

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université A. MIRA –Bejaïa

Faculté de Technologie
Département de Génie électrique
Spécialité Electrotechnique Industrielle



Mémoire de Fin d'Etude
En vue de l'obtention du diplôme

MASTER

Thème

**Etude et implémentation virtuelle des stratégies
de commande d'un redresseur Vienna**

Présenté par :

Drissi Houda

Soutenue le: **10/10/2021**

Devant le jury composé de :

Azzib Ahmed

Berboucha Ali

Encadrée par :

Ghedamsi Kaci

Année universitaire : 2020/2021

Remerciements

Avant tout, Je tiens à remercier le tout puissant bon Dieu qui m'a accordé santé, courage et aussi la volonté pour mener ce travail jusqu'à son bout.

Je tiens à remercier mon encadrant Mr Ghedamsi Kaci, pour m'avoir fait l'honneur de m'encadrer et pour avoir partagé avec moi son expérience et ses nombreuses connaissances et qui a donné de son temps et de sa patience afin de mener bien mon travail.

Je tiens à remercier également les membres du jury qui m'ont honoré par leurs présence en qualité qui ont acceptés de consacrer leurs temps pour l'évaluation de notre travail.

Merci a tous

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à la prunelle de mes yeux ma maman chérie, et à mon papa chéri sans eux je ne serai pas la personne que je suis aujourd'hui et, sa grâce à leurs sacrifices et à leurs encouragements. Ils ont toujours été là pour moi, à me pousser à aller de l'avant et à donner le meilleur de moi-même.

A mes deux sœurs Meriem et Sara que j'aime tant.

A mon beau frère Fageal.

A mes meilleurs amis Kenza, Kassia, Samy et Houda.

A mes amis Oussama, Aïmed, Sara, Kamilia et Leïla.

*A mes cousines Kaïssa, Amel, Imen, Amira, Nawel, Sabah, Radia,
Chafiaa et Romi.*

A mes cousins Massi, Meziane, Yamou, Malek et Hocine.

A mes tantes Assia, Nacira, Nedjette, Hassina et Saliha.

A mes oncles Rabah et Fateh.

A ma grand-mère Hacua.

Liste des abréviations

AC/DC	Alternative/Continue
BOOST	Elévateur
CEI	Commission Electrotechnique International
DPC	Control direct de puissance
EMI	Interférence Electromagnétique
GTO	Thyristor pouvant être bloqué par la gâchette (gate turn off)
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IGBT	Transistor bipolaire à grille isolée
IREENA	Institut de recherche en Energie Electrique de Nantes Atlantique
MLI	Modulation Largeur d'Impulsion
MOSFET	Transistor à effet de champ à grille isolée
PFC	Correction du Facteur de puissance
PI	Régulateur Proportionnel Intégral
PNC	Point neutre calé
THD	Taux de Distorsion Harmonique
VFOC	Commande à flux virtuel orienté
VOC	Commande à tension orienté

Liste des Symboles

R	Résistance
L_i	Inductance
C	Capacité
U_{dc}	Tension continue à la sortie du convertisseur
D	Diode
I_l	Inductance de ligne
M	Point Milieu
U_a, U_b, U_c	Tension entre la source et le point milieu
Sign	Signe du courant
e_a, e_b, e_c	Tension simples du réseau
L_a, L_b, L_c	Inductance de lignes
R_{ch}	Résistance de la charge
i_{dc+}, i_{dc-}	Courants traversant les deux condensateurs
$T_{ABC-\alpha\beta}$	Transformation de Clark
U_α, U_β	Tension entre phases dans le plan ($\alpha\beta$)
i_α, i_β	Courant de ligne dans le plan ($\alpha\beta$)
i_a, i_b, i_c	Courant de ligne dans le plan (abc)
S_α, S_β	Etats d'interrupteurs du redresseur de vienne dans le plan($\alpha\beta$)
S_a, S_b, S_c	Etats d'interrupteurs du redresseur de vienne
θ	Angle de rotation
f	Fréquence
ω	Fréquence de rotation
f_m	Fréquence maximale de commutation
b	Largeur d'Hystérésis

$F_i(p)$	Fonction de transfert
ϵ	Erreur
f_{osc}	Fréquence d'oscillation
τ	Constante de temps
f_c	Fréquence de coupure
ω_0	Pulsation propre
Pref	Puissance active de référence
Qref	Puissance réactive de référence
P	Puissance active estimée
Q	Puissance réactive estimée
U_d, U_q	Tension entre phase dans le plan (dq)
I_d, I_q	Courants de ligne dans le plan (dq)
θ_n	Position angulaire (secteur)
n	Numéro de secteur
h_p, h_q	Ecart des régulateurs à Hystérésis

Listes des figures

Figure 01: Allure d'une forme d'onde de tension avec harmoniques différents rangs.

Figure 02: Schéma de principe d'un filtre actif.

Figure 03: Schéma de principe du redresseur à MLI.

Figure 04: Topologie d'un redresseur de tension.

Figure 05: Topologie d'un redresseur à MLI de courant.

Figure 06: Schéma synoptique d'un convertisseur AC/DC triphasé à injection de courant.

Figure 07: Topologie d'un redresseur de vienne.

Figure 08: Structure du Redresseur Vienna arrangé.

Figure 09: Structure d'un bras du redresseur Vienna.

Figure 10: Principe de fonctionnement de l'alternance positive.

Figure 11: Principe de fonctionnement de l'alternance négative.

Figure 12: schémas équivalents d'un redresseur trois niveaux.

Figure 13: vectrices tensions du redresseur Vienna.

Figure 14: Structure du redresseur de Vienne.

Figure 15: Schéma électrique de la source d'alimentation.

Figure 16: Schéma électrique de la charge.

Figure 17: Schéma fonctionnel du régulateur à hystérésis.

Figure 18: Allure de la puissance active et réactive à l'entrée du convertisseur.

Figure 19: Allure du facteur de puissance.

Figure 20: Allure de la tension de sortie.

Figure 21 : Allure de la puissance de la charge.

Figure 22: Allure du courant réel et de référence d'une phase.

Figure 23: le taux de distorsion harmonique (THD) par la commande en courant.

Figure 24: Structure du contrôleur DPC du redresseur de vienne.

Figure 25: Plan α - β divisé en 12 secteurs.

Figure 26: Allure de la tension de sortie.

Figure 27: Allure de la puissance active et réactive à l'entrée du convertisseur.

Figure 28: Le taux de distorsion harmonique (THD) par la commande en Puissance.

Liste des tableaux

Tableau 01: Configuration de base des filtres actifs.

Tableau 02: section basé sur la priorité des tensions de phase.

Tableau 03: Etat des interrupteurs pour la section 2.

Tableau 04: Vecteurs de tension du redresseur Vienna.

Tableau 05: Paramètres de simulation de la commande en courant.

Tableau 06: Bilan de puissance du redresseur Vienna avec une commande en courant.

Tableau 07: table de commutation utilisée dans la première simulation.

Tableau 08: Paramètres de simulation de la commande en Puissance

Tableau 09: Bilan de puissance.

Tableau 10: comparatif entre les deux commandes.

Table des matières

Introduction générale.....1

Chapitre I: Généralités sur les redresseurs AC/DC non

I.1. Introduction.....3

I.2. Phénomène des harmoniques3

 I.2.1. Définition3

 I.2.2. Sources des harmoniques3

 I.2.3. Les effets des harmoniques4

 I.2.4. Méthodes possibles pour éliminer les harmoniques5

I.3. Redresseurs non polluants5

 I.3.1. Filtrage passif.....5

 I.3.2. Filtrage actif5

 I.3.4. Redresseurs à injection de courant8

 I.3.5. Redresseur utilisant un hacheur BOOST9

 I.3.6. Redresseur Vienna10

I.4. Les avantages et les inconvénients du redresseur Vienna.....10

 I.4.1. Avantages.....10

 I.4.2. Inconvénients11

I.5. Domaine d'utilisation du redresseur Vienna11

I.6. Conclusion11

Chapitre II: Etude et modélisation du redresseur Vienna

II.1. Introduction12

II.2. Etude du redresseur Vienna12

 II.2.1. Principe de fonctionnement d'un bras du redresseur Vienna13

 II.2.2. Opération de base du redresseur Vienna15

 II.2.3. Vecteurs tensions du redresseur Vienna.....16

II.3. Modélisation du redresseur Vienna.....22

 II.3.1. Modélisation du redresseur de Vienne22

II.3.2. Modélisation de la source d'alimentation	24
II.3.3. Modélisation de la charge	25
II.3.4. Modèle en biphasé stationnaire (référentiel $\alpha\beta$)	26
II.3.5. Modèle en biphasé rotatif (référentiel dq)	27
II.4. Conclusion.....	28

Chapitre III: Stratégies de commandes du redresseur Vienna

III.1. Introduction	29
III.2.1. Commande en courant	29
III.2.1.1. Principe de fonctionnement de la commande en courant	29
III.2.1.2. Résultats de la simulation	30
III.2.1.3. Interprétation des résultats	34
III.2.2. Etat de l'art du contrôle direct de puissance (DPC)	34
III.2.2.1. Principe de fonctionnement du contrôle direct de puissance.....	35
III.2.2.2. Détermination du secteur	39
III.2.2.3. Table de commutation	39
III.2.2.4. Résultat de simulations	40
III.2.5. Interprétation des résultats.....	42
III.4. Conclusion.....	42
Conclusion générale	43
Références.....	44

Introduction

Introduction générale

La qualité de l'énergie est un concept assez large qui recouvre à la fois la qualité de la fourniture électrique, celle de l'onde de tension et la qualité des courants. L'amélioration de la qualité de l'énergie sur les réseaux de distribution électrique, devient de nos jours, un enjeu important tant pour les gestionnaires des réseaux que pour les exploitants de l'énergie électrique. En exploitation normale, la qualité de l'électricité se réduit principalement à la qualité de l'onde de tension délivrée. Lorsque cette tension est présente, les principaux phénomènes pouvant l'affecter sont : les creux de tension de courtes ou longues durées, la surtension, le déséquilibre ou les harmoniques. En revanche, la qualité des courants reflète la possibilité des charges à fonctionner sans perturber ni réduire l'efficacité du système de puissance.

Habituellement, la qualité de l'onde de tension fait référence à la mesure du degré de conformité d'une source d'alimentation électrique par rapport à un certain nombre de critères ou de normes à caractère quantitatif et absolu. Les principaux paramètres caractérisant une tension triphasée sont la fréquence, l'amplitude, le facteur de puissance, la forme d'onde qui doit être sinusoïdale et la symétrie du système caractérisée par l'égalité des modules des trois tensions et de leurs déphasages relatifs. Tout phénomène physique affectant un ou plusieurs de ces paramètres est considéré comme perturbation.

Alors une course vers l'amélioration du facteur de puissance délivré, ainsi que la diminution du taux d'harmoniques, et en conséquence, plusieurs topologies de redresseurs comme le redresseur MLI, ont vu le jour, et plusieurs techniques de commande ont été développées. Parmi lesquelles nous citerons le 'Contrôle Directe de puissance' 'DPC', et les commandes vectorielles 'Contrôle à Tension Orientée' 'VOC' et 'Contrôle à Flux Virtuel' 'VFOC'. Chacune présente ses avantages et ses inconvénients. Nous pouvons dire que la technique de contrôle direct de puissance est particulièrement la plus efficace car elle garantit un contrôle découplé de puissance et une bonne performance dynamique.

Ces dernières années les chercheurs ont découvert que le nombre d'interrupteur commandables du redresseur MLI fait augmenter la complexité de commande d'une part, et réduit la fiabilité de la structure d'une autre part, ce qui signifie que les inconvénients de ce

dernier augmentent pour cela ils ont optés pour un autre redresseur qui a moins d'interrupteur qui est le redresseur VIENNA.

Ce présent travail a pour but de comparer les performances du redresseur Vienna à celui du redresseur MLI, aussi d'appliquer le redresseur Vienna dans un système de conversion d'énergie. Les différents développements théoriques et les résultats obtenus durant ce travail sont organisés en trois chapitres :

Le premier chapitre, débute avec les notions sur la qualité de l'énergie électrique et les différentes perturbations pouvant l'affecter. La problématique des harmoniques, leur origine, leur caractérisation et leurs conséquences néfastes sur le réseau et sur les récepteurs, ainsi que les solutions possibles afin de les réduire, ce chapitre se termine par les topologies non polluantes et par les avantages et les inconvénients du redresseur vienna.

Dans le deuxième chapitre, nous allons faire une étude approfondie du redresseur vienna tout en passant sur son principe de fonctionnement sur un seul bras et pour en finir on passe à la modélisation du redresseur et cela dans de différents repères.

Quant au troisième chapitre, il sera consacré aux stratégies de commandes, nous allons présenter deux stratégies (Hystérésis et DPC) appliquées au redresseur vienna.

Le mémoire est achevé par une conclusion générale.

Chapitre I

Généralités sur les redresseurs AC/DC non polluants

I.1. Introduction

Dans ce premier chapitre, on se consacre à présenter les caractéristiques générales d'une classe de convertisseurs alternatifs-continu de l'énergie électrique, dits à absorption sinusoïdale de courant (non polluants). L'évolution rapide de la technologie des semi-conducteurs et la multitude des applications industrielles sont à l'origine de la grande diversité de structures apportés à ces convertisseurs. Le choix d'une de ces topologies est guidé par les exigences imposées par l'utilisateur (prix, taux de distorsion de courant admissible, facteur de puissance, rendement énergétique, réglage ou stabilisation de la tension de sortie autour d'une référence fixe ...etc.). Dans ce qui suit, on se limitera uniquement aux structures non polluantes, celles qui, tout en réalisant la fonction de redressement, n'introduisent pas une dégradation notable de la qualité d'onde du réseau.

I.2. Phénomène des harmoniques

Il est considéré comme l'un des phénomènes les plus influents sur la qualité de l'énergie électrique distribuée au consommateur.

I.2.1. Définition

Un harmonique est défini comme étant une composante sinusoïdale d'un signal périodique, ayant une fréquence multiple de l'onde fondamentale. Le domaine des fréquences qui correspond à l'étude des harmoniques est généralement compris entre 100Hz et 2000Hz

I.2.2. Sources des harmoniques

Dans la plupart des cas, les harmoniques de tensions ou de courants présentés sur les réseaux électriques proviennent de l'utilisation des charges non linéaires telles que les convertisseurs statiques.

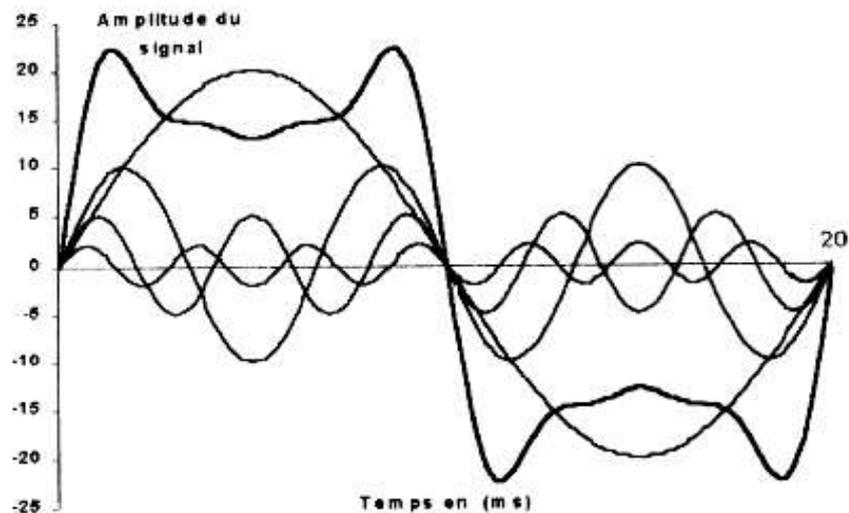


Figure 01: Allure d'une forme d'onde de tension avec harmoniques différents rangs [1].

I.2.3. Les effets des harmoniques

Ce phénomène est généralement observable sur des réseaux internes d'usines alimentant des convertisseurs statiques et en présence de condensateurs installés sans précautions. On distingue deux grands types d'effets.

a) Les effets instantanés

Les effets instantanés concernent les appareils produisant une image électronique (écrans d'ordinateurs, télévisions), les appareils produisant un son censé être de bonne qualité (chaîne HI-FI, téléphonique) ou la précision des appareils de mesure. En présence d'harmoniques, on peut observer une altération des caractéristiques du signal de sortie de l'appareil exposé.

b) Les effets différés

Les effets différés sont souvent liés à un sur-échauffement plus ou moins important. Ces effets sont dus essentiellement à deux phénomènes :

- ✓ L'échauffement des conducteurs ou des composants traversés par les courants harmoniques.
- ✓ Le vieillissement des isolants, il peut être dû soit à une contrainte en tension consécutive à la présence de tensions harmoniques, et donc à une augmentation locale des courants de fuite, soit à l'échauffement exagéré provoqué par l'échauffement des conducteurs.

I.2.4. Méthodes possibles pour éliminer les harmoniques

Il existe aujourd'hui toute une panoplie de matériels (à base de l'électronique de puissance) et de solutions pour l'atténuation des harmoniques pour améliorer la qualité d'énergie, pour cela il est possible d'agir de deux manières :

Soit en améliorant le réseau de transport et celui de distribution ou en filtrant la tension d'alimentation, et soit en rendant le courant de la ligne le plus sinusoïdal possible.

I.3. Redresseurs non polluants

Les redresseurs non polluants peuvent être classés suivant plusieurs catégories, selon le filtrage (ou le mode utilisé pour la mise en forme) des courants absorbés du réseau. On distinguera ainsi les topologies à filtrage série ou parallèle, passif ou actif.

I.3.1. Filtrage passif

Un redresseur est dit à filtrage passif lorsque le circuit destiné à filtrer ou mettre en forme les courants de ligne ne contient aucun interrupteur commandable. Il est constitué principalement d'un bloc de conversion alternatif-continu placé en aval d'un circuit de filtrage. Le bloc de conversion est généralement un pont à diodes, tandis que le bloc de filtrage est souvent formé soit de branches R-L-C connectées en parallèle (cas d'un filtrage parallèle), soit d'un transformateur d'interphase (cas d'un filtrage série) [1].

Les filtres passifs qui sont utilisés pour empêcher les courants harmoniques de se propager dans les réseaux électriques. Ils peuvent aussi être utilisés pour compenser la puissance réactive. Malgré leur large utilisation dans l'industrie, ces dispositifs peuvent présenter beaucoup d'inconvénients [2-3] :

- ✓ Manque de souplesse à s'adapter aux variations du réseau et de la charge.
- ✓ Equipements volumineux.
- ✓ Problèmes de résonance avec l'impédance du réseau.

I.3.2. Filtrage actif

Un redresseur est dit à filtrage actif s'il contient au moins un interrupteur commandable destiné à la mise en forme des courants de ligne. Dans ce cas, le dispositif est généralement nommé circuit de modulation en raison du fait qu'il impose aux courants une forme oscillante à haute fréquence autour d'une consigne désirée. La fréquence de modulation

est déterminée par la fréquence de commutation des interrupteurs, elle-même imposée par le circuit de commande associé. Ce type de dispositif est le plus utilisé actuellement dans les applications de moyenne et faible de puissance, et la présence d'éléments actifs de filtrage permet de garder un faible contenu en harmoniques de courant dans une large plage de variation du point opération. Différentes topologies appartenant à cette classe seront décrites dans le tableau01 [1] :

Tableau 01: Configuration de base des filtres actifs

Type de filtrage	Avantages	Inconvénients
Actif série	<ul style="list-style-type: none"> • Protéger les installations sensibles aux perturbations provenant du réseau. • Régulation des tensions alimentant la charge non linéaire. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ne permet pas de corriger les courants de la charge. • La difficulté de contrôler l'énergie réactive.
Actif parallèle	<ul style="list-style-type: none"> • Rééquilibrage des courants de la charge non linéaire. • Elimination des courants harmoniques. 	<ul style="list-style-type: none"> • Risque d'écoulement des courants de compensation dans les filtres passifs raccordés au même réseau. • Coût et pertes élevés.
Actif série et passif parallèle	<ul style="list-style-type: none"> • Aucun risque de circulation d'harmoniques dans le filtre passif. 	<ul style="list-style-type: none"> • Difficulté de protéger le filtre actif contre les surintensités.

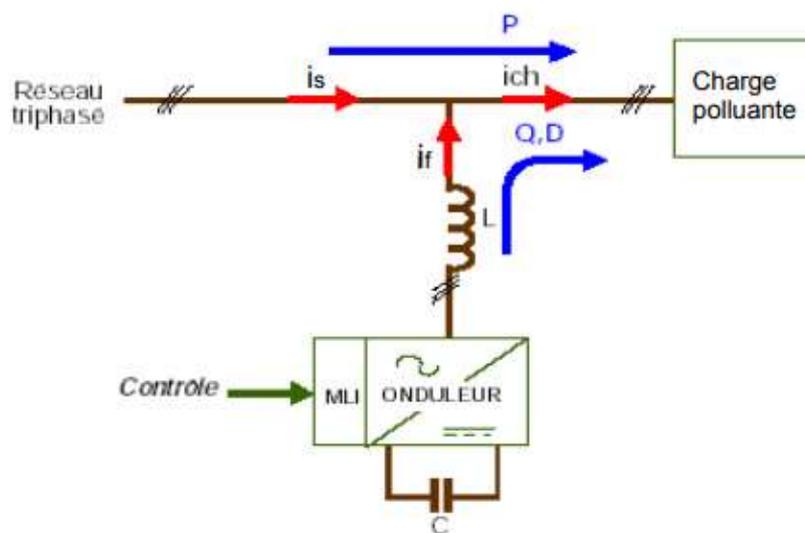


Figure 02 : Schéma de principe d'un filtre actif [1].

Cette structure fait appel à un onduleur à MLI fonctionnant en redresseur, désignés sous le nom redresseur à modulation de largeur d'impulsion (MLI). Elle fait appel à des composants à commutations forcée tels que les IGBT ou les thyristors GTO. Dans ce cas le dispositif de filtrage est généralement nommé circuit de modulation en raison du fait qu'il impose aux courants une forme oscillante à haute fréquence autour d'une consigne désirée.

Cette technique permet de réduire la perturbation harmonique et de contrôler les puissances actives et réactives.

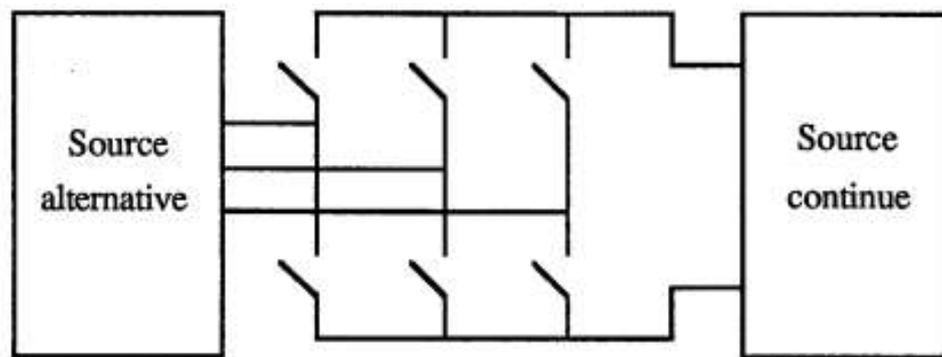


Figure 03: Schéma de principe du redresseur à MLI[4].

a) Redresseur à MLI de tension

La topologie d'un redresseur MLI triphasé de tension est représentée sur la figure 04. Chaque interrupteur est constitué d'un composant semi-conducteur de puissance bicommandable et d'une diode en antiparallèle. Cet interrupteur est unidirectionnel en tension et bidirectionnel en courant. Ainsi, ce convertisseur, de part sa structure, est réversible en courant. Il peut donc contrôler de façon instantanée la forme d'onde des courants prélevés sur le réseau. Il alimente alors une charge (active ou passive) en continu à partir d'un réseau alternatif, le courant absorbé étant sinusoïdal et éventuellement en phase avec la tension du réseau correspondante. Ce redresseur MLI permet d'atteindre un facteur de puissance très proche de l'unité et de régler, via la commande, la direction du flux de l'énergie réactive : absorbée ou fournie [4].

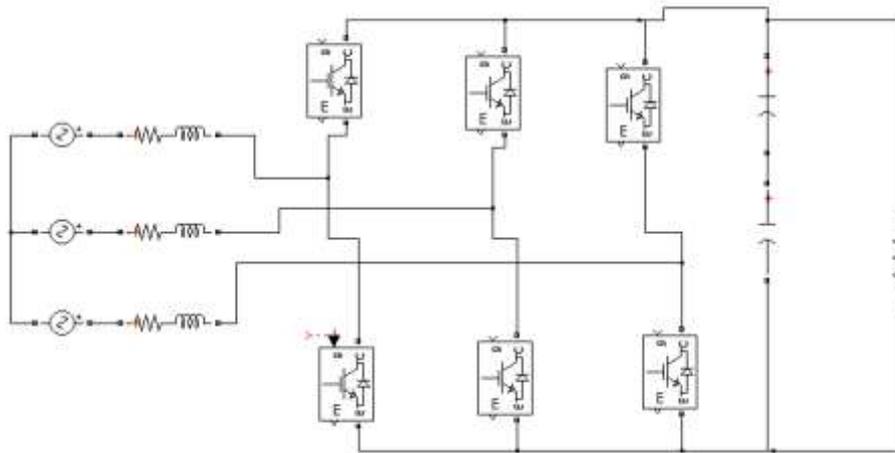


Figure 04: Topologie d'un redresseur de tension.

b) Redresseur à MLI de courant

La figure 05 illustre la topologie du redresseur MLI de courant. Il assure la conversion d'énergie entre une source de tension alternative et un récepteur de courant continu. Les interrupteurs sont unidirectionnels en courant mais bidirectionnels en tension. L'utilisation des techniques MLI conduit à un courant côté alternatif ayant une pollution harmonique contrôlée. Cette structure est souvent dotée d'un filtre de second ordre LC du côté alternatif [4].

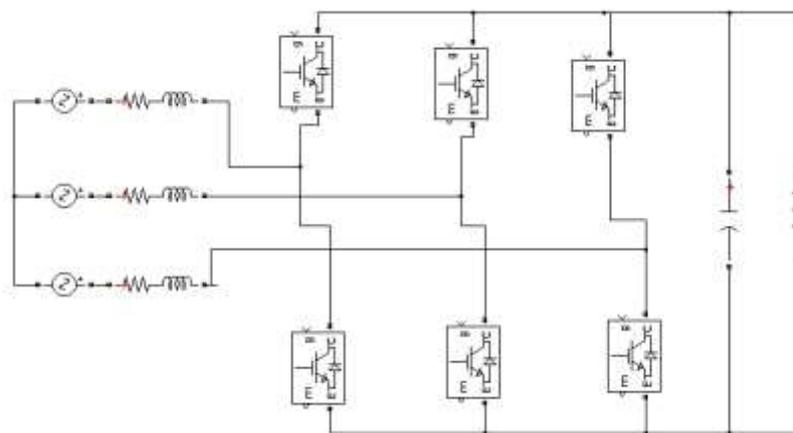


Figure 05 : Topologie d'un redresseur à MLI de courant.

I.3.4. Redresseurs à injection de courant

Les structures à injection de courant sont apparues au début des années 1990, suite à des tentatives d'améliorer les performances des convertisseurs AC/DC déjà présents. La

structure à injection de courant dans le réseau est constituée d'un redresseur triphasé à diodes et de deux circuits auxiliaires, de modulation et de distribution. Le schéma synoptique de cette structure est représenté sur la figure 06. Un circuit de modulation crée, par le procédé de mise en forme des courants à la sortie du pont à diodes, un courant qui est injecté au réseau d'alimentation à l'aide d'un circuit de distribution. L'injection d'un tel courant permet de compenser les paliers à zéro des courants de ligne, inhérents au fonctionnement normal du pont à diodes. Plusieurs variantes de ce type de convertisseur existent actuellement ; elles se distinguent par la nature des circuits de modulation et de distribution qui peuvent être soit passifs, soit actifs [4].

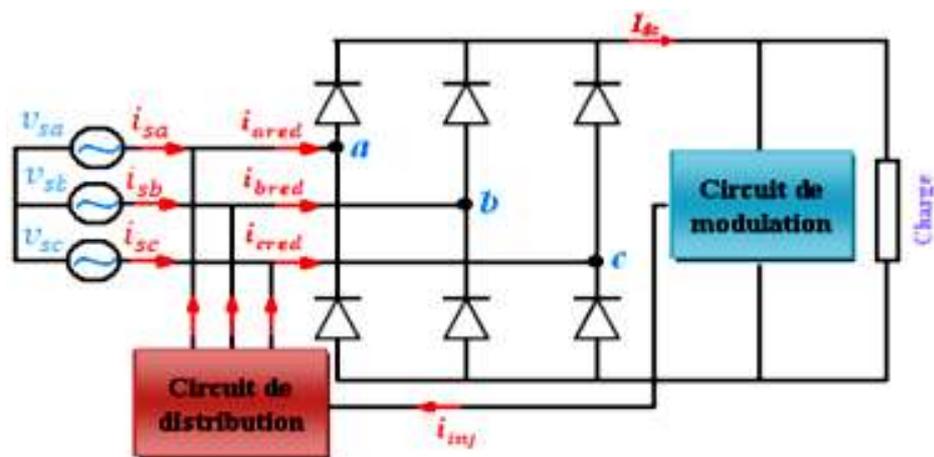


Figure 6: Schéma synoptique d'un convertisseur AC/DC triphasé à injection de courant [4].

I.3.5. Redresseur utilisant un hacheur BOOST

Cette structure utilise un hacheur élévateur de type BOOST en cascade avec un redresseur monophasé à diodes, reconnue par l'acronyme PFC (Power Factor Correction). Il s'agit d'un redresseur en pont à diodes connecté au réseau et doté d'un étage de correction placé entre la sortie du pont et la charge. Cet étage de correction du facteur de puissance basé sur une structure d'hacheur élévateur comprend une inductance, un interrupteur de puissance bicommandable et une diode de puissance. Le principe de prélèvement sinusoïdal consiste à forcer le courant circulant dans l'inductance à suivre une référence sinusoïdale redressée, en contrôlant la fermeture et l'ouverture de l'interrupteur commandé de puissance. L'amplitude de cette référence est fournie par la boucle d'asservissement de la tension du bus continu, tandis que la forme sinusoïdale est obtenue par l'intermédiaire d'une boucle à verrouillage de phase (phaselocked-loop PLL) synchronisée avec le réseau d'alimentation [4].

I.3.6. Redresseur Vienna

Basé sur la combinaison d'un pont de diodes triphasé et d'un hacheur élévateur, le redresseur triphasé trois niveaux à trois interrupteurs a été développé à l'université technique de Vienne en 1992, par professeur Johann W. Kolar et son équipe de la section d'électronique de puissance, d'où l'appellation "redresseur de Vienne". Le redresseur est généralement présenté dans la littérature dans sa structure de la figure 07 [5].

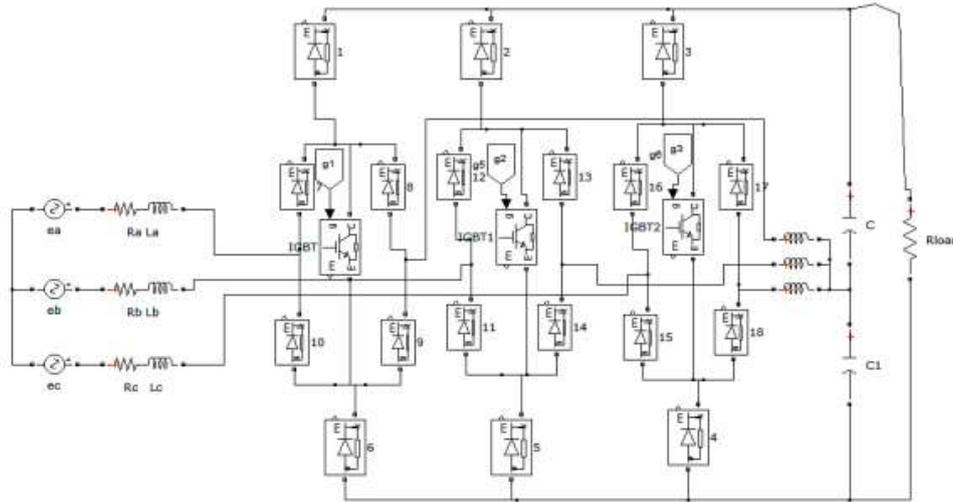


Figure 07: Topologie d'un redresseur de vienna.

I.4. Les avantages et les inconvénients du redresseur Vienna

I.4.1. Avantages

- ✓ La réduction des tailles des éléments réactifs (inductances et capacités), d'où une meilleure densité de puissance et/ou un meilleur rendement massique du convertisseur.
- ✓ La présence de trois niveaux de tension à l'entrée du convertisseur $\left(\frac{U_{Dc}}{2}; 0; -\frac{U_{Dc}}{2}\right)$, en comparaison avec les convertisseurs deux niveaux, ceci réduit significativement le niveau d'harmoniques de courants, et par suite la taille des filtres et les interférences électromagnétiques (EMI).
- ✓ L'augmentation du rendement énergétique du circuit comme conséquence directe de la réduction des pertes.
- ✓ La possibilité de mise en forme sinusoïdale du courant [6], ce qui rend ce circuit très souhaitable pour la correction du facteur de puissance.

I.4.2. Inconvénients

- ✓ Le flux non inversible de puissance.
- ✓ Une modulation en tension limitée à un rang bien précis.
- ✓ Des efforts de couts d'assemblage relativement élevés.

I.5. Domaine d'utilisation du redresseur Vienna

Le redresseur de Vienne on peut le trouver dans diverses applications tel que :

- Les applications aéronautiques [7], ce convertisseur est utilisé pour son faible volume, un rendement massique élevé, une haute fiabilité et une capacité à compenser les harmoniques de courants.
- Les systèmes d'entraînement de faible dynamique (fontaines) et ceux d'électronique médicale, les unités de soudage, les équipements de mesure et de test [8].
- Les chargeurs de batterie [9].
- Les moteurs intégrés [10].
- Les modules de télécommunications [11].

I.6. Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre les divers les problèmes de pollution du réseau qui influent négativement sur la qualité de l'énergie du réseau électrique, cela après avoir recensé les origines de ces problèmes, puis nous avons cité quelques solutions afin d'améliorer la qualité de l'énergie du réseau électrique tout en respectant les limites imposées par les normes standards.

Chapitre II

Etude et modélisation du redresseur Vienna

II.1.Introduction

Les redresseurs triphasés ont constitué un tournant décisif dans le secteur de la conversion AC/DC. Ils constituent une solution efficace quant à l’amélioration de la qualité de l’onde et la compensation des harmoniques de courant, et leurs évolution structurelles n’ont cessées de croître durant ces dernières années, c’est pour cela qu’il existe actuellement sur le marché une large gamme de topologie de plus en plus sophistiquées.

Cependant cette complexification des architectures a également donné lieux à des difficultés additionnelles sur les plans de la conception, la modélisation et commande.

Dans ce chapitre, nous proposons la modélisation du redresseur de Vienne, tout en étudiant ses différentes topologies pour qu’on puisse l’évaluer objectivement.

II.2. Etude du redresseur Vienna

Le redresseur de vienne a vu le jour par la combinaison d’un pont de diodes triphasé et d’un hacheur élévateur, le redresseur triphasé à trois niveaux interrupteurs figure 08 , a été développé à l’université technique de vienne en 1992, par le professeur Johann W. Kolar et son équipe de la section d’électronique de puissance d’où l’origine de son appellation « redresseur Vienna » [5].

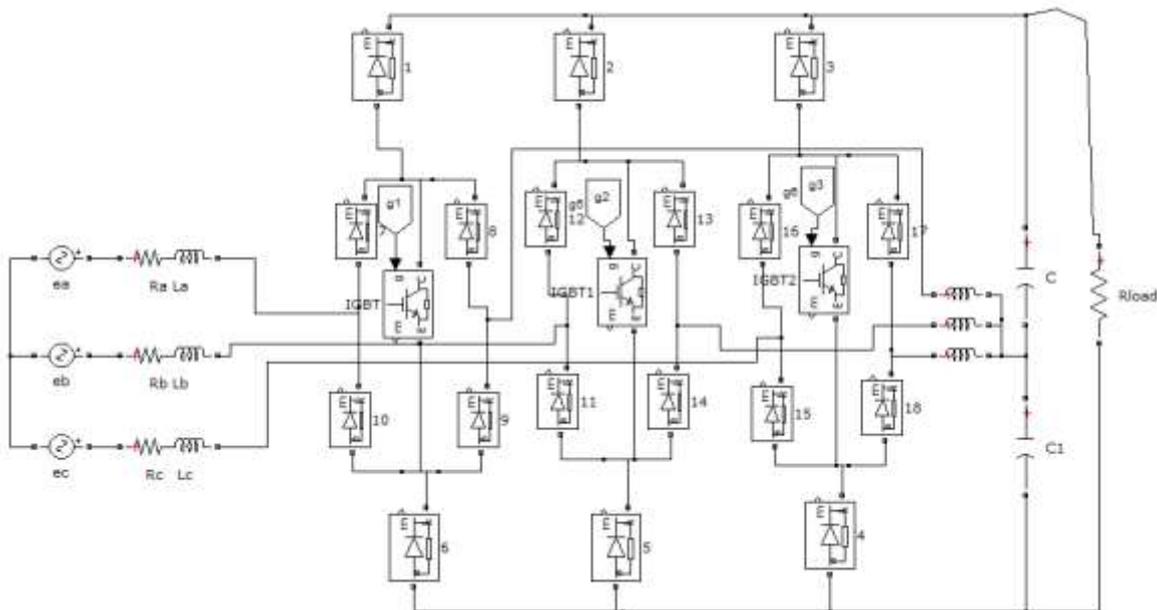


Figure 08: Structure du Redresseur Vienna arrangé.

La structure présentée dans la figure 08 est le plus précisément l'arrangement des interrupteurs bidirectionnels permet de diminuer les pertes par conduction et par conséquent améliorer le rendement du convertisseur. Cependant, l'interrupteurs actifs dans chaque bras du pont de diodes triphasés comme montrer dans la figure, elle permet d'éviter l'apparition des harmoniques basses fréquences de courants qu'on rencontre assez souvent dans les redresseurs unidirectionnel.

II.2.1. Principe de fonctionnement d'un bras du redresseur Vienna

La figure 09 présente un bras du redresseur Vienna :

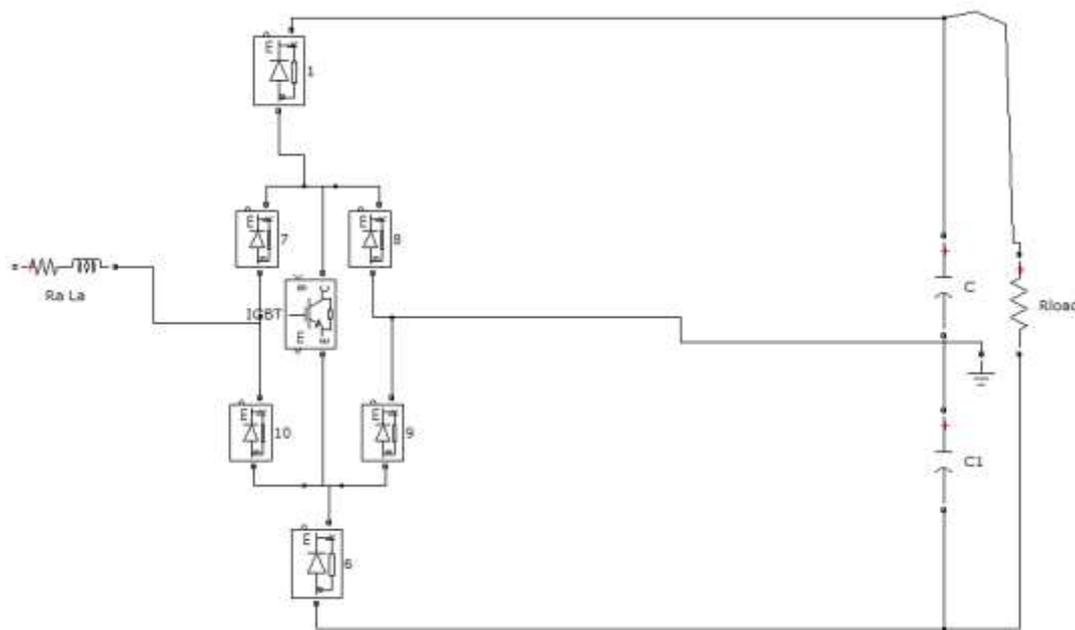


Figure 09: Structure d'un bras du redresseur Vienna.

a) Alternance positive

Pour ($S_i=1$), cela veut dire que l'interrupteur est fermé figure a, alors les diodes D_1 et D_4 conduisent et le courant parcourant l'inductance L_i passant en suite par la diode D_1 , le transistor, la diode D_4 . Durant cette phase l'inductance emmagasine de l'énergie.

Pour ($S_i=0$), cela veut dire que l'interrupteur est ouvert figure b, les diodes D_1 et D_5 conduisent et le courant traversant l'inductance passera à travers la diode D_1 et D_5 et le condensateur C_1 . Durant cette phase, l'énergie stockée auparavant dans l'inductance sera transférée au condensateur C_1 .

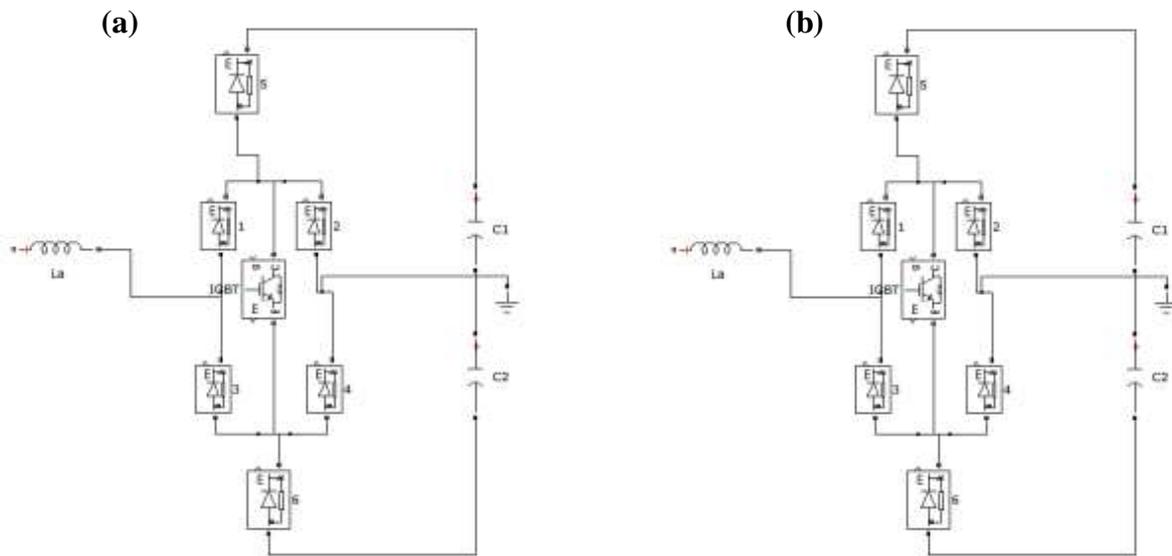


Figure 10: Principe de fonctionnement de l’alternance positive.

b) Alternance négative

Lorsque l’interrupteur est fermé figure, les diodes D_2 et D_3 conduisent et le courant passe à travers l’inductance, la diode D_2 , l’interrupteur et la diode D_3 . Durant cette phase de conduction de l’interrupteur, l’inductance emmagasine de l’énergie.

Lorsque l’interrupteur est ouvert figure, les diodes D_3 et D_6 conduisent et le courant I_{L2} passe à travers l’inductance L_2 , la diode D_3 , LA diode D_6 et le condensateur C_2 . L’énergie stockée précédemment dans l’inductance L_2 est transférée au condensateur C_2 .

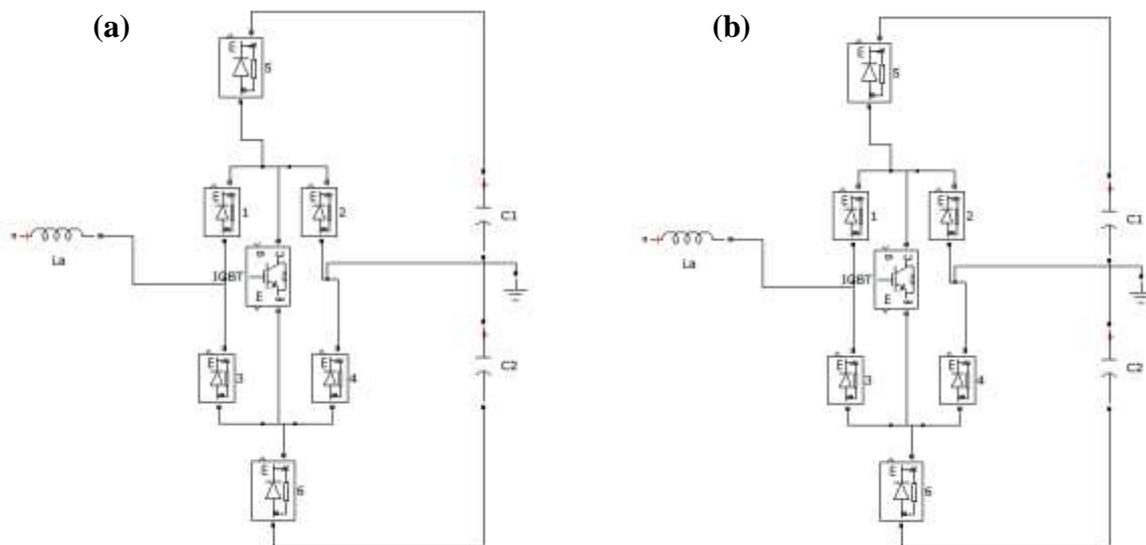


Figure 11: Principe de fonctionnement de l’alternance négative.

II.2.2. Opération de base du redresseur Vienna

La topologie du redresseur de vienne comme montrée auparavant dans la figure, les opérations de base du convertisseur peuvent être analysées. La tension à l'entrée du redresseur qui est connecté à une inductance L peut basculer à 0 volt (point milieu M) en fermant le transistor ou bien la tension peut prendre de tensions différentes ($+\frac{U_{dc}}{2}$ pour un courant positif et $-\frac{U_{dc}}{2}$ pour un courant négatif) à travers les diodes du pont de diodes triphasé.

En se basant sur la polarité des tensions d'entrées, on pourra diviser sur période en six sections chacune 60°, le passage d'une section a une autre nous montre que deux tensions des trois ont le même signe comme le montre le tableau :

Tableau 02: section basé sur la priorité des tensions de phase :

Section 1 [0° 60°]	Section 2]60° 120°]	Section 3]120° 180°]	Section 4]180° 240°]	Section 5]240° 300°]	Section 6]300° 360°]
$U_a > 0$	$U_a > 0$	$U_a > 0$	$U_a < 0$	$U_a < 0$	$U_a < 0$
$U_b < 0$	$U_b < 0$	$U_b > 0$	$U_b > 0$	$U_b > 0$	$U_b < 0$
$U_c > 0$	$U_c < 0$	$U_c < 0$	$U_c < 0$	$U_c > 0$	$U_c > 0$

On notera que la commutation des interrupteurs par S_i et à l'aide du schéma suivant qui est l'équivalent d'un redresseur trois niveau on tirera les états des interrupteurs.

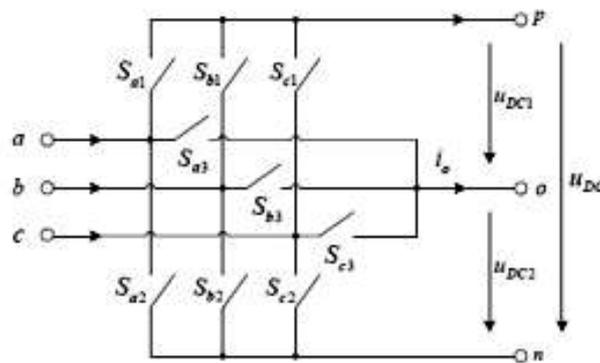


Figure 12 : Schéma équivalent d'un redresseur trois niveaux.

$$S_i = \begin{cases} +1 & SW_i \text{ OFF } S_{i1} = 0, S_{i2} = 0, S_{i3} = 0 \\ 0 & SW_i \text{ ON, } S_{i1} = 1, S_{i2} = 0, S_{i3} = 0 \\ -1 & SW_i \text{ OFF } S_{i1} = 0, S_{i2} = 1, S_{i3} = 0 \end{cases}$$

$SW_i = 1$ interrupteur fermé

$SW_i = 0$ interrupteur ouvert

D'une façon générale, on peut écrire

$$S_i = (1 - SW_i) \text{sign}(i_i) \quad (2.1)$$

Le tableau suivant montre la relation entre les S_i et SW_i ainsi le courant présent au milieu

Tableau 03: Etat des interrupteurs pour la section 2 :

SW_a	SW_b	SW_c	S_a	S_b	S_c	I_M
0	0	0	1	-1	-1	0
0	0	1	1	-1	0	i_c
0	1	0	1	0	-1	i_b
0	1	1	1	0	0	$-i_a$
1	0	0	0	-1	-1	i_a
1	0	1	0	-1	0	$-i_b$
1	1	0	0	0	-1	$-i_c$
1	1	1	0	0	0	0

II.2.3. Vecteurs tensions du redresseur Vienna

La topologie du redresseur Vienna qui est alimentée en triphasé et chaque bras ayant un interrupteur commandable ce qui nous fait 27 états possible pour les IGBTs, sachant qu'une des spécificités du redresseur étudié et que les états (+1, +1, +1) et (-1, -1, -1) ne sont pas possible, alors au final nous aurons 25 états possible.

Du coté continu, nous aurons deux tensions qui sont de même valeurs ($U_{dc1} = U_{dc2} = \frac{U_{dc}}{2}$).

Ce qui nous donne la relation entre les tensions entre l'entrée du convertisseur et le point milieu :

$$\begin{bmatrix} U_{aM} \\ U_{bM} \\ U_{cM} \end{bmatrix} = \frac{U_{dc}}{2} \begin{bmatrix} S_a \\ S_b \\ S_c \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

Et les relations entre les tensions d'entrée du redresseur ainsi que le point neutre sont :

$$\begin{cases} U_{aN} = U_{a0} - U_{N0} \\ U_{bN} = U_{b0} - U_{N0} \\ U_{cN} = U_{c0} - U_{N0} \end{cases} \quad (2.3)$$

Sachant que la somme des trois tensions est nul (réseau triphasé équilibré)

$$\sum_{i=0}^c U_{iN} = 0 \quad (2.4)$$

Au final, le vecteur tension du redresseur Vienna peut être calculé par

$$\bar{U} = \frac{2}{3}(U_{an} + \alpha U_{bn} + \alpha^2 U_{cn}) = \frac{2}{3}(U_{a0} + \alpha U_{b0} + \alpha^2 U_{c0}) = \frac{1}{3} U_{dc} (S_a + \alpha S_b + \alpha^2 S_c) \quad (2.5)$$

Tel que :

$$\alpha = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} \quad (2.6)$$

$$\alpha^2 = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} \quad (2.7)$$

En se basant sur l'équation (2.1) et (2.7) ainsi les 25 états possibles des interrupteurs du redresseur Vienna, 19 vecteurs de tensions seront obtenus dont 1 vecteur nul. Les 18 restants sont répartis en trois ensembles, 6 vecteurs de valeur $\frac{2}{3} U_{dc}$, 6 vecteurs de valeur $\frac{1}{\sqrt{3}} U_{dc}$ et les 6 derniers de valeur $\frac{1}{3} U_{dc}$ comme montré dans le tableau suivant :

Tableau 04: Vecteurs de tension du redresseur Vienna :

Sens du courant			Switch On/Off			Tension de phase à l'entrée du redresseur			Vecteur de tension	
i_a	i_b	i_c	SW_a	SW_b	SW_c	$[S_a S_b S_c]$	U_{aN}	U_{bN}	U_{cN}	
+	-	-	0	0	0	[1,-1,-1]	$\frac{2}{3}U_{dc}$	$-\frac{1}{3}U_{dc}$	$-\frac{1}{3}U_{dc}$	$\frac{2}{3}U_{dc}$
+	-	-	0	0	1	[1,-1,0]	$\frac{1}{2}U_{dc}$	$-\frac{1}{2}U_{dc}$	0	$\frac{1}{\sqrt{3}}U_{dc}$
+	-	-	0	1	0	[1,0,-1]	$\frac{1}{2}U_{dc}$	0	$-\frac{1}{2}U_{dc}$	$\frac{1}{\sqrt{3}}U_{dc}$
+	-	-	0	1	1	[1,0,0]	$\frac{1}{3}U_{dc}$	$-\frac{1}{6}U_{dc}$	$-\frac{1}{6}U_{dc}$	$\frac{1}{3}U_{dc}$
+	-	-	1	0	0	[0,-1,-1]	$\frac{1}{3}U_{dc}$	$-\frac{1}{6}U_{dc}$	$-\frac{1}{6}U_{dc}$	$\frac{1}{3}U_{dc}$
+	-	-	1	1	1	[0,0,0]	$\frac{1}{6}U_{dc}$	$-\frac{1}{3}U_{dc}$	$\frac{1}{6}U_{dc}$	$-\frac{1}{3}U_{dc}$
+	-	-	1	1	0	[0,0,-1]	$\frac{1}{6}U_{dc}$	$\frac{1}{6}U_{dc}$	$-\frac{1}{3}U_{dc}$	$\frac{1}{3}U_{dc}$
+	-	-	1	1	1	[0,0,0]	0	0	0	0
+	+	-	0	0	0	[1,1,-1]	$\frac{1}{3}U_{dc}$	$-\frac{1}{3}U_{dc}$	$-\frac{2}{3}U_{dc}$	$\frac{2}{3}U_{dc}$
+	+	-	0	0	1	[1,1,0]	$\frac{1}{6}U_{dc}$	$\frac{1}{6}U_{dc}$	$-\frac{1}{3}U_{dc}$	$\frac{1}{3}U_{dc}$
+	+	-	0	1	0	[1,0,-1]	$\frac{1}{2}U_{dc}$	0	$-\frac{1}{2}U_{dc}$	$\frac{1}{\sqrt{3}}U_{dc}$
+	+	-	0	1	1	[1,0,0]	$\frac{1}{3}U_{dc}$	$-\frac{1}{6}U_{dc}$	$\frac{1}{6}U_{dc}$	$\frac{1}{3}U_{dc}$
+	+	-	1	0	0	[0,1,-1]	0	$\frac{1}{2}U_{dc}$	$-\frac{1}{2}U_{dc}$	$\frac{1}{\sqrt{3}}U_{dc}$

+	+	-	1	0	1	[0,1,0]	$-\frac{1}{6}U_{dc}$	$\frac{1}{3}U_{dc}$	$-\frac{1}{6}U_{dc}$	$\frac{1}{3}U_{dc}$
+	+	-	1	1	0	[0,0,-1]	$\frac{1}{6}U_{dc}$	$\frac{1}{6}U_{dc}$	$-\frac{1}{3}U_{dc}$	$\frac{1}{3}U_{dc}$
+	+	-	1	1	1	[0,0,0]	0	0	0	0
-	+	-	0	0	0	[-1,1,-1]	$-\frac{1}{3}U_{dc}$	$-\frac{2}{3}U_{dc}$	$-\frac{1}{3}U_{dc}$	$\frac{2}{3}U_{dc}$
-	+	-	0	0	1	[-1,1,0]	$-\frac{1}{2}U_{dc}$	$\frac{1}{2}U_{dc}$	0	$\frac{1}{\sqrt{3}}U_{dc}$
-	+	-	0	1	0	[-1,0,-1]	$-\frac{1}{6}U_{dc}$	$\frac{1}{3}U_{dc}$	$-\frac{1}{6}U_{dc}$	$\frac{1}{3}U_{dc}$
-	+	-	0	1	1	[-1,0,0]	$-\frac{1}{3}U_{dc}$	$\frac{1}{6}U_{dc}$	$\frac{1}{6}U_{dc}$	$\frac{1}{3}U_{dc}$
-	+	-	1	0	0	[0,1,-1]	0	$\frac{1}{2}U_{dc}$	$-\frac{1}{2}U_{dc}$	$\frac{1}{\sqrt{3}}U_{dc}$
-	+	-	1	0	1	[0,1,0]	$-\frac{1}{6}U_{dc}$	$\frac{1}{3}U_{dc}$	$-\frac{1}{6}U_{dc}$	$\frac{1}{3}U_{dc}$
-	+	-	1	1	0	[0,0,-1]	$\frac{1}{6}U_{dc}$	$\frac{1}{6}U_{dc}$	$-\frac{1}{3}U_{dc}$	$\frac{1}{3}U_{dc}$
-	+	+	1	1	1	[0,0,0]	0	0	0	0
-	+	+	0	0	0	[-1,1,1]	$-\frac{2}{3}U_{dc}$	$\frac{1}{3}U_{dc}$	$\frac{1}{3}U_{dc}$	$\frac{2}{3}U_{dc}$
-	+	+	0	0	1	[-1,1,0]	$-\frac{1}{2}U_{dc}$	$-\frac{1}{2}U_{dc}$	0	$\frac{1}{\sqrt{3}}U_{dc}$
-	+	+	0	1	0	[-1,0,1]	$-\frac{1}{2}U_{dc}$	0	$\frac{1}{2}U_{dc}$	$\frac{1}{\sqrt{3}}U_{dc}$
-	+	+	0	1	1	[-1,0,0]	$-\frac{1}{3}U_{dc}$	$\frac{1}{6}U_{dc}$	$\frac{1}{6}U_{dc}$	$\frac{1}{3}U_{dc}$
-	+	+	1	0	0	[0,1,1]	$-\frac{1}{3}U_{dc}$	$\frac{1}{6}U_{dc}$	$\frac{1}{6}U_{dc}$	$\frac{1}{3}U_{dc}$

-	+	+	1	0	1	[0,1,0]	$-\frac{1}{6}U_{dc}$	$\frac{1}{3}U_{dc}$	$-\frac{1}{6}U_{dc}$	$\frac{1}{3}U_{dc}$
-	+	+	1	1	0	[0,0,1]	$-\frac{1}{6}U_{dc}$	$-\frac{1}{6}U_{dc}$	$\frac{1}{3}U_{dc}$	$\frac{1}{3}U_{dc}$
-	+	+	1	1	1	[0,0,0]	0	0	0	0
-	-	+	0	0	0	[-1,-1,1]	$\frac{1}{3}U_{dc}$	$-\frac{2}{3}U_{dc}$	$\frac{1}{3}U_{dc}$	$\frac{2}{3}U_{dc}$
-	-	+	0	0	1	[-1,-1,0]	$-\frac{1}{6}U_{dc}$	$-\frac{1}{6}U_{dc}$	$\frac{1}{3}U_{dc}$	$\frac{1}{3}U_{dc}$
-	-	+	0	1	0	[-1,0,1]	$-\frac{1}{2}U_{dc}$	0	$\frac{1}{2}U_{dc}$	$\frac{1}{\sqrt{3}}U_{dc}$
-	-	+	0	1	1	[-1,0,0]	$-\frac{1}{3}U_{dc}$	$\frac{1}{6}U_{dc}$	$\frac{1}{6}U_{dc}$	$\frac{1}{3}U_{dc}$
-	-	+	1	0	0	[0,-1,1]	0	$-\frac{1}{2}U_{dc}$	$\frac{1}{2}U_{dc}$	$\frac{1}{\sqrt{3}}U_{dc}$
-	-	+	1	0	1	[0,-1,0]	$\frac{1}{6}U_{dc}$	$-\frac{1}{3}U_{dc}$	$\frac{1}{6}U_{dc}$	$\frac{1}{3}U_{dc}$
-	-	+	1	1	0	[0,0,1]	$-\frac{1}{6}U_{dc}$	$-\frac{1}{6}U_{dc}$	$\frac{1}{3}U_{dc}$	$\frac{1}{3}U_{dc}$
-	-	+	1	1	1	[0,0,0]	0	0	0	0
+	-	+	0	0	0	[1,-1,1]	$\frac{1}{3}U_{dc}$	$-\frac{2}{3}U_{dc}$	$\frac{1}{3}U_{dc}$	$\frac{2}{3}U_{dc}$
+	-	+	0	0	1	[1,-1,0]	$\frac{1}{2}U_{dc}$	$-\frac{1}{2}U_{dc}$	0	$\frac{1}{\sqrt{3}}U_{dc}$
+	-	+	0	1	0	[1,0,1]	$\frac{1}{6}U_{dc}$	$-\frac{1}{3}U_{dc}$	$\frac{1}{6}U_{dc}$	$\frac{1}{3}U_{dc}$
+	-	+	0	1	1	[1,0,0]	$\frac{1}{3}U_{dc}$	$-\frac{1}{6}U_{dc}$	$-\frac{1}{6}U_{dc}$	$\frac{1}{3}U_{dc}$
+	-	+	1	0	0	[0,-1,1]	0	$-\frac{1}{2}U_{dc}$	$\frac{1}{2}U_{dc}$	$\frac{1}{\sqrt{3}}U_{dc}$

+	-	+	1	0	1	[0,-1,0]	$\frac{1}{6}U_{dc}$	$-\frac{1}{3}U_{dc}$	$\frac{1}{6}U_{dc}$	$\frac{1}{3}U_{dc}$
+	-	+	1	1	0	[0,0,1]	$-\frac{1}{6}U_{dc}$	$-\frac{1}{6}U_{dc}$	$\frac{1}{3}U_{dc}$	$\frac{1}{3}U_{dc}$
+	-	+	1	1	1	[0,0,0]	0	0	0	0

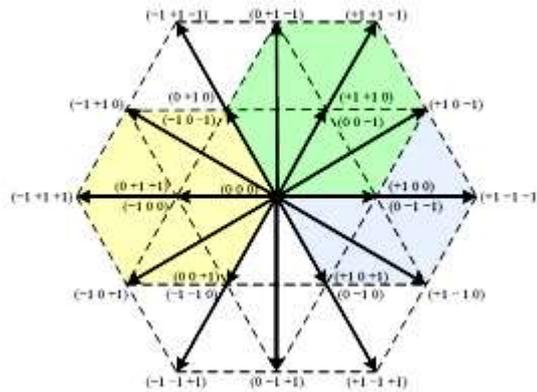


Figure 13: vectrices tensions du redresseur Vienna [12].

II.3. Modélisation du redresseur Vienna

La modélisation est primordiale afin de comprendre le fonctionnement des différents éléments du système qui sont décrits par équations mathématiques.

II.3.1. Modélisation du redresseur de Vienne

La modélisation de ce redresseur se fait en suivant la commutation des interrupteurs, le schéma du redresseur est comme illustré sur la figure 14:

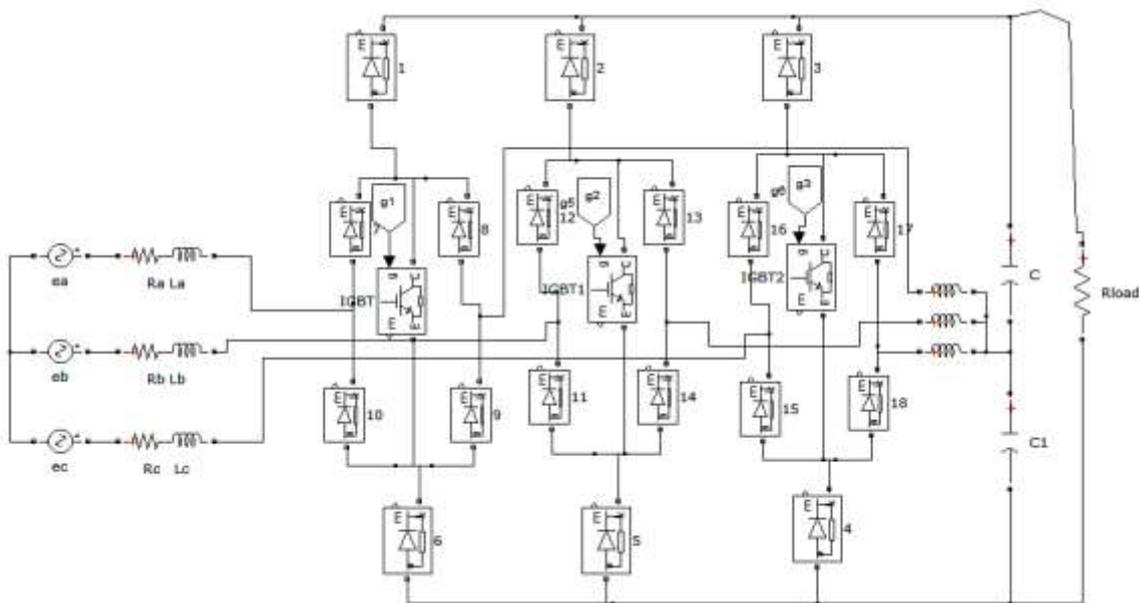


Figure 14: Structure du redresseur de Vienne.

Pour ce faire, on aura besoin de définir les séquences de conduction ainsi que le fonctionnement de ce redresseur. A partir la figure

$$S_i = 0 \text{ et } i > 0 \quad U_{si} = \frac{U_{dc}}{2}$$

$$S_i = 1 \quad U_{si} = 0$$

$$S_i = 0 \text{ et } i < 0 \quad U_{si} = -\frac{U_{dc}}{2}$$

$S_i = 0$ veut que le transistor est bloqué

$S_i = 1$ veut dire que le transistor conduit

La tension aux bornes du redresseur peut prendre trois valeurs différentes $(\frac{U_{dc}}{2}, 0, -\frac{U_{dc}}{2})$.

La tension à la sortie du redresseur dépend alors du signe du courant ainsi que l'état des interrupteurs commandés.

$$U_{siM} = (1-S_i)[\text{sign}(i_i) U_{dc+} - (1-\text{sign}(i_i) U_{dc-}] \quad (2.8)$$

Tel que « M » est le point milieu et $i \in \{a, b, c\}$

L'interrupteur commandé est bidirectionnel en courant ($i > 0, i < 0$). Pour des raisons simplificatrices, on remplacera le courant par $\text{sign}(i)$ tel que :

$\text{Sign}(i) = 1$ si le courant est positif

$\text{Sign}(i) = 0$ si le courant est négatif

Pour $U_{dc+} \approx U_{dc-}$ ce qui est vrai vu que les capacités des deux condensateurs à la sortie du redresseur sont identiques alors on peut écrire $U_{dc+} = U_{dc-} = \frac{U_{dc}}{2}$ et l'équation précédente devient

$$U_{siM} = (1-S_i) (2\text{sign}(i_i)-1) \frac{U_{dc}}{2} \quad (2.9)$$

On voit que l'équation de la tension est entre la source et le point milieu alors qu'on doit la ramener au neutre

$$U_{sin} = U_{siM} - U_{nM} \quad (2.10)$$

La source triphasée est considérées équilibrée

$$U_{nM} = \frac{1}{3} \frac{U_{dc}}{2} [(1-S_a)(2\text{sign}(i_a)-1) + (1-S_b)(2\text{sign}(i_b)-1) + (1-S_c)(2\text{sign}(i_c)-1)] \quad (2.11)$$

$$\begin{cases} U_{san} = \frac{U_{dc}}{6} [2(1-S_a)(2\text{sign}(i_a)-1) - (1-S_b)(2\text{sign}(i_b)-1) + (1-S_c)(2\text{sign}(i_c)-1)] \\ U_{sbn} = \frac{U_{dc}}{6} [2(1-S_b)(2\text{sign}(i_b)-1) - (1-S_a)(2\text{sign}(i_a)-1) + (1-S_c)(2\text{sign}(i_c)-1)] \\ U_{scn} = \frac{U_{dc}}{6} [2(1-S_c)(2\text{sign}(i_c)-1) - (1-S_a)(2\text{sign}(i_a)-1) + (1-S_b)(2\text{sign}(i_b)-1)] \end{cases} \quad (2.12)$$

$$\begin{bmatrix} U_{san} \\ U_{sbn} \\ U_{scn} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_{sam} \\ U_{sbm} \\ U_{scm} \end{bmatrix} \quad (2.13)$$

II.3.2. Modélisation de la source d'alimentation

Le schéma qui suit est une représentation équivalente du système à l'entrée du redresseur :

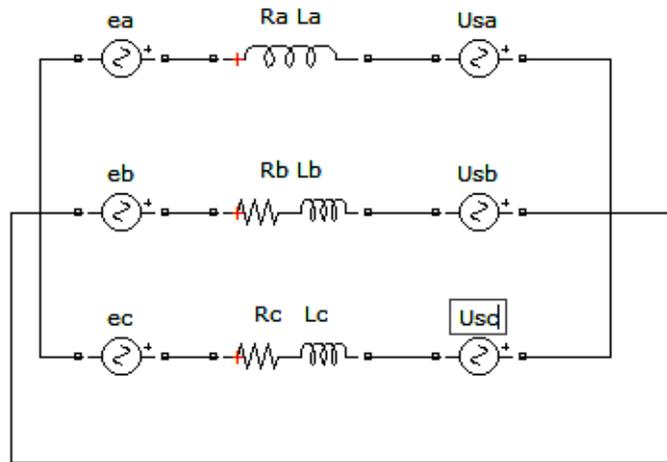


Figure 15: Schéma électrique de la source d'alimentation.

En exploitant la figure par la loi des mailles on aura

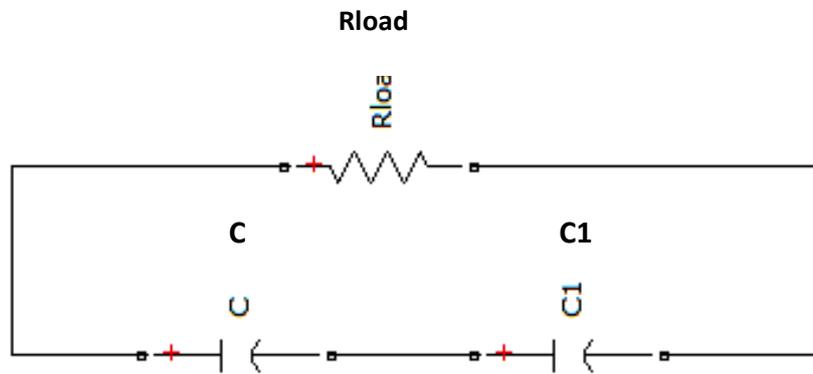
$$\begin{cases} e_a = R_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt} + U_{san} \\ e_b = R_b i_b + L_b \frac{di_b}{dt} + U_{sbn} \\ e_c = R_c i_c + L_c \frac{di_c}{dt} + U_{scn} \end{cases} \quad (2.14)$$

$$\begin{cases} \frac{di_a}{dt} = \frac{1}{L_a} (-R_a i_a - U_{san} + e_a) \\ \frac{di_b}{dt} = \frac{1}{L_b} (-R_b i_b - U_{sbn} + e_b) \\ \frac{di_c}{dt} = \frac{1}{L_c} (-R_c i_c - U_{scn} + e_c) \end{cases} \quad (2.15)$$

$$\begin{bmatrix} \frac{di_a}{dt} \\ \frac{di_b}{dt} \\ \frac{di_c}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{-R_a}{L_a} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{-R_b}{L_b} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{-R_c}{L_c} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L_a} & \frac{1}{L_b} & \frac{1}{L_c} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_a - U_{san} \\ e_b - U_{sbn} \\ e_c - U_{scn} \end{bmatrix} \quad (2.16)$$

II.3.3. Modélisation de la charge

Le schéma électrique figure montre les éléments présents à la sortie du redresseur :



Et en expliquant la loi des nœuds on obtient :

$$\begin{cases} i_{c+} = i_{dc+} - i_{ch} \\ i_{c-} = i_{dc-} - i_{ch} \end{cases} \quad (2.17)$$

$$\begin{cases} \frac{dU_{dc+}}{dt} = \frac{1}{C_+} (i_{dc+} - i_{ch}) \\ \frac{dU_{dc-}}{dt} = \frac{1}{C_-} (i_{dc-} - i_{ch}) \end{cases} \quad (2.18)$$

$$i_{dc} = s_a i_a + s_b i_b + s_c i_c \quad (2.19)$$

$$C_+ = C_- \quad (2.20)$$

A partir de (2.20) on en déduit (2.21)

$$\begin{cases} i_{dc+} = i_{dc-} \\ U_{dc+} = U_{dc-} \end{cases} \quad (2.21)$$

$$i_{ch} = \frac{U_{dc+}}{R_{ch}} = \frac{U_{dc-}}{R_{ch}} \quad (2.22)$$

$$\begin{cases} \frac{dU_{dc+}}{dt} = \frac{1}{C_+} ((S_a i_a + S_b i_b + S_c i_c) - \frac{U_{dc+}}{R_{ch}}) \\ \frac{dU_{dc-}}{dt} = \frac{1}{C_-} (S_a i_a + S_b i_b + S_c i_c) - \frac{U_{dc-}}{R_{ch}} \end{cases} \quad (2.23)$$

$$\begin{bmatrix} C_+ \frac{dU_{dc+}}{dt} \\ C_- \frac{dU_{dc-}}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_a S_b S_c & -1 \\ S_a S_b S_c & -1 \end{bmatrix} \frac{1}{R_{ch}} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \\ U_{dc+} \end{bmatrix} \quad (2.24)$$

Le modèle du redresseur Vienna dans le référentiel triphasés (a, b, c) se résume sur la matrice ci-dessus:

$$\begin{bmatrix} L_a \frac{di_a}{dt} \\ L_b \frac{di_b}{dt} \\ L_c \frac{di_c}{dt} \\ C_+ \frac{dU_{dc+}}{dt} \\ C_- \frac{dU_{dc-}}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -R_a & 0 & 0 & -\frac{2}{3}S_a + \frac{1}{3}S_b + \frac{1}{3}S_c & \frac{2}{3}S_a - \frac{1}{3}S_b - \frac{1}{3}S_c \\ 0 & -R_b & 0 & -\frac{1}{3}S_a + \frac{2}{3}S_b + \frac{1}{3}S_c & \frac{2}{3}S_a - \frac{2}{3}S_b - \frac{1}{3}S_c \\ 0 & 0 & R_c & -\frac{1}{3}S_a + \frac{1}{3}S_b + \frac{2}{3}S_c & \frac{1}{3}S_a - \frac{1}{3}S_b - \frac{2}{3}S_c \\ & & & S_a & S_b & S_c & -\frac{1}{R_{ch}} & -\frac{1}{R_{ch}} \\ & & & -S_a & -S_b & -S_c & -\frac{1}{R_{ch}} & -\frac{1}{R_{ch}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \\ U_{dc+} \\ U_{dc-} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} U_{an} \\ U_{bn} \\ U_{cn} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2.25)$$

II.3.4. Modèle en biphasé stationnaire (référentiel $\alpha\beta$)

Le passage du référentiel triphasé en biphasés stationnaires se fait grâce à la transformation de Clark $T_{ABC-\alpha\beta}$:

$$T_{ABC-\alpha\beta} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \quad (2.26)$$

$$\begin{bmatrix} U_\alpha \\ U_\beta \end{bmatrix} = T_{ABC-\alpha\beta} \begin{bmatrix} U_{an} \\ U_{bn} \\ U_{cn} \end{bmatrix} \quad (2.27)$$

$$\begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} = T_{ABC-\alpha\beta} \begin{bmatrix} S_a \\ S_b \\ S_c \end{bmatrix} \quad (2.28)$$

$$\begin{bmatrix} S_\alpha \\ S_\beta \end{bmatrix} = T_{ABC-\alpha\beta} \begin{bmatrix} S_a \\ S_b \\ S_c \end{bmatrix} \quad (2.29)$$

Ainsi on pourra décrire le fonctionnement du redresseur Vienna dans le repère $\alpha\beta$ sous forme matricielle comme suit :

$$\begin{bmatrix} L \frac{di_\alpha}{dt} \\ L \frac{di_\beta}{dt} \\ L \frac{dU_{dc}}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -R & 0 & -S_\alpha \\ 0 & -R & -S_\beta \\ S_\alpha & S_\beta & -\frac{l}{R} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \\ U_{dc} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} U_\alpha \\ U_\beta \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2.30)$$

Tel que $C=C_+ = C_-$ et $L = L_a = L_b = L_c$

II.3.5. Modèle en biphasé rotatif (référentiel dq)

A partir du modèle en biphasé stationnaire et à l'aide de la matrice de passe de Park nous déterminerons le modèle en biphasé rotatif

$$T_{\alpha\beta-dq} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \quad (2.31)$$

$$\begin{bmatrix} U_d \\ U_q \end{bmatrix} = T_{\alpha\beta-dq} \begin{bmatrix} U_\alpha \\ U_\beta \end{bmatrix} \quad (2.32)$$

$$\begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} = T_{\alpha\beta-dq} \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} \quad (2.33)$$

$$\begin{bmatrix} S_d \\ S_q \end{bmatrix} = T_{\alpha\beta-dq} \begin{bmatrix} S_\alpha \\ S_\beta \end{bmatrix} \quad (2.34)$$

Tel que θ est l'angle de rotation $\theta=\omega t=2\pi f$ ou

$$\begin{bmatrix} L \frac{di_d}{dt} \\ L \frac{di_q}{dt} \\ C \frac{dU_{dc}}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -R & \omega L & -S_d \\ -\omega L & -R & -S_q \\ S_d & S_q & -\frac{l}{R} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \\ U_{dc} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} U_d \\ U_q \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2.35)$$

Tel que $U_{dc} = U_{dc+} = U_{dc-}$

II.4. Conclusion

Pour mieux comprendre le principe de fonctionnement du redresseur Vienna, une modélisation de ce dernier a été traduite par des équations mathématiques. Ainsi nous avons élaboré les différents modèles de transformations.

Chapitre III

Stratégies de commandes du redresseur Vienna

III.1. Introduction

Dans ce chapitre nous allons étudier deux stratégies de commandes qui peuvent être appliquées au redresseur Vienna tout en assurant une haute qualité d'énergie voir un facteur de puissance unitaire et un courant de forme quasi-sinusoïdale.

III.2. Commandes du redresseur Vienna triphasé

Nous avons plusieurs méthodes de commandes dont on cite :

- Commande en courant (Hystérésis)
- Commande par modulateur et régulateur de courant (MRC)
- Commande direct de puissance (DPC)

III.2.1. Commande en courant

La technique de commande en courant par hystérésis est largement utilisée dans le domaine de l'électronique de puissance, dont ses principaux avantages sont la très grande simplicité, la robustesse et la rapidité. Le seul paramètre de régulation dans cette commande est la largeur de la bande d'hystérésis qui détermine l'erreur sur entre le courant de référence et le courant réel. Le principal inconvénient de cette technique de modulation réside dans la fréquence du changement d'état des interrupteurs qui est fortement irrégulière et incontrôlable, ce qui génère un spectre d'harmonique étendu et très perturbé, donc difficilement filtrable. De ce fait, elle s'avère être mal perçue par les industrielles [13]

III.2.1.1. Principe de fonctionnement de la commande en courant

Le contrôle du courant par hystérésis consiste à maintenir le courant dans une bande enveloppant sa référence. Chaque violation de cette bande donne un ordre de commutation aux interrupteurs La figure 17 illustre le principe de contrôle du courant hystérésis à bande fixe à deux niveaux. La différence entre de référence et celui mesuré est appliquée à l'entrée d'un comparateur à hystérésis dont la sortie fournit l'ordre de commande d'un ras correspondant [14].

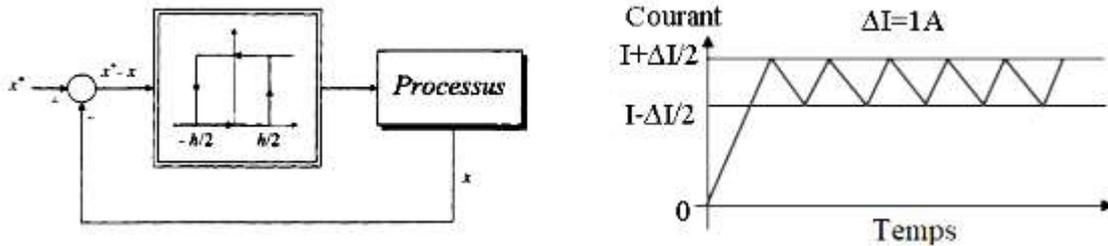


Figure 17 : Schéma fonctionnel du régulateur à hystérésis [14].

III.2.1.2. Résultats de la simulation

Voici les résultats obtenus lors de la simulation :

Tableau 05: Paramètres de simulation de la commande en courant

Résistance de ligne	0.1 Ω
Inductance de ligne	10 $10^{-3}H$
Condensateur	1000 $10^{-6}F$
V_{source}	230 V
R_{charge}	110 Ω
V_{ref}	Echelon passant de 500 à 700v a $t=0.4s$
Temps de simulation	0.8s

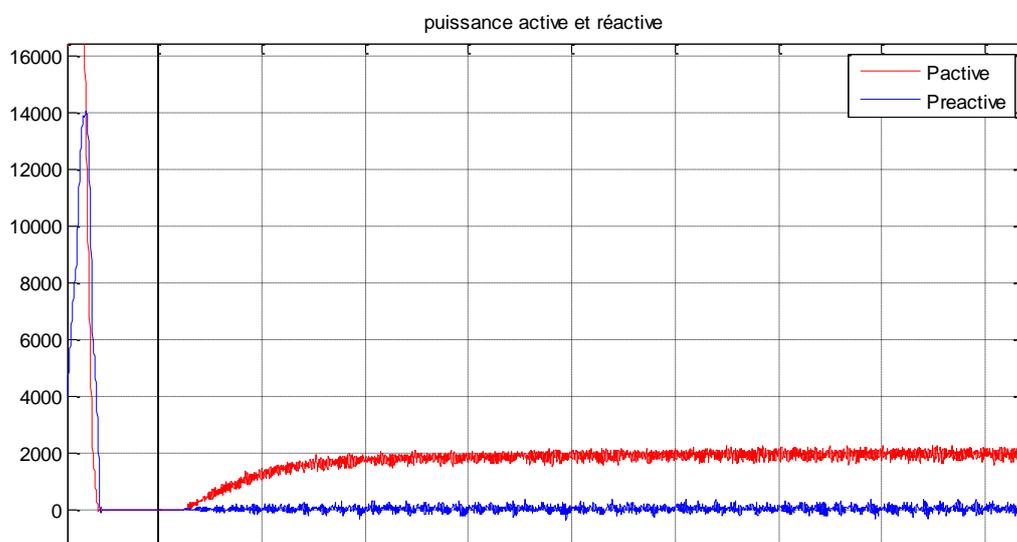


Figure 18: Allure de la puissance active et réactive à l'entrée du convertisseur.

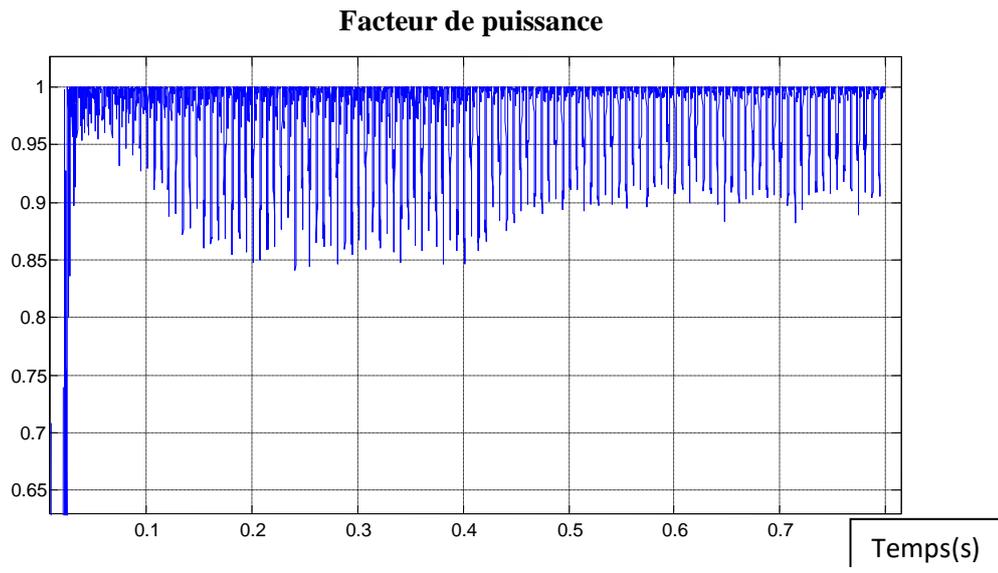


Figure 19: Allure du facteur de puissance.

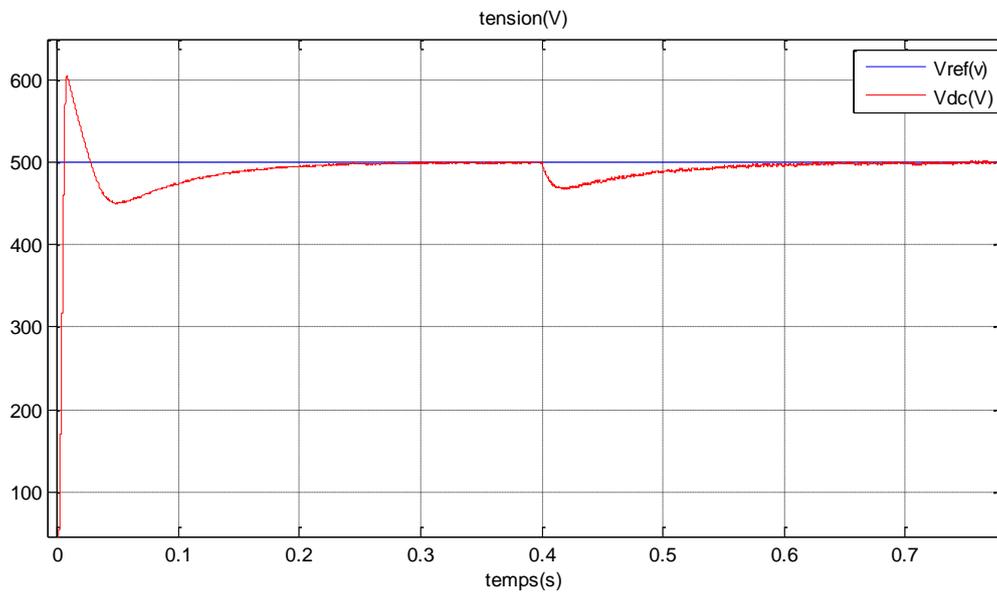
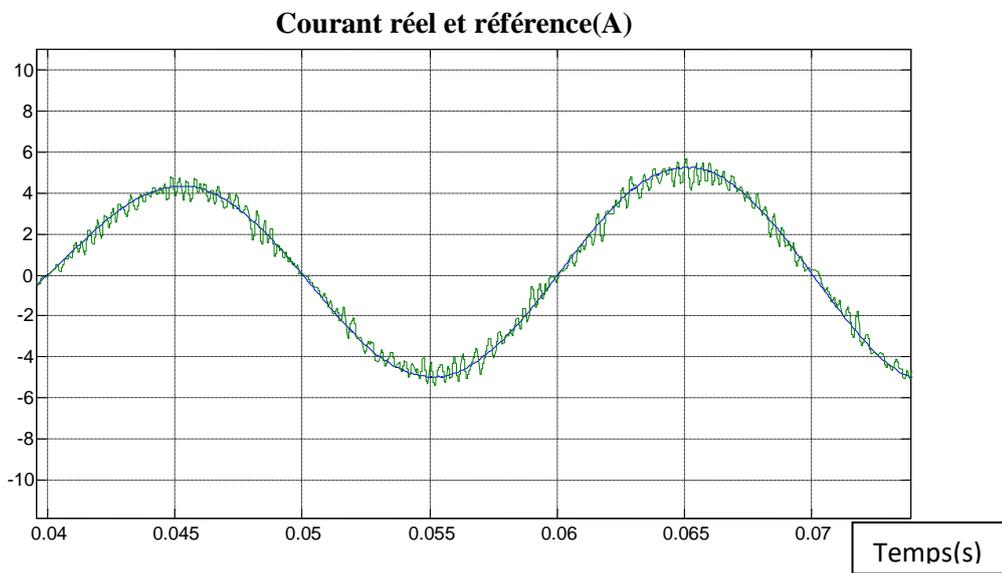


Figure 20: Allure de la tension de sortie.



Figure 21 : Allure de la puissance de la charge.

(a) Bande 0.001.



(b) Bande de 0.5.

Courant réel et de référence(A)

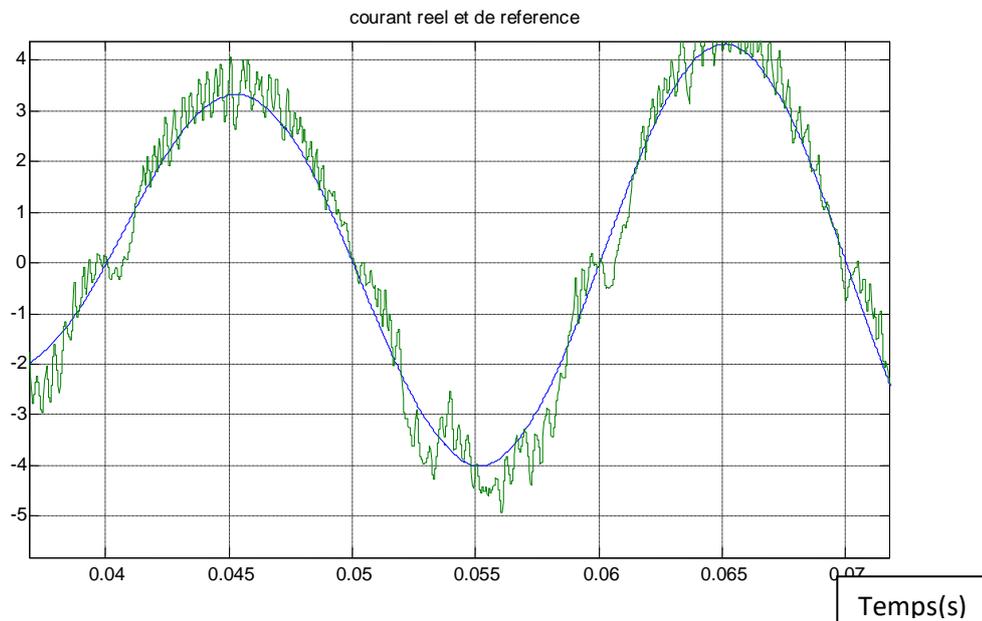


Figure 22: Allure du courant réel et de référence d’une phase.

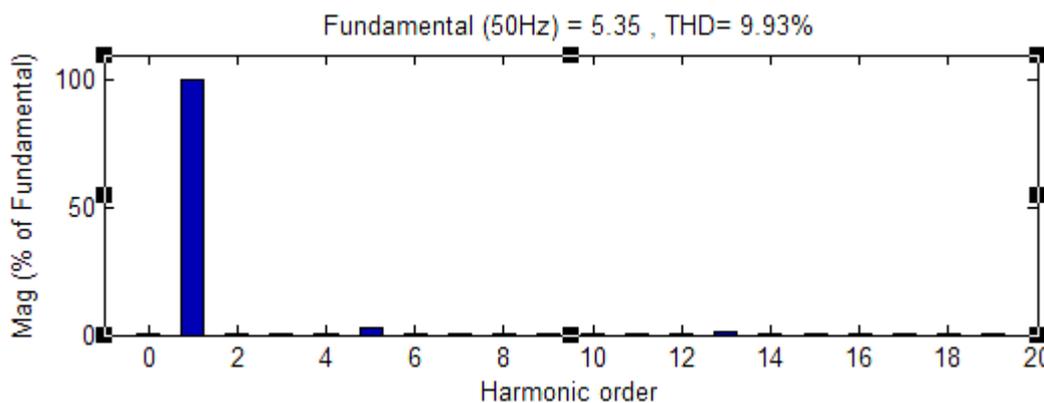


Figure 23: le taux de distorsion harmonique (THD) par la commande en courant.

Tableau 06: Bilan de puissance du redresseur Vienna avec une commande en courant:

Commande Hystérésis	Puissance active (W)	Puissance de réaction (VAR)	Puissance apparente (VA)	Facteur de puissance de la charge(%)	Puissance de la charge (W)	Rendement (%)
Bande 0.001	3249	0	3249	1	2482	0.764
Bande de 0.5	3154	0	3154	1	2464	0.7813

III.2.1.3. Interprétation des résultats

La simulation de la commande par Hystérésis a été faite à l'aide du logiciel Matlab/Simulink :

- ✓ Nous remarquons que plus on diminue la bande d'Hystérésis, plus la tension suit sa référence.
- ✓ Nous remarquons aussi que les courants dans les différentes bandes sont limités.
- ✓ Les courants absorbés sont d'une forme quasi-sinusoïdale.
- ✓ Plus on diminue la bande d'Hystérésis, plus les pertes par commutation.

III.2.2. Etat de l'art du contrôle direct de puissance (DPC)

Le principe du contrôle direct des convertisseurs d'électroniques de puissance à MLI a été proposé pour la première fois en 1986 par [15], et il a été développé plus tard dans plusieurs applications. Le but du contrôle direct de ces systèmes était d'éliminer le bloc de modulation de largeur d'impulsion et les boucles de régulations internes des variables contrôlées, en les remplaçant par une table de commutation prédéfinie, dont les entrées sont les erreurs de suivi de référence des grandeurs contrôlées et la sortie est le vecteur de commande. La première application développée dans cet axe était le contrôle des machines électriques à vitesse variable alimentées par un onduleur à MLI triphasé.

La structure de contrôle était connue sous le nom de contrôle direct de couple (DTC). Dans cette application, le flux saturique et le couple électromagnétique sont contrôlés directement sans aucun bloc de modulation [16] [17]. La grande similitude entre une machine électrique, alimentée par un onduleur de tension triphasé, et le redresseur à MLI triphasé connecté au réseau, a permis l'émergence d'une technique de contrôle analogue au DTC, appelée contrôle direct de puissance (DPC). La première configuration de ce type de contrôle a été proposée par [18], pour le contrôle direct des puissances instantanées actives et réactive du redresseur à MLI triphasé sans capteurs de tension du réseau. Ensuite, cette approche est développée et différentes configurations ont été proposées par [19]. Le but commun de ce contrôle était d'assurer le prélèvement de courants sinusoïdaux tout en garantissant un facteur de puissance unitaire avec un contrôle découplé des puissances active et réactive. Les différentes configurations du DPC, définies dans la littérature, se subdivisent en deux catégories :

- A. **DPC utilisant le vecteur de tension (V-DPC):** Les références [18] [20] et [24] établissent des configurations du DPC basées sur la position du vecteur de tension dans le repère stationnaire α - β .
- B. **DPC utilisant le flux virtuel:** Dans [19] [21] [22] et [23] les configurations détaillées sont basées sur le calcul d'un flux virtuel. Dans [21] les auteurs suggèrent d'associer le principe du DPC avec une modulation de largeur d'impulsion vectorielle (SVM) afin d'obtenir une fréquence de commutation constante sans l'utilisation d'une table de commutation.

III.2.2.1. Principe de fonctionnement du contrôle direct de puissance

Il s'articule autour de deux boucles de contrôle direct des puissances instantanées actives et réactive.

Les sorties des comparateurs ∂q et ∂p sont utilisées par des contrôleurs à hystérésis de la puissance active et réactive, lesquelles fournissent les grandeurs dp et dq pour la génération des signaux de commande Sa , Sb et Sc du redresseur de vienne à partir de la table de commutation.

La puissance active instantanée est définie comme étant le produit scalaire du vecteur de la tension instantanée et celui du courant instantané, la puissance réactive instantanée est le produit vectoriel entre la tension instantanée et le courant instantané, leurs expressions sont les

Suivantes :

$$\begin{cases} p = \vec{u} * \vec{i} = u_a i_a + u_b i_b + u_c i_c = |\vec{u}| |\vec{i}| \cos \varphi = |\vec{u}| |\vec{i}| \\ q = \vec{u} * \vec{i} = u_a^* i_a^* + u_b^* i_b^* + u_c^* i_c^* = |\vec{u}| |\vec{i}| \cos \varphi = |\vec{u}| |\vec{i}| \end{cases} \quad (3.6)$$

Tel que:

$$\begin{bmatrix} u_a^* \\ u_b^* \\ u_c^* \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} u_c - u_b \\ u_a - u_c \\ u_b - u_a \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

On peut écrire l'équation (3.6) sous forme d'une matrice :

$$\begin{bmatrix} p \\ q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_a & u_b & u_c \\ u_a^* & u_b^* & u_c^* \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

Dans le repère virtuel biphasé ($\alpha\beta$)

$$\begin{bmatrix} p \\ q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u & u_\beta \\ u_\beta & -u_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} \quad (3.9)$$

Dans le repère stationnaire biphasé (dq)

$$\begin{bmatrix} p \\ q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_d & u \\ u_q & -u_d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} \quad (3.10)$$

En utilisant le modèle mathématique du redresseur Vienna dans le repère stationnaire biphasé :

$$\begin{cases} L \frac{di_d}{dt} = e_d - U_d - Ri_d + \omega Li_q \\ L \frac{di_q}{dt} = e_q - U_q - Ri_q + \omega Li_d \end{cases} \quad (3.11)$$

On multiplie la dernière équation par e_d

$$\begin{cases} L \frac{di_d}{dt} e_d = e_d(e_d - U_d - Ri_d + \omega Li_q) \\ L \frac{di_q}{dt} e_d = e_d(e_q - U_q - Ri_q + \omega Li_d) \end{cases} \quad (3.12)$$

La dernière équation est considérée comme équation essentielle dans la commande directe en puissance, ou on représente cela sous un diagramme d'état qui sera illustré dans la figure suivante. La ou on voit clairement qu'il y a deux boucles de contrôles dans le système DPC. La première boucle est la boucle de tension continue externe. Ou cette dernière est comparée à la tension de référence U_{dc}^* et l'erreur de tension est utilisée pour générer la commande de courant I_{dc}^* via le régulateur (PI).

La structure globale du *DPC*, utilisant une table de commutation prédéfinie, appliqué au pont redresseur à *Vienna* est illustrée sur la figure 25 . Elle est analogue à celle du contrôle direct de couple (*DTC*) des machines à induction. Au lieu du couple et du flux statorique, c'est la puissance instantanée active et réactive qui sont les grandeurs contrôlées. Le principe du *DPC* consiste à sélectionner une séquence des ordres de commutation (S_a, S_b, S_c) des semi-conducteurs constituant le redresseur à MLI, à partir d'une table de commutation. La sélection s'effectue sur la base des erreurs numérisées, S_p et S_q , entre les références des puissances active et réactive (P^* et q^*) et les valeurs réelles (P et q), fournies par deux comparateurs à hystérésis

à deux niveaux, ainsi que sur la position angulaire du vecteur des tensions du réseau $e_{\alpha\beta}$. Pour ce dernier, le plan α - β est divisé en douze secteurs égaux de 30° , comme l'illustre le graphique de la figure. Chacune des séquences de commande (S_a, S_b, S_c) correspond à un vecteur de tension à l'entrée du redresseur

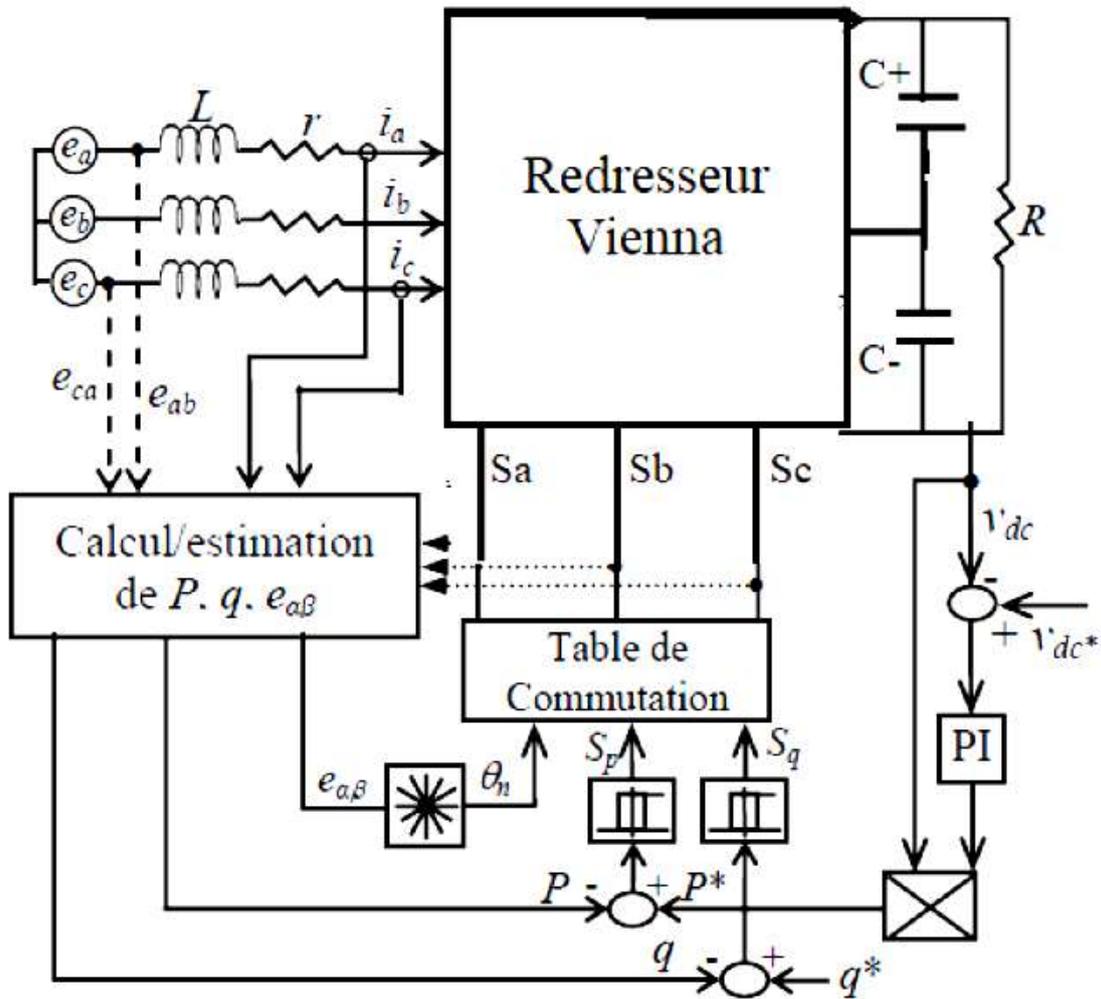


Figure 24: Structure du contrôleur DPC du redresseur de vienne [13].

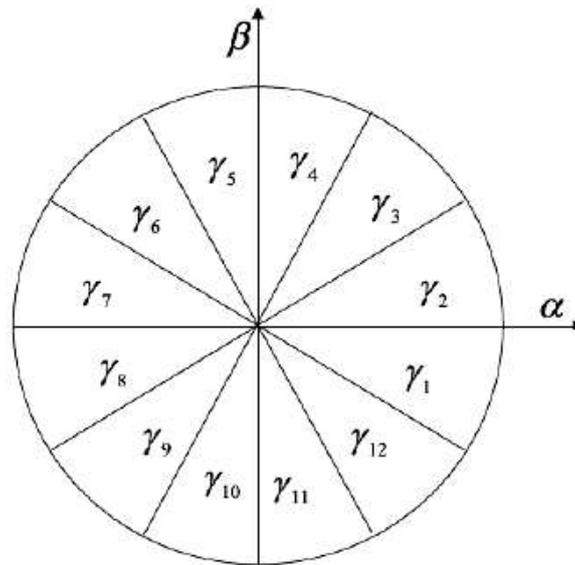


Figure 25: Plan α - β divisé en 12 secteurs [13].

Pour toute structure du DPC, le contrôle de la tension du bus continu, V_{dc} , s'effectue par ajustement de la puissance active instantanée. L'objectif du DPC est de permettre au redresseur à MLI d'échanger avec le réseau des puissances instantanées actives et réactive constantes, tout en garantissant un contrôle découplé de ces dernières. Ainsi, la référence de la puissance active, P^* , est fournie par le régulateur PI de la tension du bus continu. Tandis que celle de la puissance réactive, q^* , provient de l'extérieur. Elle est imposée égale à zéro pour l'absorption de courants sinusoïdaux sous une tension de source de forme supposée sinusoïdale, afin d'assurer un fonctionnement du redresseur avec un facteur de puissance unitaire.

Le vecteur de tension à l'entrée du redresseur à MLI, v , dépend des états de commutation S_a , S_b et S_c des semi-conducteurs. Selon les différentes combinaisons possibles de ces trois états, huit vecteurs de tension peuvent être appliqués à l'entrée du redresseur : deux vecteurs nuls nommés (v_0 et v_7) et six vecteurs non nuls (v_1 , v_2 , v_3 , v_4 , v_5 , v_6). Ces vecteurs sont représentés dans le repère stationnaire α - β comme le montre la figure 27. Les six vecteurs non nuls divisent le plan α - β en six secteurs dont chacun est divisé en deux secteurs égaux, afin d'obtenir un contrôle précis. Les erreurs de suivi de référence des puissances instantanées active et réactive, introduites dans deux comparateurs à hystérésis à deux niveaux, permettent d'établir deux sorties logiques S_p et S_q qui prennent l'état "1" pour une augmentation de la variable contrôlée (P ou q) et l'état "0" pour une diminution [13] :

Si $p_{ref} - p \geq h_p$ donc $S_p = 1$

Si $p_{ref} - p \leq h_p$ donc $S_p = 0$

Si $Q_{ref} - q \geq h_q$ donc $S_q = 1$

Si $Q_{ref} - q \leq h_q$ donc $S_q = 0$

Ou h_p et h_q sont les écarts des régulateurs à hystérésis à deux niveaux.

III.2.2.2. Détermination du secteur

Le calcul de la position angulaire du vecteur des tensions du réseau dans le plan stationnaire α - β nécessite la connaissance des composantes e_α et e_β , qui peuvent être soit calculées à partir des mesures des tensions du réseau, soit être estimées à partir de l'estimation des puissances instantanées et des courants absorbés. Cette position est définie par la relation suivante:

$$\theta_n = \arctan\left(\frac{e_\alpha}{e_\beta}\right) \tag{3.12}$$

Des tensions du réseau, soit être estimées à partir de l'estimation des puissances instantanées et des courants absorbés. Cette position est définie par la relation suivante:

$$(n-2)\frac{\pi}{6} < \theta_n < (n-1)\frac{\pi}{6} \quad n=1 ; \dots ; 12 \tag{3.13}$$

Ou n est le numéro du secteur.

III.2.2.3. Table de commutation

Tableau 07: Table de commutation utilisée dans la première simulation [25]:

S_p	S_q	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4	θ_5	θ_6	θ_7	θ_8	θ_9	θ_{10}	θ_{11}	θ_{12}
1	0	V_4	V_5	V_5	V_6	V_6	V_1	V_1	V_2	V_2	V_3	V_3	V_4
	1	V_3	V_4	V_4	V_5	V_5	V_6	V_6	V_1	V_1	V_2	V_2	V_3
0	0	V_6	V_1	V_1	V_2	V_2	V_3	V_3	V_4	V_4	V_5	V_5	V_6
	1	V_1	V_2	V_2	V_3	V_3	V_4	V_4	V_5	V_5	V_6	V_6	V_1

III.2.2.4. Résultat de simulations

Voici les résultats obtenus lors de la simulation :

Tableau 08: Paramètres de simulation de la commande en Puissance

Résistance de ligne	0.1 Ω
Inductance de ligne	10 10^{-3}H
Condensateur	1000 10^{-6}F
V_{source}	230 V
R_{charge}	110 Ω
V_{ref}	Echelon passant de 500 à 700v a t=0.4s
Temps de simulation	0.8s

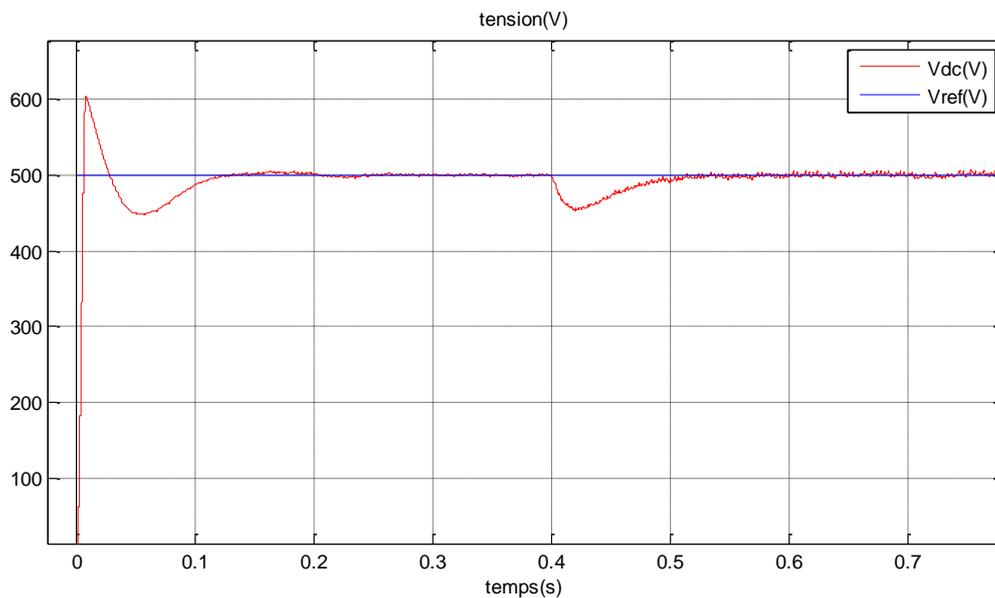


Figure 26: Allure de la tension de sortie.

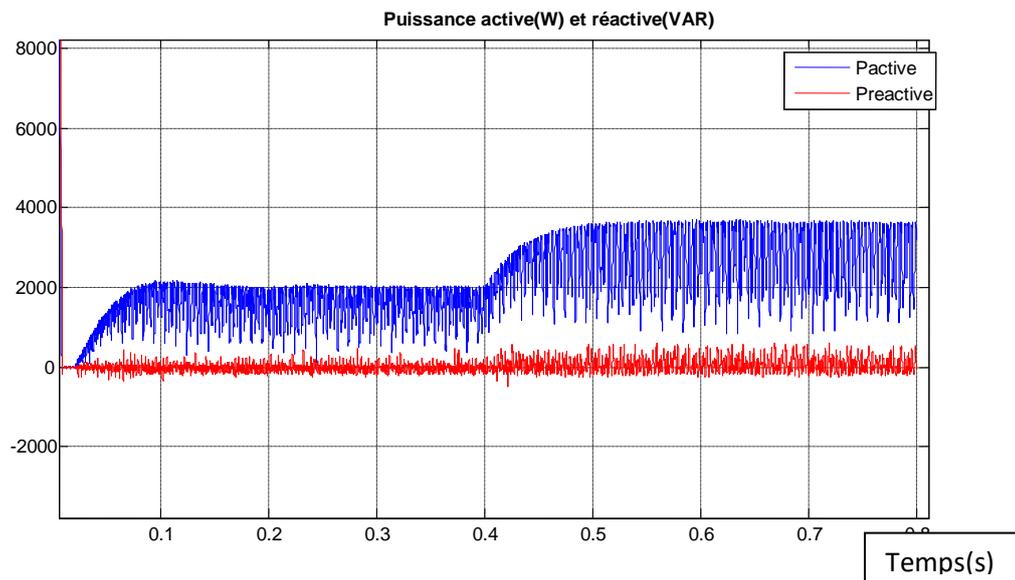


Figure 27: Allure de la puissance active et réactive à l'entrée du convertisseur.

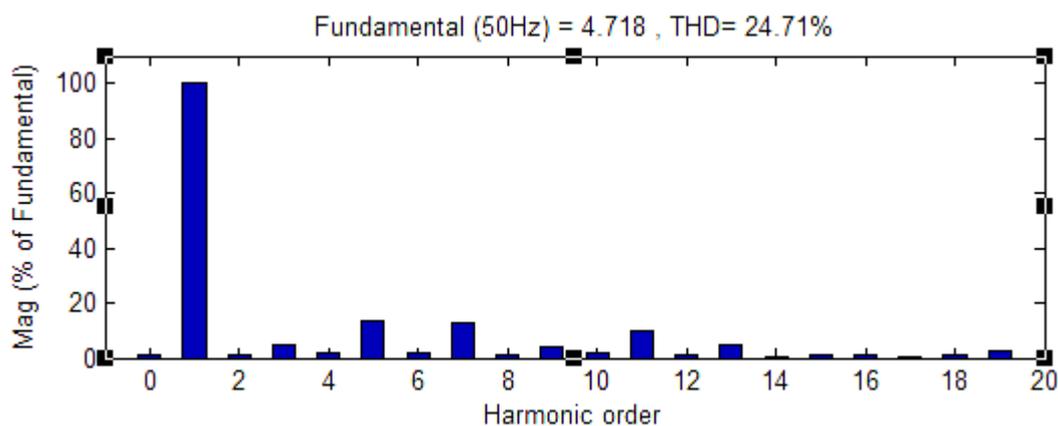


Figure 28: Le taux de distorsion harmonique (THD) par la commande en puissance.

Tableau 09: Bilan de puissance

Commande en puissance	Puissance active (W)	Puissance de réaction (VAR)	Puissance apparente (VA)	Facteur de puissance de la charge (%)	Puissance de la charge (W)	Rendement (%)
Bande 0.001	3357	0	3357	1	2477	0.7378
Bande de 0.5	3636	0	3636	1	2451	0.6742

III.2.5. Interprétation des résultats

La simulation de la commande de contrôle direct de puissance a été simulée à l'aide du logiciel Matlab/Simulink :

- ✓ Les courants absorbés possèdent une forme d'onde quasi-sinusoidale.
- ✓ Nous remarquons que la figure 27 montre bien que la tension du bus continu suit sa référence.

Tableau 10: Comparatif entre les deux commandes

	Commande par Hystérésis	Commande en Puissance
Bande 0.001	Taux de distorsion 9.93 %	Taux de distorsion 24.71%
	Rendement 0.764	Rendement 0.7378
Bande de 0.5	Taux de distorsion 15.34%	Taux de distorsion 21.43%
	Rendement 0.7813	Rendement 0.6742

III.4. Conclusion

Nous avons fait dans ce chapitre une comparaison entre deux stratégies de commande qui sont les suivantes : la commande en courant et la commande en puissance. Tout en se basant sur le taux de distorsion harmonique et sur la précision du réglage de la tension du bus continu.

Conclusion

Conclusion générale

Le travail réalisé apporte une contribution significative à la recherche des solutions aux problèmes de la pollution du réseau électrique dus aux charges non-linéaires. La solution proposée est l'utilisation des redresseurs à absorption sinusoïdale, tel que le redresseur Vienna, qui a une forme quasi-sinusoïdale du courant et une fiabilité à l'encontre des erreurs de commandes.

Nous avons commencé notre étude par la détermination du principe de fonctionnement du redresseur Vienna, puis nous avons proposées deux stratégies de commande qui sont : la commande par hystérésis et la commande direct de puissance.

La technique de commande par hystérésis est la plus utilisée due principalement à ses nombreuses applications et aux avantages qu'elle offre, notamment, la rapidité, la simplicité de son implémentation et la robustesse, son principe de fonctionnement consiste à maintenir le courant dans une bande enveloppant sa référence.

La commande en puissance s'articule autour de deux boucles de contrôle direct des puissances instantanées active et réactive, et elle garantit un contrôle découplé des puissances actives et réactives et de bonnes performances dynamiques et assure la régulation de la tension du bus continu.

Les deux stratégies de commande présentées montrent de bonnes performances dynamiques du redresseur vienna, d'autres stratégies peuvent être appliquées comme la MRC, ...etc.

Références

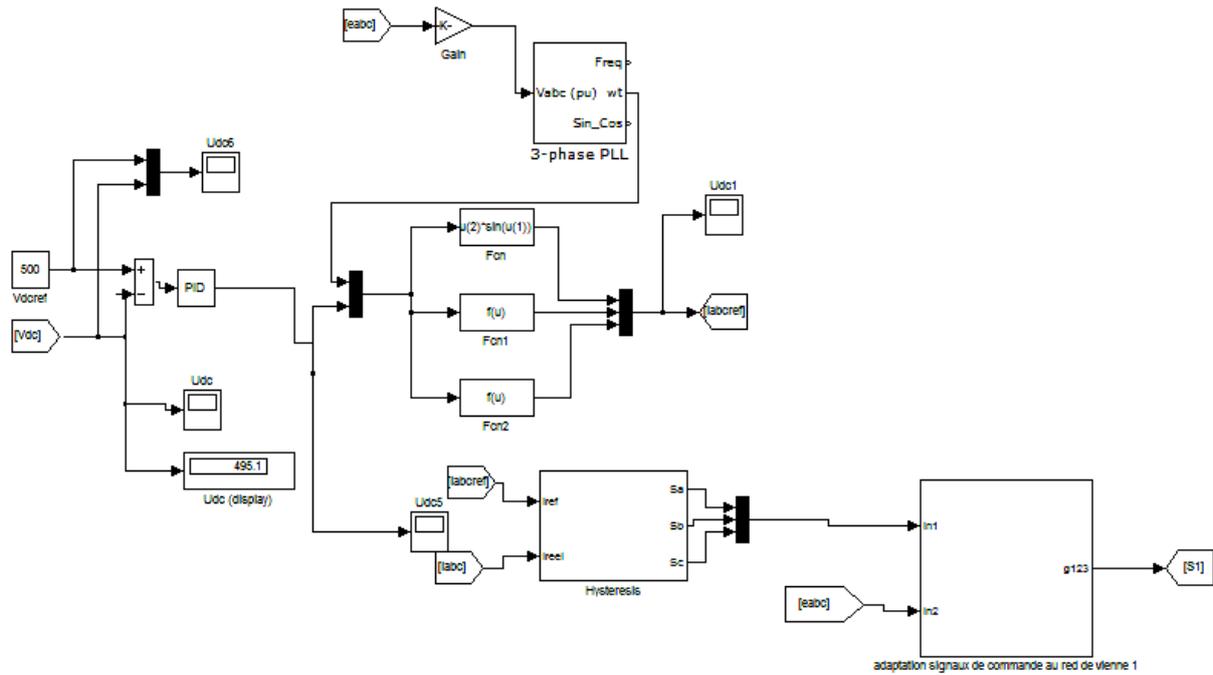
Références

1. H. Kanaan, "Contribution à la modélisation et au réglage des redresseurs triphasés non polluants unidirectionnels de type élévateur et à fréquence commutation fixe", Thèse de doctorat en génie, Ecole de technologie supérieure, Université du Québec, 14 Mars 2002.
2. T. Gouraud, "Identification et rejet de perturbations harmoniques dans des réseaux de distribution électrique", Thèse de doctorat, Ecole Doctorale Sciences pour l'Ingénieur de Nantes, Janvier 1997.
3. M. Alouache, "Réduction des courants harmoniques générés par les charges non linéaires par filtre actif parallèle", mémoire d'ingénieur d'état, Université Ferhat Abbas Sétif, Algérie, 2011.
4. A. Bouafia, "Techniques de Commande Prédictive et Floue pour les Systèmes d'Electronique de Puissance: Application aux Redresseurs à MLI", thèse de doctorat en sciences, Université Ferhat Abbas Sétif, Algérie, 2010.
5. N. Belhaouchet, "Fonctionnement à fréquence de commutation constante des convertisseurs de puissance en utilisant des techniques de commande avancées application de la qualité de l'énergie", thèse de doctorat en sciences, Université Ferhat Abbas Sétif, Algérie, 2011.
6. Kolar, J.W., Zach, "F.CA Novel Three-Phase Utility Interface Minimizing Line Current Harmonics of High-Power Telecommunications Rectifier Modules". *IEEE Trans. Industrial Electronics*, 44(4), pp. 465-467 (1997).
7. Gong, G., Drofenik, U., et Kolar, J. W. "12-pulse rectifier for more electric aircraft applications". In *ICIT'03*, Maribor, Slovénie, pp. 1096-1101.(2003).
8. Houf, R.E. et Berman, D.B. "Statistic analysis of power module thermal test equipment performance, components, hybrids and manufacturing technology". In *IEEE transactions on components, hybrids and manufacturing technology*. Vol.11, Issue 4, Décembre 1998, pp. 516-520. (1998).
9. Rufer, Alfred."Convertisseur AC/DC triphasé avec correction du facteur de puissance (PFC) pour la charge d'accumulateurs". In *Visions: revue scientifique de VEND*, pp. 3-8. (1999).
10. Kretchmar, Kasten, et Née, Hans-peter."Analysis of the efficiency and suitability of different converter topologies for PM integral motors". In *AUPEC*, Curtin University of Technology, Perth, Western Australia, pp. 1911-1916. (2001).
11. Kolar, J. W. et Zach, F.C. "A novel three-phase utility interface minimizing the line current harmonics of high power telecommunications rectifier modules". *INTELEC'04*, Chicago, USA, 19-23 Septembre 2004, pp. 367-374. (1994).
12. Yutong Zhu < Vienna Rectifier with Gallium Nitride (GaN) Devices > University of Wisconsin-Madison (2016)

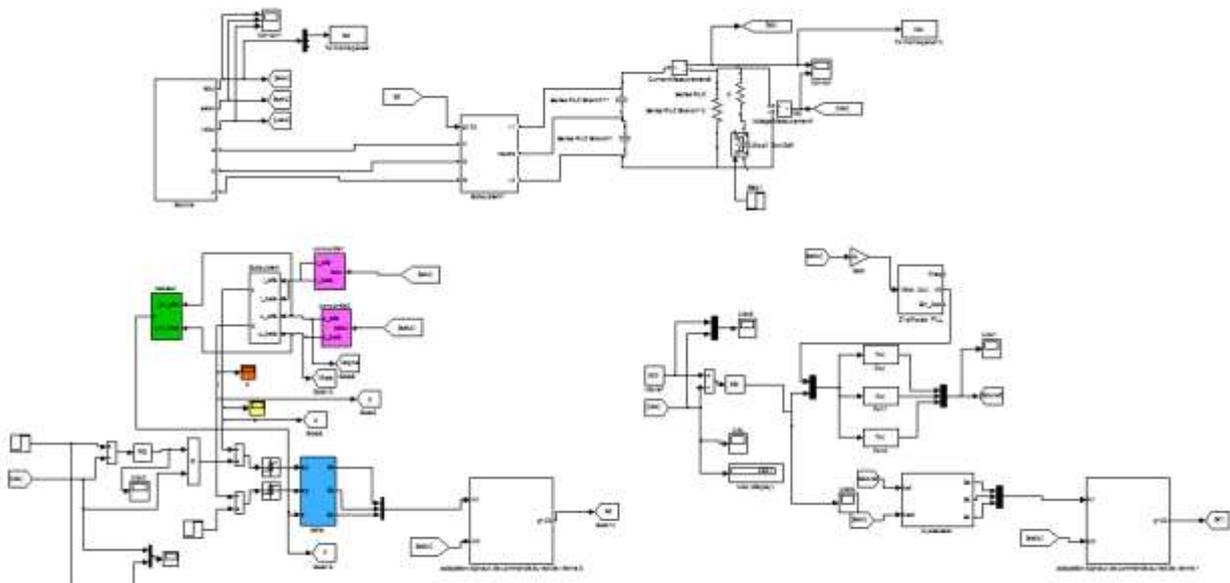
13. Dieng A., Le Claire J.C., Benkhoris M.F. and Ait-Ahmed M. "High-Efficiency Current Control of Five-Phase VIENNA Rectifier - PMSG SET For Marine Current Turbine Applications". The 16th European Conference on Power Electronics and Applications, EPE 2014, pp. 1-10, August 2014.
14. M. Kale, E. Ozdemir: "An adaptative hysteresis band current controller for shunt active power filter", *Electric Power Systems Research*, Éd. Elsevier, vol. 73, no. 2, pp. 113-119, Feb. 2005.
15. Le Claire J.C., Menager L., Olivier J.C. and Ginot N. "Isolation amplifier for high voltage measurement using a resonant control loop". European Conference on Power Electronics and Applications, EPE 2005, Germany, September 11-14, 2005.
16. T. Takahashi, T. Noguchi: "A new quick-response and high-efficiency control strategy of induction motor", *IEEE Trans. on Industry Applications*, vol. 15-22, no.5, pp. 820-827, Sep./Oct. 1986
17. V. Manninen: "Application of direct torque control modulation technology to a line converter", 6th European Conference on Power Electronics and Applications (EPE'95), Sevilla, Spain, pp. 1292-1296, Sep. 1995.
18. C. Attaianesi, G. Tomasso, A. Damiano, I. Marongiu, A. Perfetto: "Direct torque and flux control of induction motor drives", *International Conference on Power Electronics & Drives Systems (PEDS'97)*, Singapore, May. 1997.
19. T. Noguchi, H. Tomiki, S. Kondo, and I. Takahashi: "Direct power control of PWM converter without power-source voltage sensors", *IEEE Trans. on Industry Applications*, vol. 34, no. 3, pp. 473-479, May./Jun. 1998
20. M. Malinowski, M. P. Kazmierkowski, S. Hansen, f. Blaabjerg, and G. D. Maeques: "Virtual flux based direct power control of three phase PWM rectifiers", *IEEE Trans. on Industry Applications*, vol. 37, no. 4, pp. 1019-1027, Jul./Aug. 2001.
21. G. Escobar, A. M. Stankovic, J. M. Carrasco, and E. Galvan, and R. Ortega: "Analysis and design of direct power control (DPC) for a three phase synchronous rectifier via output regulation subspaces", *IEEE Trans. on Power Electronics*, vol. 18, no. 3, pp. 823-830, May. 2003.
22. M. Malinowski, M. Jasinski, and M. P. Kazmierkowski: "Simple Direct power control of three phase PWM rectifier using space vector modulation (DPC-SVM)", *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, vol. 51, no. 2, pp. 447-454, Apr. 2004
22. M. Cichowlas, M. Malinowski, P. Kazmierkowski, D. L. Sobczuk, J. Pou: "Active filtering function of three-phase PWM boost rectifier under different line voltage conditions", *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, vol. 52, no. 2, pp. 410-419, Apr. 2005.
23. P. Antoniewicz, M. P. Kazmierkowski: "Virtual-flux-based predictive direct power control of AC/DC converters with online inductance estimation", *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, vol. 55, no. 12, pp. 4381-4390, Dec. 2008.
24. S. Vazquez, J. A. Sanchez, J. M. Carrasco, J. I. Leon, E. Galvan: "A model-based direct power control for three-phase power converters", *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, vol. 55, no. 4, pp. 1647-11657, Apr. 2008.

- 25.T.M Chikouche: "Direct power control of three-phase PMW rectifier based on new switching table", Journal of Engineering Science and Technology Vol. 13, No. 6 1751 – 1763. School of Engineering, Taylor's University (2018)

Annexes



Annexe 01: Modèle de la commande par Hystérésis utilisé lors de la simulation.



Annexe 02: Le modèle de la commande direct en puissance ainsi que la commande en courant utilisé à la simulation.

