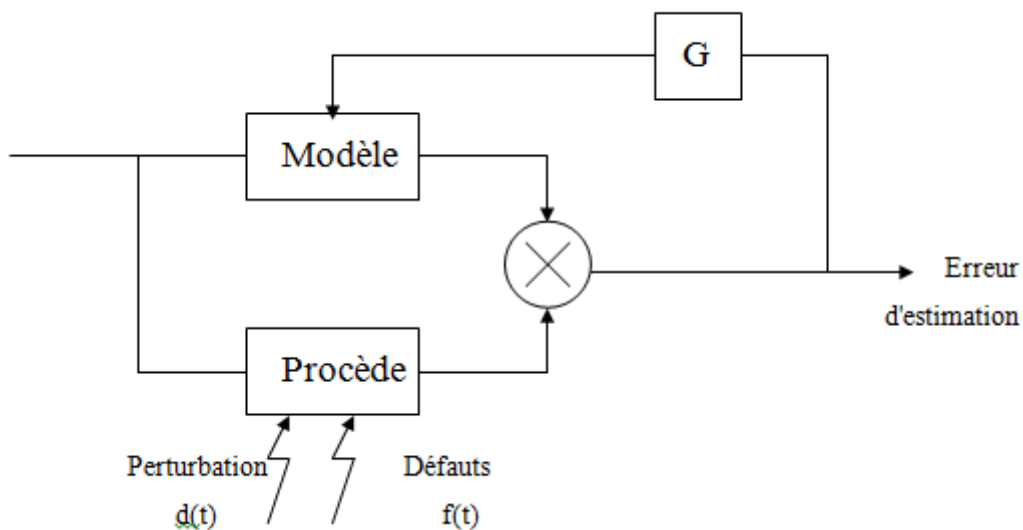


Figure II.3 Principe de fonctionnement de la méthode de redondance analytique

D'un côté, il existe une méthode par la redondance matérielle qui consiste à doubler ou à tripler l'équipement et plusieurs actionneurs plusieurs capteurs et plusieurs systèmes de commande [8], [9]. L'utilisation de cette méthode est essentiellement réservée aux cas où la continuité de service est obligatoire (avionique). En effet, elle apporte l'avantage une fois la défaillance détectée, d'utiliser la partie de l'équipement encore saine –c'est une méthode chère et complexe.

II.4.2 Méthodes externes

Les méthodes de diagnostic externes s'appliquent dans les situations où la modélisation des mécanismes reliant les causes des défaillances et des dégradations ne sont pas techniquement modélisables, ou bien ne présentent pas d'intérêt économique compte tenu des enjeux recherchés.

Dans cette catégorie on retrouve toutes les méthodes basées sur l'intelligence artificielle. L'intelligence artificielle est presque vieille que l'informatique, les premiers travaux et réalisations datent de début des années 50, l'expression "intelligence artificielle" a été proposée par "J.Mecarthy" en 1956 [9].

II.4.2.1 Méthodes de reconnaissance des formes

Parmi toutes les approches du diagnostic, la reconnaissance des formes est une technique de définition d'algorithmes permettant de classer des objets dont l'aspect a varié par rapport à un objet type. Il s'agit de définir à quelle forme-type une forme observée ressemble le plus [8] [9].

Dans ce cas, la forme est définie par un ensemble de 'd' paramètres appelés caractères qui sont les composants du vecteur forme x ; les prototypes sont les points représentatifs du vecteur forme dans l'espace à 'd' dimensions ;

Dans un problème de reconnaissance des formes on suppose généralement que les formes x à classer appartiennent à M catégories bien déterminées appelées classes et notées w_1, w_2, \dots, w_m .

Compte tenu du bruit de mesure les vecteurs appartenant à une classe donnée w_i forment une zone particulière dans l'espace de dimension d .

Le problème de la reconnaissance des formes consiste à déterminer les formes séparant les M classes dans le but de pouvoir ultérieurement classer une nouvelle forme x lors de l'opération de classification ou de discrimination [8] [9].

La procédure de diagnostic basée sur les techniques de reconnaissance des formes met en œuvre quatre étapes principales qui sont résumées sur la figure (2.4).

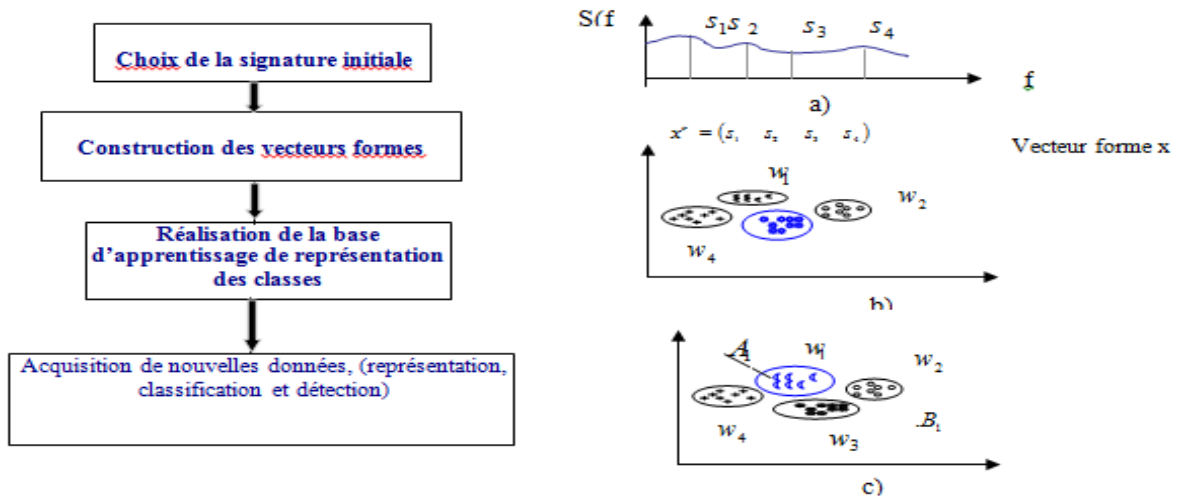


Figure II.4 Procédure de diagnostic basée sur la technique de la reconnaissance des formes

Dans ce cas, la dernière phase correspond évidemment à l'exploitation du système de diagnostic. D'autre part, après l'acquisition d'une nouvelle signature, on calcule la forme associée dans l'espace de présentation et on procède à sa classification, chose qui se réalise sans difficulté (par exemple, il faudra prendre la décision de rejeter le point B ou de le caser dans une nouvelle classe).

II.4.2.2 Diagnostic par systèmes experts

Un système expert doit fournir des réponses associées à une situation donnée sachant que la complexité du domaine étudié ne permet pas d'établir a priori toutes les configurations possibles des situations ; ainsi un spécialiste du dépannage réalise son diagnostic à l'aide d'une description partielle de la situation.

A partir de l'ensemble de symptômes dont il dispose, il peut déduire toutes les conclusions possibles, élaborer de nouvelles hypothèses et approfondir son diagnostic en exploitant des informations supplémentaires collectées sur le système à diagnostiquer [9].

Un système expert est constitué de plusieurs éléments principaux [9] (voir la fig. II.5) dont on peut citer :

Base de connaissances : La base de connaissances est souvent la partie stable du système, elle est immédiatement exécutée dès l'appel du système et c'est elle qui rassemble les connaissances nécessaires à la résolution des problèmes du domaine.

Base de faits : Les faits sont les objets élémentaires de l'application ; la base de faits qui au départ contient les informations initiales relatives au domaine s'enrichit progressivement de conclusions ou de nouveaux faits déduits par le moteur d'inférence.

Moteur d'inférence : Le moteur d'inférence exploite de façon indépendante les informations contenues dans la base de faits et la base de connaissances pour fournir une solution au problème donné. Par ailleurs, le moteur d'inférence produit dans son mécanisme de raisonnement de nouveaux faits qui sont mémorisés dans la base de faits.

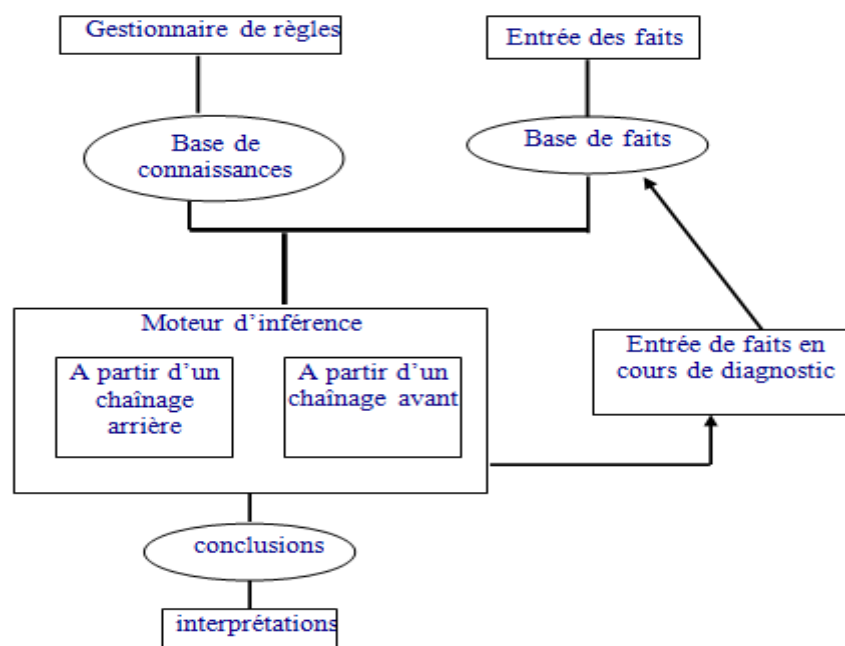


Figure II.5 Architecture générale d'un système expert de diagnostic

II.4.2.3 Diagnostic par logique floue

Cette approche, contrairement à la logique du tout ou rien de G. Boode, a pour but la prise en compte de la logique de la pensée humaine qui est approximative.

Le concept de sous-ensemble flou a été introduit pour prendre en compte l'imprécision. La fonction d'appartenance à un ensemble flou prend des valeurs sur l'intervalle $[0,1]$. Celles-ci expriment le degré d'appartenance d'un élément à cet ensemble : 0 pour la non appartenance stricte et 1 pour l'appartenance stricte [9].

Le principe de fonctionnement du diagnostic basé sur la logique floue consiste à extraire et à calculer les signaux d'entrée, en utilisant les règles linguistiques représentées sous forme de fonctions d'appartenance, ces règles peuvent contenir tous les modèles possibles qui correspondent au mode de défaut considéré [8] [9] [10].

En général, la procédure de fonctionnement d'un système flou est accomplie en trois étapes :

- La fuzzification ;
- L'inférence ;
- La défuzzification .

Le bloc fuzzification contient en général un traitement de données préliminaires ; ces données sont alors traitées par des règles linguistiques, ce qui nécessite leur définition par des fonctions d'appartenance. La fuzzification fournit une série de variables floues, réunies par un vecteur, qui va être introduit au bloc d'inférence.

Dans le bloc inférence, les valeurs des variables linguistiques sont liées par plusieurs règles qui doivent tenir compte du comportement statique et dynamique du système (des effets du système à diagnostiquer).

Dans la dernière étape, il faut transformer la valeur floue (linguistique) en une valeur déterminée pour déduire l'état du système, ceci se faisant dans le bloc défuzzification ; en [9], on rencontre les applications de cette méthode pour le diagnostic des machines asynchrones.

II.4.2.4 Diagnostic externe avec les réseaux de neurones

Cette méthode fait partie des méthodes de diagnostic externes, elle utilise la classification automatique des signaux et des formes [9].

Le principe de fonctionnement des réseaux de neurones est inspiré des mécanismes de fonctionnement du cerveau humain. De l'extérieur, le réseau de neurones se présente comme une 'boîte noire' qui reçoit des signaux d'entrée et qui fournit les réponses appropriées.

Dans le cas du diagnostic, les différents états de fonctionnement normaux et anormaux sont le plus souvent caractérisés par des signatures. L'opérateur humain, après avoir mémorisé et appris les différentes formes de signatures associées à un état déterminé, est capable à la lecture d'une nouvelle signature d'identifier très rapidement l'état de la machine. Si la nouvelle signature est déjà apprise, il devra l'interpréter et la mémoriser. En général, le RNA permet de reconstituer le processus de raisonnement humain décrit ci-dessus.

Par ailleurs, un réseau de neurones est défini par [9] :

- la nature des cellules élémentaires qui le constituent (binaires ou continues) ;
- l'architecture et le nombre des couches du réseau ;
- la nature des connexions ;
- les méthodes d'apprentissage ;
- les performances de classification ;
- les mécanismes de mémorisation.

II.5 Conclusion

Dans le présent chapitre ont été exposées les étapes nécessaires à la mise en place d'un système d'aide au diagnostic (analyse de la problématique du diagnostic) ; une analyse critique faite sur les méthodes du diagnostic. La méthode qu'on va adopter sera identifiée à l'issue de l'analyse du comportement du redresseur en mode de fonctionnement normal et en mode de défaut.

Chapitre III

Conception du système

de diagnostic du

redresseur PD3



III.1. Introduction

Dans le présent chapitre on va étudier expérimentalement un redresseur PD3 à diode alimentant un moteur à courant continu à excitation séparée en mode de fonctionnement normal et en mode de défaut.

Les résultats expérimentaux vont nous permettre de comparer les grandeurs électriques indicatrices choisies pour différents cas de défauts afin de concevoir le système de diagnostic du redresseur.

III.2. Méthode de diagnostic

On adopte la méthode du diagnostic basée sur le modèle qui consiste à comparer les tensions V_{Pnmod} et V_{Nnmod} issues du modèle du redresseur avec celles mesurées V_{Pnmes} et V_{Nnmes} pour différents cas de défauts. La figure suivante présente un schéma synoptique du système de diagnostic utilisant l'approche basée sur le modèle.

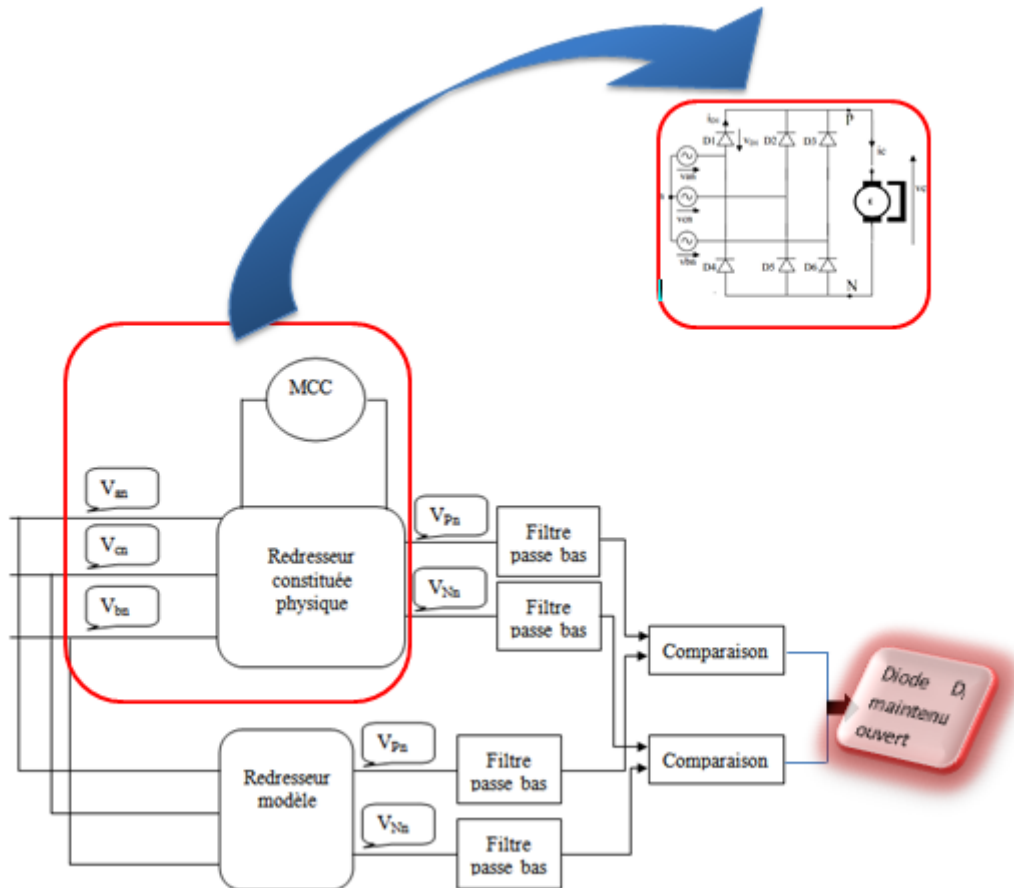


Figure III.1 Schéma synoptique de la méthode proposée pour le diagnostic du redresseur PD3-

Mcc

III.3. Fonctionnement en cas normale

Les diodes D1, D2 et D3 constituent un commutateur à cathodes communes. À chaque instant, la diode passante est celle qui est reliée à la phase du réseau présentant la tension la plus positive. Les diodes D4, D5 et D6 constituent un commutateur à anodes communes. À chaque instant, la diode passante est celle qui est reliée à la phase du réseau présentant la tension la plus négative.

$$v_{an}=V_m \sin(\theta) \quad ; \quad v_{bn}=V_m \sin (\theta-2\pi/3); \quad v_{cn}=V_m \sin (\theta-4\pi/3)$$

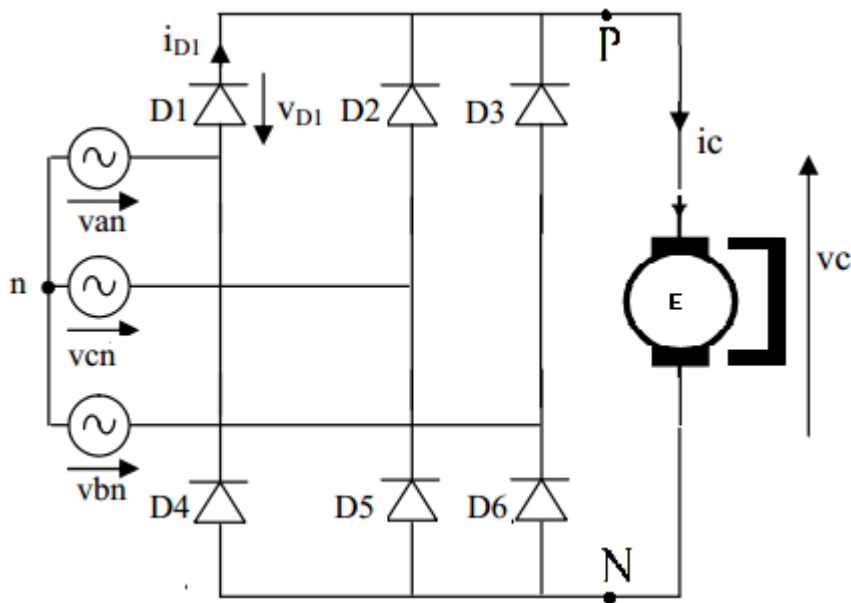


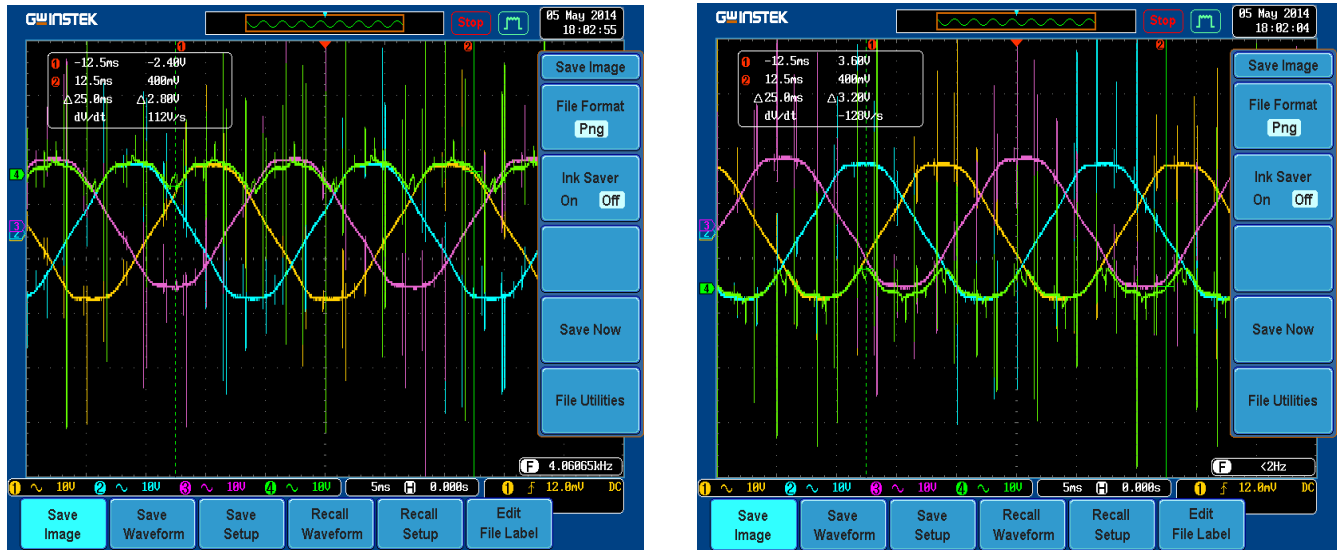
Figure III.2 Schéma électrique du redresseur non commandé PD3 considéré

Ce montage comporte six diodes supposées idéales constituant un PD3, alimenté par un réseau dont les tensions simples v_{an} , v_{cn} et v_{bn} forment un système triphasé équilibré direct, alimentant un moteur à courant continu à aimant permanent. Les paramètres de ce montage sont indiqués dans l'annexe.

Il faut remarquer que les signaux relevés sont riches en harmoniques hautes fréquences qui sont dues à :

- 1- La commutation du collecteur du moteur à courant continu à excitation séparée (à aimant permanent).
- 2- Les harmoniques de courant injectés par le redresseur PD3 dans le réseau électrique triphasé.
- 3- Les bruits du système d'acquisition de signaux (les capteurs de tension).

Un système de filtrage des signaux acquis est nécessaire pour augmenter la précision du système de diagnostic développé dans ce mémoire



a. V_{Pnmes} (vert) b. V_{Nnmes} (vert)

v_{an} (jaune) , v_{bn} (violet) , v_{cn} (bleu)

Figure III.3 Courbes expérimentales pour un PD3 sans défaut

Le modèle du redresseur, choisi dans cette étude, peut se résumer en :

$$V_{Pnmod} = \max(v_{an}, v_{bn}, v_{cn})$$

$$V_{Nnmod} = \min(v_{an}, v_{bn}, v_{cn})$$

Selon les courbes de figure III.3, on remarque que :

V_{Pnmes} prend la maximum positif des trois tensions v_{an} , v_{bn} et v_{cn} .

V_{Nnmes} prend la maximum négatif des trois tensions v_{an} , v_{bn} et v_{cn} .

On peut considérer que :

$$V_{Pnmod} = V_{Pnmes} \pm \epsilon_P \quad \epsilon_P \text{ erreur entre les valeurs mesurées et estimées (modèle) de } V_{Pn}.$$

$$V_{Nnmod} = V_{Nnmes} \pm \epsilon_N \quad \epsilon_N \text{ erreur entre les valeurs mesurées et estimées (modèle) de } V_{Nn}.$$

L'erreur de mesure ϵ à retenir est la plus grande entre ϵ_P et ϵ_N :

$$\epsilon = |\max((V_{Pnmod} - V_{Pnmes}), (V_{Nnmod} - V_{Nnmes}))| = |\max(\epsilon_P, \epsilon_N)|. \quad (III.1)$$

III.4 Fonctionnement en cas de défaut

III.4.1 Diode (D1) maintenue ouverte

La diode D1 est détruite et elle se comporte comme un circuit ouvert (figure suivante).

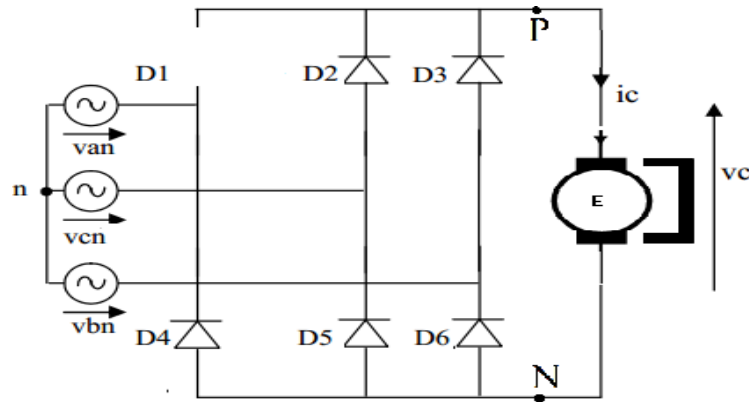
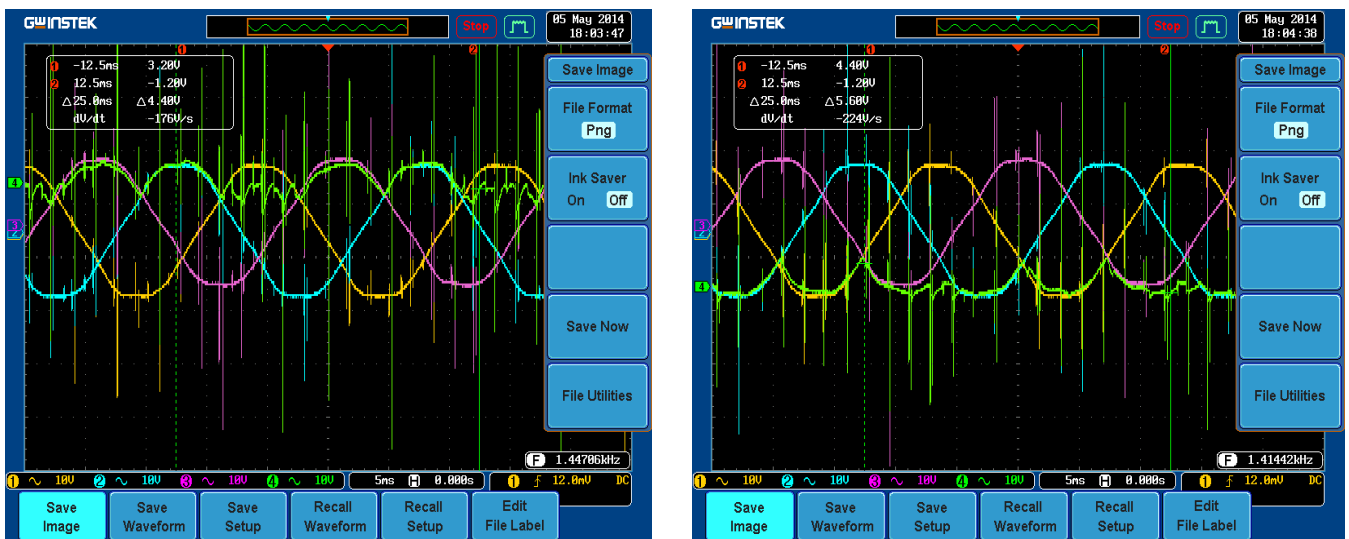


Figure III.4 Schéma électrique du redresseur non commandé PD3 considéré (D1 maintenue ouverte)



a. V_{Pnmes} (vert) b. V_{Nnmes} (vert)
van (jaune) ,vbn (violet) , vcn (bleu)

Figure III.5 Courbes expérimentaux pour un PD3 avec D1 maintenue ouverte

Selon les courbes de figure III.5, on remarque que durant l'intervalle où $van > vbn$ et/ou $van > vcn$: la tension V_{Pnmes} devient inférieure à van alors que la tension V_{Nnmes} devient plus négative que vbn et/ou vbn . Cela est dû au fait que les tensions V_{Pnmes} et V_{Nnmes} dépendent principalement de la force contre électrométrie (f_{cem}) et l'inductance de l'induit du moteur. Cette dernière étant de très petite valeur rend les tensions V_{Pnmes} et V_{Nnmes} complètement dépendantes de la f_{cem} du moteur qui de son tour dépend de la vitesse du rotor. Selon ces remarques, on peut déduire la règle suivante :

Si $(V_{Pnmes} < (V_{Pnmod} = v_{an}) - h)$ alors D_1 maintenue ouverte

Avec h représente le seuil relative au défaut qui doit être choisi de telle sorte qu'il soit plus grand que la plus grande erreur de mesure :

$$\epsilon = |\max((V_{Pnmod} - V_{Pnmes}), (V_{Nnmod} - V_{Nnmes}))| \text{ et } (h > \epsilon).$$

III.4.2. Diode (D2) maintenue ouverte

La diode D2 est détruite et elle se comporte comme un circuit ouvert (figure suivante).

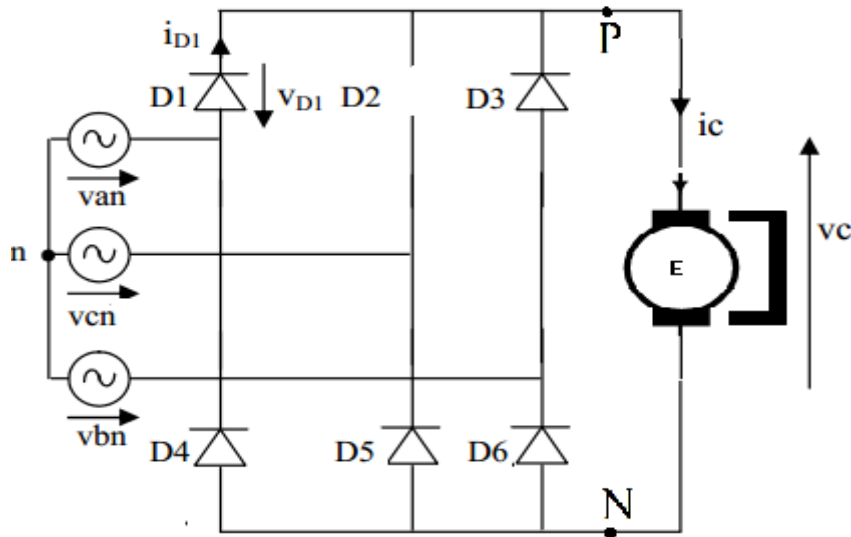
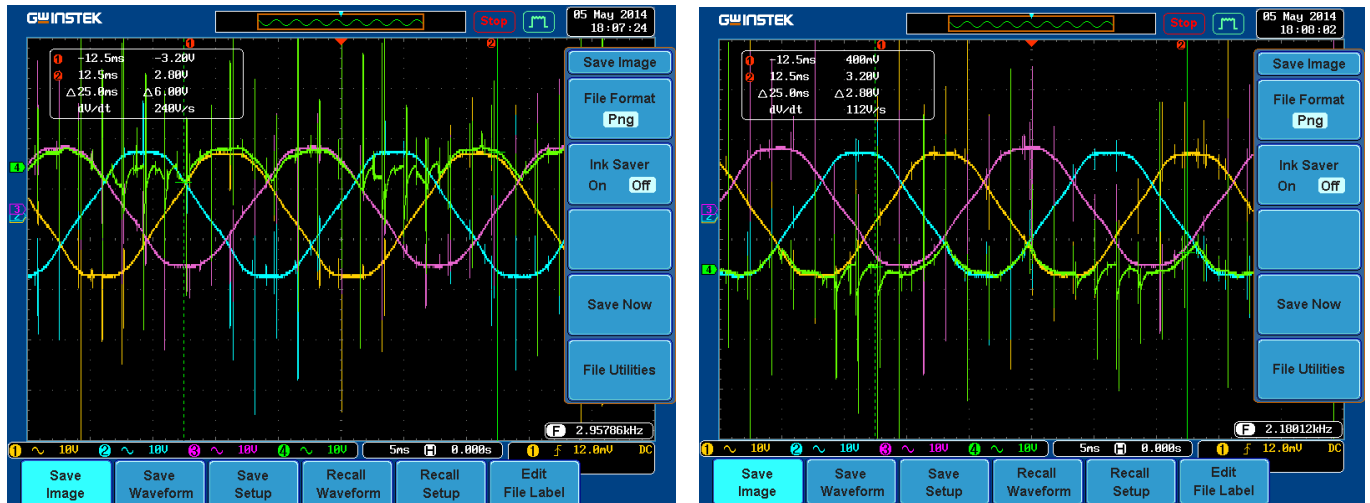


Figure III.6 Schéma électrique du redresseur non commandé PD3 considéré (D2 maintenue ouverte)



a. V_{Pnmes} (vert) b. V_{Nnmes} (vert)
van (jaune), vbn (violet), vcn (bleu)

Figure III.7 Courbes expérimentales pour un PD3 avec D2 maintenue ouverte

Selon les courbes de figure III.7, on remarque que :

Si $(V_{Pnmes} < (V_{Pnmod} = v_{cn}) - h)$ alors D_2 maintenue ouverte (h seuil relative au défaut $h > \epsilon$)

III.4.3 Diode (D4) maintenue ouvert

La diode D4 est détruite et elle se comporte comme un circuit ouvert (figure suivante).

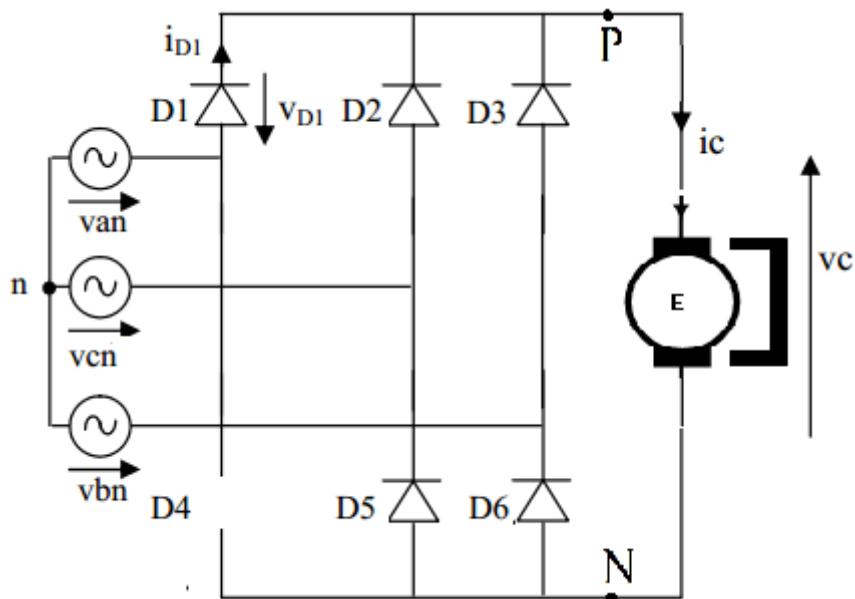
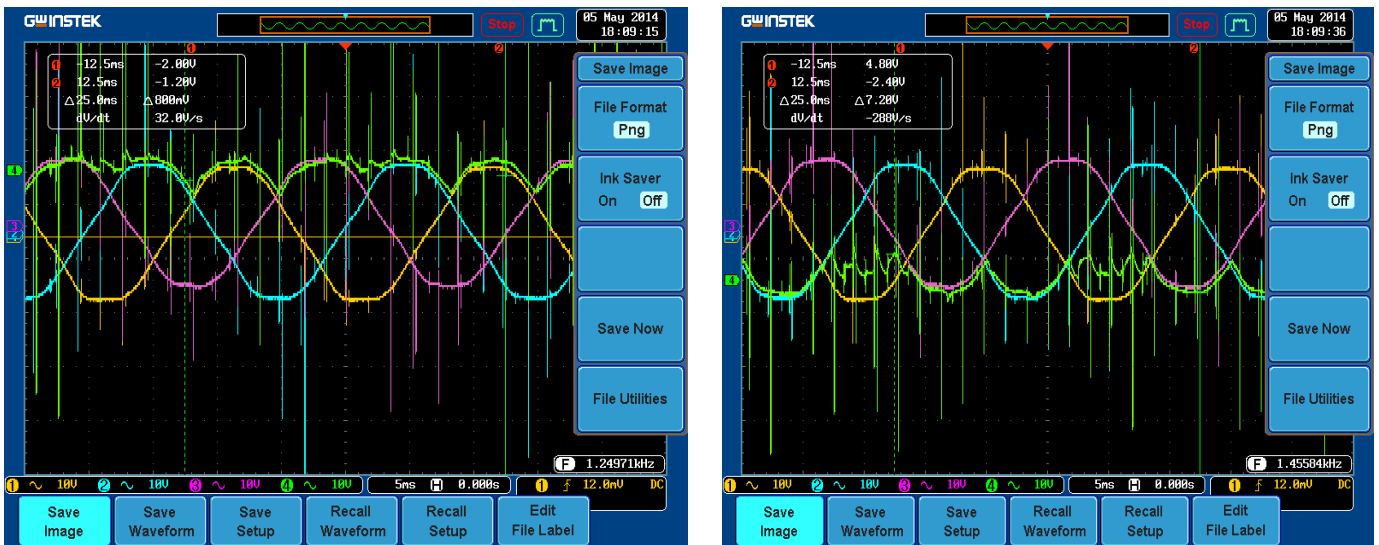


Figure III.8 Schéma électrique du redresseur non commandé PD3 considéré (D4 maintenue ouverte)



a. V_{Pnmes} (vert) b. V_{Nnmes} (vert)
van (jaune), vbn (violet), vcn (bleu)

Figure III.9 Courbes expérimentales pour un PD3 avec D4 maintenue ouverte

Selon les courbes de figure III.9, on remarque que :

Si $(V_{Nnmes} > (V_{Nnmod} = v_{an}) + h)$ alors D4 maintenue ouverte

ou

Si $(|V_{Nnmes}| < (|V_{Nnmod}| = |v_{an}|) - h)$ alors D4 maintenue ouverte

III.4.4 La diode (D5 et D6) maintenues ouvertes

La diode D5 et D6 est détruite et elle se comporte comme un circuit ouvert (figure).

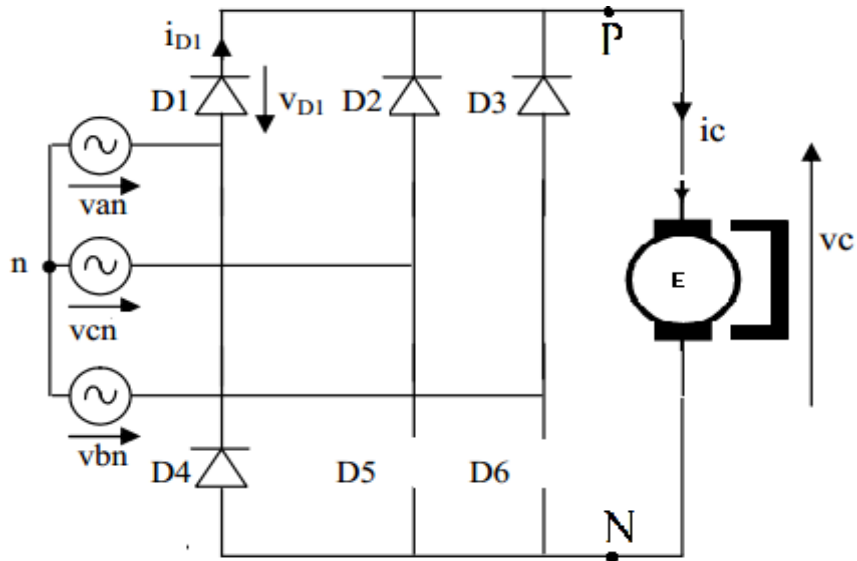
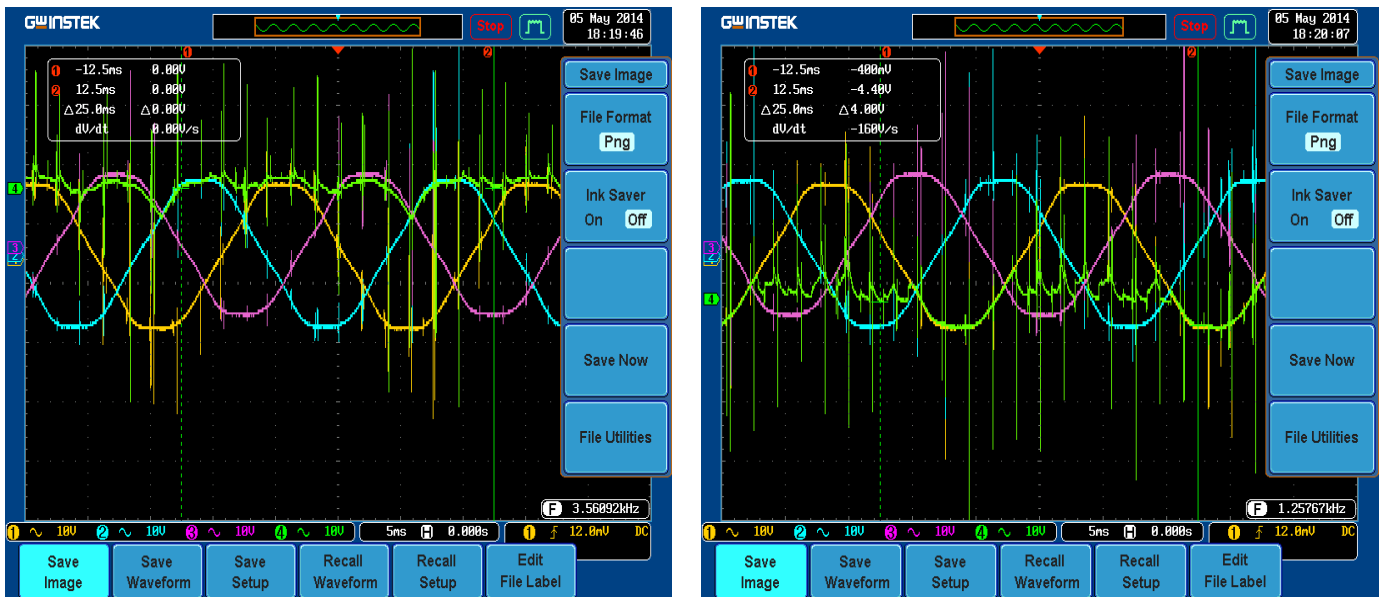


Figure III.10 Schéma électrique du redresseur non commandé PD3 considéré (D5 et D6 maintenus ouverts)



a. V_{Pnmes} (vert) b. V_{Nnmes} (vert)
 v_{an} (jaune), v_{bn} (violet), v_{cn} (bleu)

Figure III.11 Courbes expérimentales pour un PD3 avec D5 et D6 maintenues ouvertes

Selon les courbes de figure III.11, on remarque que :

Si $(V_{Nnmes} > (V_{Nnmod} = v_{cn}) + h)$ alors D5 maintenue ouverte

Si $(V_{Nnmes} > (V_{Nnmod} = v_{bn}) + h)$ alors D6 maintenue ouverte

ou

Si $(|V_{Nnmes}| < (|V_{Nnmod}| = |v_{cn}|) - h)$ alors D5 maintenue ouverte

Si $(|V_{Nnmes}| < (|V_{Nnmod}| = |v_{bn}|) - h)$ alors D6 maintenue ouverte

III.4.5. Diodes (D2 et D3) maintenues ouvertes

La diode D2 et D3 est détruite et elle se comporte comme un circuit ouvert (figure).

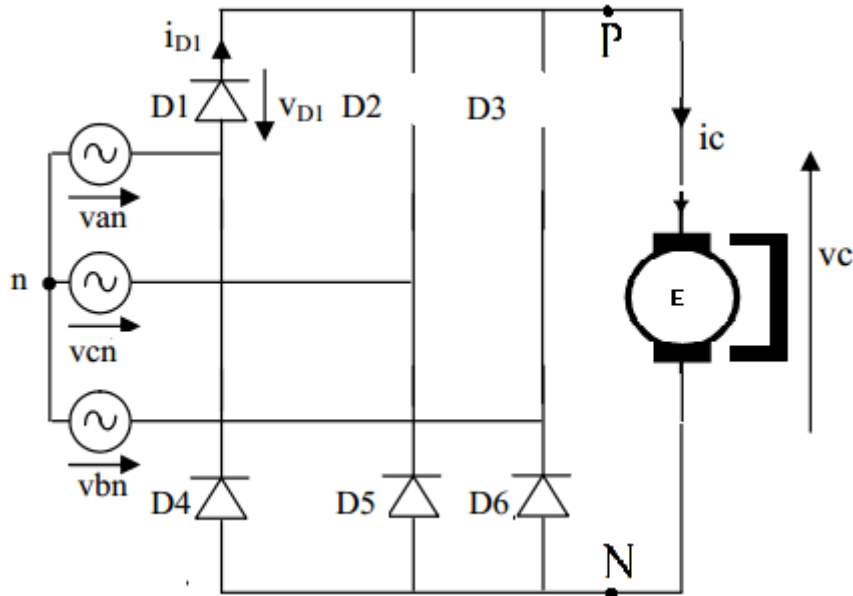
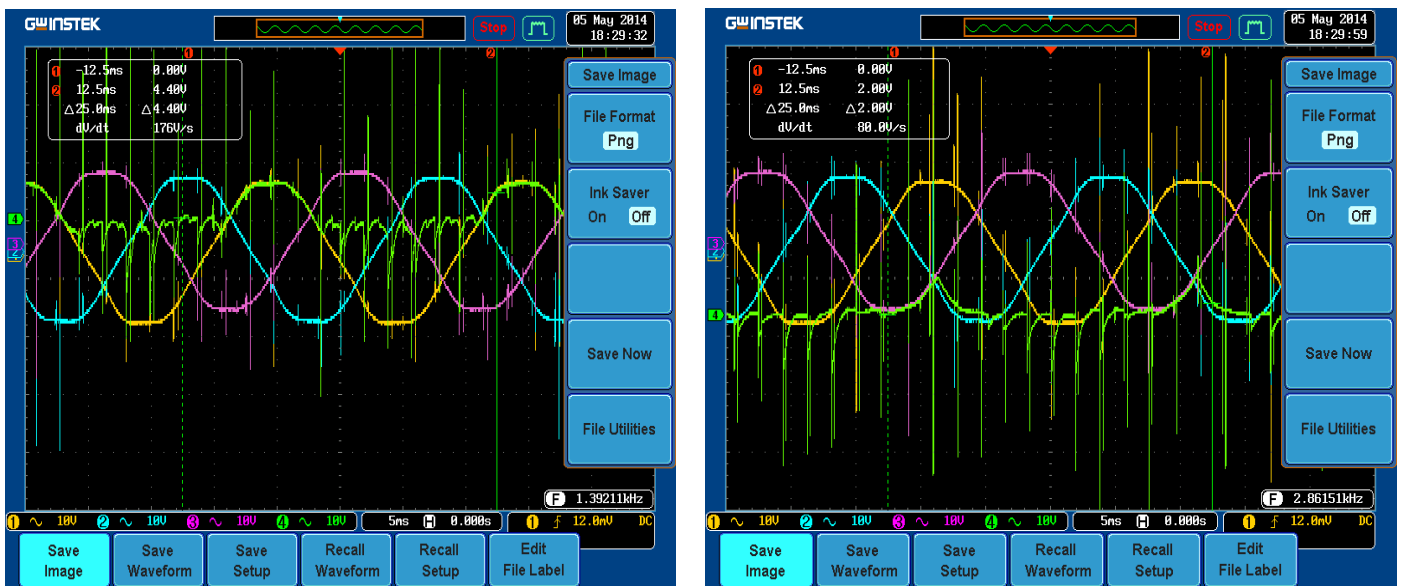


Figure III.12 Schéma électrique du redresseur non commandé PD3 considéré (D2 et D3 maintenus ouverts)



a. V_{Pnmes} (vert) b. V_{Nnmes} (vert)

van (jaune) ,vbn (violet) , vcn (bleu)

Figure III.13 Courbes expérimentaux pour un PD3 avec D2 et D3 maintenus ouverts

Selon les courbes de figure III.13, on remarque que :

Si $(V_{Pnmes} < (V_{Pnmod} = vcn) - h)$ alors D₂ maintenue ouverte

Si $(V_{Pnmes} < (V_{Pnmod} = vbn) - h)$ alors D₃ maintenue ouverte

III.4.6 Diodes (D1 et D4) maintenues ouvertes

La diode D2 et D3 est détruite et elle se comporte comme un circuit ouvert (figure suivante).

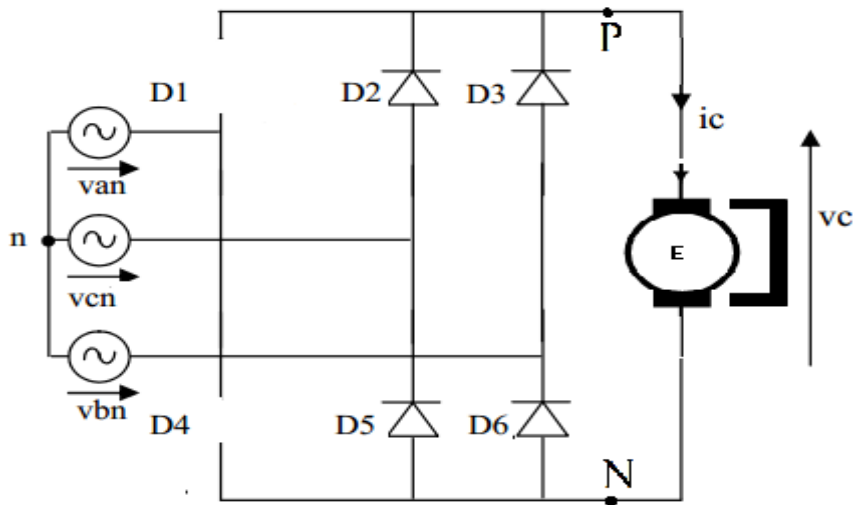
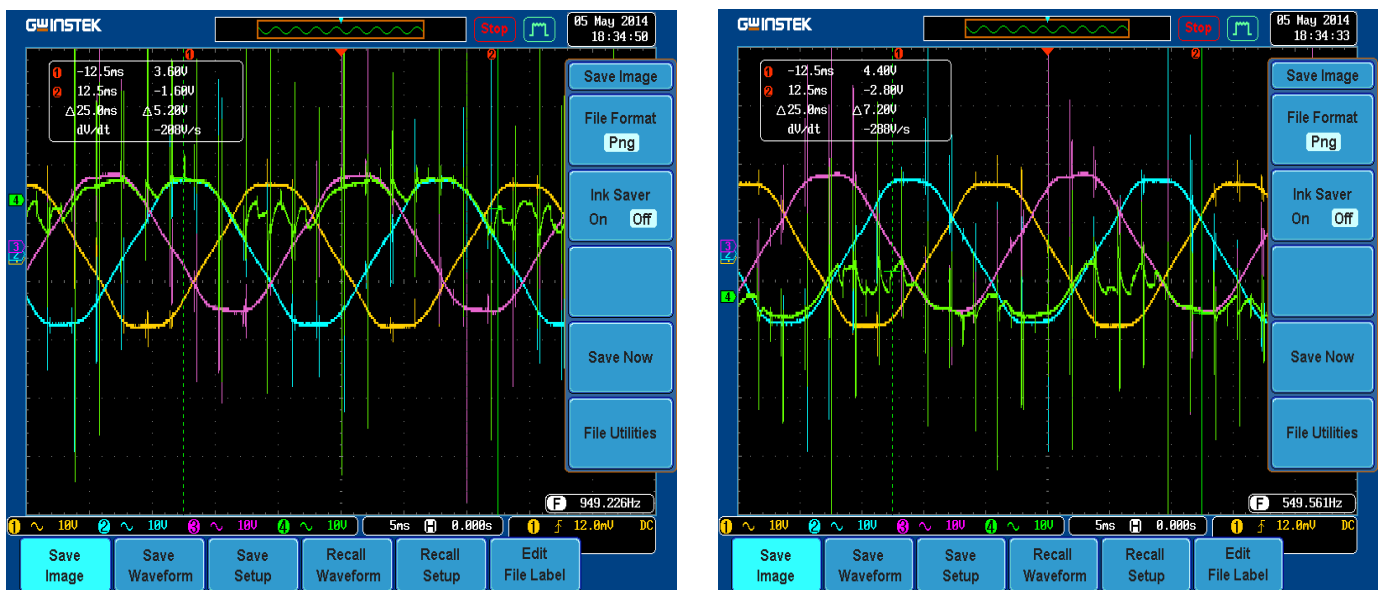


Figure III.14 Schéma électrique du redresseur non commandé PD3 considéré (D1 et D4 maintenus ouverts)



a. V_{Pnmes} (vert) b. V_{Nnmes} (vert)
van (jaune), vbn (violet), vcn (bleu)

Figure III.15 Courbes expérimentales pour un PD3 avec D1 et D4 maintenus ouverts

Selon les courbes de figure 3.15, on remarque que :

Si $(V_{Pnmes} < (V_{Pnmod} = van) - h)$ alors D₁ maintenue ouverte

Si $(V_{Nnmes} > (V_{Nnmod} = van) + h)$ alors D₄ maintenue ouverte

ou

Si $(V_{Pnmes} < (V_{Pnmod} = van) - h)$ alors D₁ maintenue ouverte

Si $(|V_{Nnmes}| < (|V_{Nnmod}| = |van|) - h)$ alors D₄ maintenue ouverte

Les caractéristiques des différents cas de défaut de diode maintenue ouverte du redresseur PD3 alimentant un moteur à courant continu sont résumées dans le tableau III.1.

Condition	Diode maintenue ouverte
Si $(V_{Pnmes} < (V_{Pnmod=van}) - h)$	D ₁
Si $(V_{Pnmes} < (V_{Pnmod=vcn}) - h)$	D ₂
Si $(V_{Pnmes} < (V_{Pnmod=vbn}) - h)$	D ₃
Si $(V_{Nnmes} > (V_{Nnmod=van}) + h)$ ou Si $(V_{Nnmes} < (V_{Nnmod= van }) - h)$	D ₄
Si $(V_{Nnmes} > (V_{Nnmod=vcn}) + h)$ ou Si $(V_{Nnmes} < (V_{Nnmod= vcn }) - h)$	D ₅
Si $(V_{Nnmes} > (V_{Nnmod=vbn}) + h)$ ou Si $(V_{Nnmes} < (V_{Nnmod= vbn }) - h)$	D ₆

Tableau III.16 Caractéristiques des différents cas de défaut de diode maintenue ouverte du redresseur PD3 alimentant un moteur à courant continu

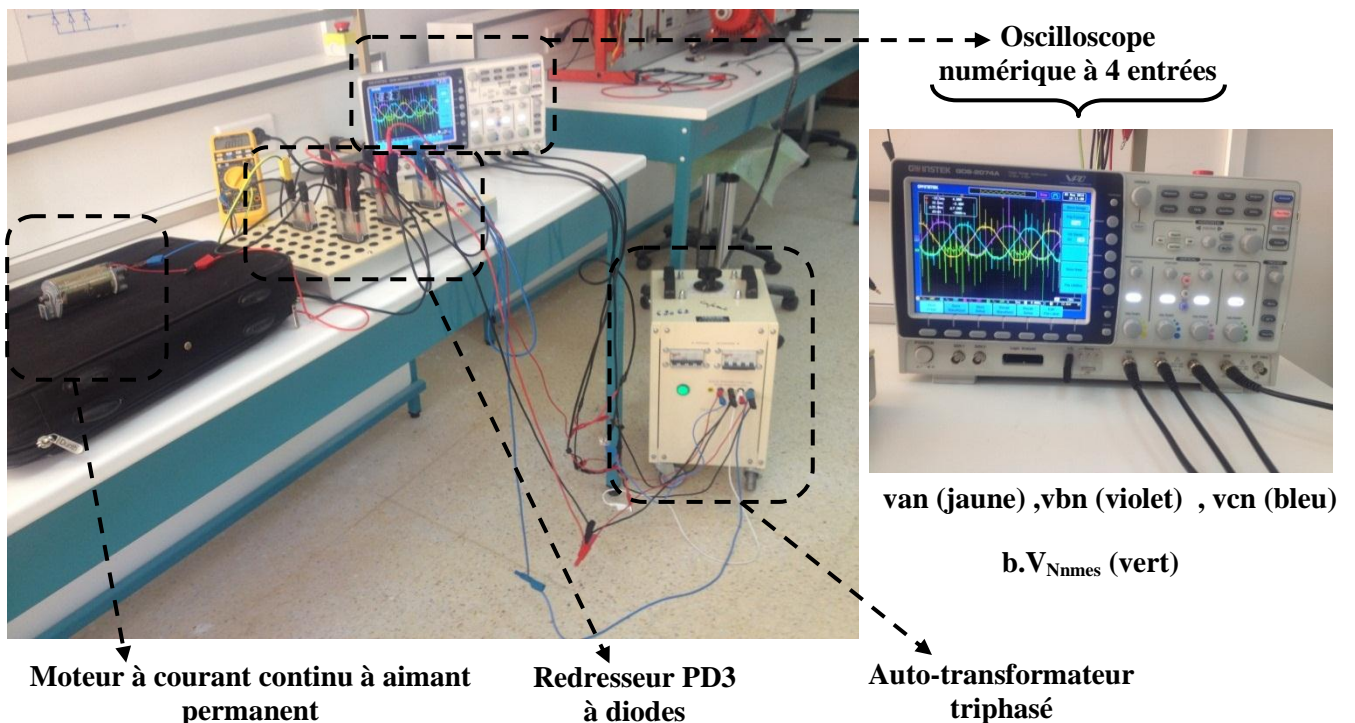


Figure III.16 Banc d'essai expérimental pour un PD3 avec D4 maintenue ouverte

III.5 Conclusion

Dans ce chapitre, on a présenté un redresseur PD3 à diode alimentant un moteur à courant continu à excitation séparée en mode de fonctionnement normal et en mode de défaut.

La comparaison entre les deux modes permettant de conclure un système de diagnostic et de surveillance du redresseur PD3 alimentant un MCC.

Conclusion générale

Dans ce mémoire, une étude expérimentale est menée sur le diagnostic du convertisseur AC-DC, particulièrement le redresseur PD3 à diodes, alimentant un moteur à courant continu à excitation séparée (à aimant permanent).

A cet effet, des essais expérimentaux sont fait pour différents cas de défaut d'ouverture d'une diode en observant l'évolution des indicateurs de défaut considérés à savoir : les tensions entre d'une par les bornes positive et négative de la charge et d'autre part le neutre du système triphasé des tensions d'entrée.

Ces essais nous ont permis d'extraire une caractéristique particulière et spécifique au niveau des indicateurs de défaut pour chaque cas de défaut d'ouverture d'une diode dans le PD3.

Ces caractéristiques peuvent être organisées sous forme d'arbre de défaillance pour donner naissance à un système de diagnostic et de surveillance du redresseur PD3 alimentant un MCC. Cela constitue un des perspectives de ce travail. D'autres perspectives sont envisageables dans ce sens telles que :

- L'introduction des filtres passe bas (hardware ou software) pour élimination des harmoniques hautes fréquences afin de bien lisser les signaux indicateurs de défaut pour augmente la précision du système de diagnostic.
- La mise en pratique de l'arbre de défaillance développée en se basant sur les caractéristiques extraites à l'issue de cette étude.
- L'extension et l'adaptation de l'approche étudié dans ce mémoire à d'autres types de convertisseurs statiques tels que, les redresseurs commandables (à thyristor et à MLI), les onduleurs (2 niveaux et multiniveaux) et les convertisseurs matriciels.

Annexe

Les paramètres du banc d'essai expérimental sont les suivants :

Réseau électrique :

Tension simple efficace (v_{aneff} , v_{cneff} et v_{bneff}) : 9 V

Fréquence (f) : 50 Hz.

Moteur à courant continu :

Le moteur utilisé à vide est un moteur à courant continu à aimant permanent.

⚡ Puissance nominale	: 30 W
⚡ Tension nominale d'induit	: 24 V
⚡ Vitesse de rotation nominale	: 3000 tr/min
⚡ Couple nominale	: $C_n = 0.096 \text{ Nm}$
⚡ Courant nominale d'induit	: $I_n = 2 \text{ A}$
⚡ Résistance d'induit	: $R_a = 3.5 \Omega$
⚡ Inductance d'induit	: $L_a = 3 \text{ mH}$
⚡ Moment d'inertie	: $J = 17.7 * 10^{-6} \text{ Kg.m}^2$

Matérielles utilisée :

Redresseur triphasée à diodes,
Auto transformateur triphasée,
Oscilloscope numérique à 4 Entrées
Moteur à courant continu à aimant permanent

Références bibliographiques

- [1] : Fang Lin Luo, Hong Ye, « Power Electronics Advanced Conversion Technologies », Book printed by CRC Press, Taylor & Francis Group, United States of America, 2010.
- [2] : Michel PINARD, « Convertisseurs et électronique de puissance », Livre, Dunod, 2007.
- [3] : Guy Séguier, « Electronique de puissance Les fonctions de base et leurs Principales applications », Livre, Dunod, 7 édition.
- [4] : Dong-Eok Kim and Dong-Choon Lee, « Fault Diagnosis of Three-Phase PWM Inverters Using Wavelet and SVM», Journal of Power Electronics, Vol. 9, No. 3, May 2009, pp. 377-385.
- [5] : Surin Khomfoi, WarachartSae-Kok and IssarachaiNgamroo, « An Open Circuit Fault Diagnostic Technique in IGBTs for AC to DC Converters Applied in Microgrid Applications », Journal of Power Electronics, Vol. 11, No. 6, November 2011, pp. 801-810.
- [6] : Tarak Benslimane, Boukhemis Chetate and Thameur Abdelkrim, « Use of asymmetrical currents waveforms to detect and localize open switch faults for two level voltage source inverter three-phase shunt active power filter », Archives of Control Sciences, Volume 21(LVII), 2011, No. 1, pp. 105–117.
- [7] : Tarak Benslimane, « A New Technique for Simultaneous Detection of One or Two Open-Switch Faults in Three Phase Voltage-Inverter-Fed PM Brushless DC Motor Drive », Journal of ELECTRICAL ENGINEERING (JEEEC), VOL. 59, NO. 2, 2008, 97–100.
- [8] : Gilles Rostaing « diagnostic de défaut dans les entraînements électriques », thèse de doctorat. Institut national polytechnique de Grenoble.1997.
- [9] : G .Zwinngelsten, « diagnostic des défaillances, théorie et pratique pour les systèmes industriels », Ed. hermes paris. 1995.
- [10] : CHAIB Rachid, « La maintenance industrielle », Editions Université Mentouri de Constantine. 2004.

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DE DIPLOME
DE MASTER EN GENIE ELECTRIQUE
SPECIALITE :
INGENERIE DES SYSTEMES ELECTROMECHANQUES**

Proposé et dirigé par : Dr. BENSLIMANE Tarak.

Présenté par : OULD BRAHIM Mahmoud Fewzi.

Thème :

Diagnostic de convertisseur AC-DC alimentant un moteur à courant continu à excitation séparée

Résumé :

Le travail proposé dans ce mémoire se résume en l'analyse du comportement du redresseur triphasé double alternance à diodes en mode normal et en mode de défaillance lorsqu'il alimente un moteur à courant continu à excitation séparée. Cette analyse va permettre la conception d'un système de diagnostic localisant la diode en défaillance (maintenu ouverte).

Mots clés : Convertisseur AC-DC, défauts de redresseur, diagnostic, Moteur à courant continu

Numéro d'ordre : ISE -113