

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



Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued



FACULTE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIE

Mémoire de fin d'étude

Présenté pour l'obtention du diplôme de

LICENCE ACADEMIQUE

Domaine: Sciences et Technologies

Filière: Génie mécanique

Spécialité: Electromécanique Industrielle

Thème

**Différents stratégies de commande
d'un onduleur de tension**

Devant le jury composé de :

GUERFI Youcef Président
BEN AMOR Afaf Examineur
GUERFI Youcef Encadreur

Présenté par :

- HOURI Mohammed Elbachir
- HANI Elhani
- GHRISSI Messaoud

2014-2015

Dédicace

À nos parents,

À nos familles,

À nos amis.

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, nous remercions ALLAH, notre créateur de nous avoir donné les forces pour accomplir ce travail.

Nous adressons le grand remerciement à notre encadreur qui a proposé le thème de ce mémoire, aussi pour ses conseils et ses orientations.

Nous avons également l'honneur de remercier l'Administration du Département de Mécanique d'avoir facilité le processus de sélection du mémoire et de l'encadreur, ainsi que de l'organisation et la bonne coordination.

Un grand merci est adressé aux examinateurs d'avoir accepté la lecture et l'évaluation de notre mémoire.

Finalement, nous remercions tous ceux qui ont participé à réaliser ce mémoire

Sommaire

Notations et Symboles.....	i
Index des figures	ii
Introduction générale.....	1

Chapitre I:Généralité et fonctionnement de l'onduleur triphasé

I.1 Introduction.....	3
I.2 Classe de l'onduleur.....	3
I.2.1. onduleur non autonome.....	3
I.2.2. onduleur autonome.....	4
a- onduleur autonome de tension.....	4
b- onduleur autonome de courant.....	4
c- onduleur autonome à résonances.....	4
I.3 Type d'onduleur.....	4
I.3.1 Les onduleurs monophasés	4
I.3.2 Les onduleurs triphasés	5
I.4 Les utilisation de l'onduleur de tension	6
I.5.Principe de fonctionnement d'un onduleur de tension triphasée	6
I.6. Les avantages et les inconvénients de l'onduleur de tension.....	10

Chapitre II: Différents loi de commande de l'onduleur de tension

II.1 Introduction.....	11
II.2 Commande en pleine onde.....	11
II-2-1 Mode I: $\omega t = [0-60^\circ]$	12
II-2-2 Mode II: $\omega t = [60^\circ-120^\circ]$	13
II-2-3 Mode III: $\omega t = [120^\circ-180^\circ]$	14
II.3Modulation de Largeur d'Impulsion Sinus-Triangle	15
II.4Commande par hystérésis	18
II.5 Modulation Par MLI Vectorielle	19
II.5.1 Introduction.....	19
I.5.2 Les vecteurs spatiaux de tension.....	21
I.5.3 Modulation du vecteur spatial.....	25

Chapitre III : Modélisation de l'onduleur de tension

III -1- Introduction.....	28
III-2- Représentation de la structure d'onduleur de tension.....	28
III-3- Modélisation de l'onduleur de tension.....	29

Chapitre IV : Simulation et interprétation des résultat

IV.1 Introduction.....	31
IV. 2 Avantage de la simulation numérique.....	31
IV.3Présentation de l'environnement MATLAB/SIMULINK™.....	31
IV.4 Commande sinusoïdale	33
IV.5 Commande par hystérésis	35
IV.6 Commande à MLI vectorielle	37
IV.7 Interprétation des résultats	38
Conclusion générale	39
Bibliographie.....	40
Résumé	

Notations et Symboles

MLI	Modulation de Largeur d'Impulsion
$U_c(V)$	Source de tension continue de l'onduleur
SVM	Space Vector Modulation
U_{AB}, U_{BC}, U_{CA}	les vecteurs des tensions composées
$K_i ; K'_i$	Interrupteurs de l'onduleur
U_r	Tension de référence
U_p	Tension de porteuse
α, β	la représentation vectorielle des tensions triphasées dans un plan bidimensionnelle
$S(t)$	signale MLI résultant
h	la borne négative de la source de tension continue
p	La borne positive de la source de tension continue
$V_{ABC_o}(V)$	Tension de demi-bas A, B ou C
$V_{abc}(V)$	Tension de sortie de l'onduleur A, B ou C
$V_{réf123}(V)$	Tension de référence 1, 2 ou 3 (sinusoïdal)
U_{AB}	Tension composé
$V_p(V)$	Porteuse triangulaire
$A_p(V)$	Amplitude de la porteuse triangulaire
A_r	Amplitude de la référence
$\omega(rad/s)$	Pulsation électrique
f_r	Fréquence de la tension de référence
f_p	Fréquence de la porteuse triangulaire
m	Indice de modulation
r	Coefficient de réglage en tension
a, b, c	Axes liés aux enroulements triphasés

Index des figures

Figure I.1	Onduleur monophasé avec Transformateur de sortie à point milieu
Figure I.2	Onduleur monophasé avec diviseur capacitif
Figure I.3	Onduleur monophasé en pont
Figure I.4	Onduleur de tension triphasé
Figure I.5	Représentation d'un onduleur de tension à deux niveaux
Figure I.6	Schéma de simulation d'un onduleur de tension triphasé à deux niveaux
Figure I.7	Vecteurs tension d'état d'un onduleur à deux niveaux
Figure II.1	Les signaux de commande en pleine onde (180°)
Figure II.2	Les tensions de sortie de l'onduleur à commande 180°
Figure II.3	Principe de l'MLI Sinus-Triangle
Figure II.4	La création des signaux des impulsions et des tensions
Figure II.5	Schéma de principe du contrôle par hystérésis d'un bras de l'onduleur
Figure II.6	Commande par Hystérésis
Figure II.7	La topologie d'un onduleur triphasé de tension
Figure II.8	les huit états topologies de l'onduleur triphasé
Figure II.9	Représentation vectorielle des tensions générées par l'onduleur
Figure II.10(a)	Topologie 1 – $V_1(1,0,0)$ de l'onduleur triphasé
Figure II.10(b)	Représentation de la topologie 1 dans le plan (α, β)
Figure II.11(a)	Représentation des vecteurs de tension différents de zéro dans le plan (α, β)
Figure II.11(b)	Représentation de la topologie 1 dans le plan (α, β)
Figure II.12	Représentation des vecteurs de tension nulle dans le plan (α, β)
Figure II.13(a)	Le vecteur de tension de sortie dans le plan (α, β)
Figure II.13(b)	L'amplitude de la tension de sortie
Figure II.14	Projection du vecteur de tension dans le secteur n°1
Figure III.1	Schéma d'un bras de l'onduleur de tension
Figure III.2	Schéma équivalent de l'onduleur de tension
Figure IV.1	Schéma block de commande sinusoïdale
Figure IV.2	Porteuse de MLI sinusoïdale
Figure IV.3	Référence de MLI sinusoïdale
Figure IV.4	Tension composé U_{AB} de MLI sinusoïdale
Figure IV.5	Courant I_A de MLI sinusoïdale
Figure IV.6	Vitesse de rotation de MLI sinusoïdale
Figure IV.7	Couple électromagnétique de MLI sinusoïdale
Figure IV.8	Schéma block de Commande par hystérésis
Figure IV.9	Porteuse de MLI hystérésis

Figure IV.10	Référence de MLI hystérésis
Figure IV.11	Tension composé U_{AB} de MLI hystérésis
Figure IV.12	Courant I_A de MLI hystérésis
Figure IV.13	Vitesse de rotation de MLI hystérésis
Figure IV.14	Couple électromagnétique de MLI hystérésis
Figure IV.15	Schéma block de Commande à MLI vectorielle
Figure IV.16	Tension composé U_{AB} de MLI vectorielle
Figure IV.17	Courant I_A de MLI vectorielle
Figure IV.18	Vitesse de rotation de MLI vectorielle
Figure IV.19	Couple électromagnétique de MLI vectorielle

INTRODUCTION

GENERALE

Introduction générale

Les progrès récemment réalisés dans les domaines de l'électronique de puissance et de la commande numérique ont permis depuis peu l'essor des variateurs de vitesse pour les machines à courant alternatif. Aujourd'hui ces machines peuvent remplacer celles à courant continu dans la plu part des entraînements à vitesse variable.

Certes, si les moteurs à courant continu bénéficient toujours d'une certaine faveur dans le domaine industriel, il semble que les recherches de ces dernières années conduisent à une utilisation de plus en plus grande des moteurs à courant alternatif. Ces derniers (moteurs synchrone ou asynchrones) s'ils sont moins souples que les moteurs à courant continu pour le réglage de leur vitesse ont en revanche l'avantage d'être plus robustes et meilleur marché.

L'entraînement à vitesse variable des machines électriques était l'objectif de plusieurs études dans ces dernières années grâce à l'évolution technologique des convertisseurs statiques qui représentent le véritable cœur de tous système électrique. À partir d'une source d'énergie brute, ils doivent alimenter les différents circuits en énergie, avec un flux maîtrisé et adapté aux conditions de fonctionnement. Si l'on sait aujourd'hui remplir toutes les fonctions de conversion, les concepteurs s'efforcent d'améliorer continuellement certaines performances. La réduction du coût d'exploitation global est bien souvent le critère principal pour l'utilisateur final, cet objectif ultime doit être décomposé en plusieurs objectifs intermédiaires: augmentation du rendement, augmentation des performances dynamiques, réduction des perturbations, recherche d'une meilleure sûr étude fonctionnement.

L'évolution de ces qualités est la règlement due à l'amélioration des performances des semi-conducteurs de puissance qui a été très importante ces dernières années. Cependant, même si les performances des semi-conducteurs en tension, courant et rapidité peuvent être encore améliorées, nous approchons aussi la limite du tolérable. En effet, si le rendement et la compacité de mandent des composants extrêmement rapides, il n'en est pas de même vis à vis des critères de perturbation, et même dans une certaine mesure de la sûreté de fonctionnement. De toute évidence, le composant miracle qui commuterait des kilos Volts et des kilos Ampères en quelques nano secondes ne passerait pas inaperçu, mais il serait sans doute à peu près inutilisable !

L'alimentation à fréquence variable de la machine se fait à l'aide d'un convertisseur statique généralement continu-alternatif. La source d'entrée peut être du type source de courant ou du

type source de tension. A la sortie du convertisseur, on contrôle l'amplitude des tensions statorique sou l'amplitude des courants statoriques et la vitesse de rotation qui est proportionnelle à la fréquence d'alimentation de la machine.

Les onduleurs triphasés sont les plus utilisés dans les industries à cause de leur prix qui est moins chers par rapport aux autres(multi niveaux), ils sont plus économiques, et très approuvés du côté de la réalisation d'où une forte demande du côté commercial. Ils sont aussi plus faciles du côté de la commande électrique soit analogique concernant le simplificateurs opérationnels (comparateurs) soit numérique concernant les microprocesseurs.

Pour ce qui est de la puissance, les onduleurs à deux et à trois niveaux ne peuvent atteindre des dizaines de mégawatts, dans le cas contraire, les semi-conducteurs de ces onduleurs courent le risque de vieillissement prématuré surtout à cause d'une longue utilisation

Ce présent travail est relatif à une étude comparative entre différentes techniques de commande des onduleurs à MLI

Le premier chapitre sera consacré à généralité est fonctionnement de l'onduleur triphasé.

Dans le deuxième chapitre, nous présentons les différentes techniques de commande des onduleurs à MLI, avec une étude détaillée des techniques les plus utilisées actuellement dans le domaine de recherche à savoir la modulation sinusoïdale triangulaire, l'injection d'un harmonique trois dans la référence, la modulation par hystérésis et la modulation vectorielle. Cette étude est consacrée à la conception d'une stratégie de commande qui permet de donner une meilleure forme de la tension de sortie de l'onduleur, donc une meilleure qualité spectrale.

Dans le troisième chapitre nous donnons une explication détaillée de la modélisation de l'onduleur de tension.

Quatrième chapitre est consacré à la simulation et l'interprétation des résultats techniques de commande cités au pare avant, et enfin la simulation de la commande en utilisant un onduleur à MLI sinusoïdale triangulaire et MLI hystérésis puis à MLI vectorielle

Ce travail s'achève avec une conclusion générale qui résume tout le travail et qui donne une synthèse des différents résultats faites dans cette étude.

Chapitre I

Généralité et fonctionnement de l'onduleur triphasé

I.1 Introduction

Un convertisseur DC/AC (onduleur) est essentiellement utilisé pour fournir une tension ou un courant alternatif afin d'assurer l'alimentation en énergie des charges critiques (micro-ordinateur, station de télécommunication,...) pendant la coupure du réseau électrique ou une alimentation permanente pour les systèmes autonomes (centrales photovoltaïques, engins aérospatiaux,...).

Les trois principaux éléments qui constituent un onduleur sont les suivants:

- ◆ Source de tension continue (par exemple: batterie)
- ◆ Convertisseur DC/AC
- ◆ Filtre LC.

Toute approche de commande d'un onduleur doit prendre en compte les deux contraintes suivantes:

- ◆ La réduction de la distorsion harmonique globale en régime transitoire et en régime permanent;
- ◆ L'accès au réglage du fondamental de la tension de sortie à une valeur de référence.

En effet la synthèse d'une loi de commande exige de disposer d'un modèle dynamique du processus concerné qui, dans le cas présent, est constitué de l'ensemble 'source-convertisseur-filtre-charge'. La modélisation de l'onduleur à deux interrupteurs dans l'espace d'état en un système du second ordre nous a permis, après numérisation de ce modèle, de développer un algorithme de commande pour un onduleur triphasé.

I.2 Classe de l'onduleur

Un onduleur est un convertisseur statique assurant la conversion continu- alternatif, alimenté en continu, il modifie de façon périodique les connexions entre l'entrée et la sortie et permet d'obtenir de l'alternatif à la sortie. Une première classification peut être faite en distinguant : onduleurs non autonome et onduleur autonome. Entre ces deux types d'onduleurs, il existe un type intermédiaire d'onduleur appelé onduleur à commutation par la charge « ou encore onduleur à résonance »

I.2.1. onduleur non autonome:

Un onduleur est dit non autonome si l'énergie nécessaire pour la commutation des thyristors est fournie par le réseau alternatif qui est donc un réseau actif. C'est le cas du fonctionnement en onduleur des redresseurs. La fréquence et la forme d'onde de la tension sont imposées par le réseau alternatif

I.2.2. onduleur autonome :

Un onduleur autonome est un convertisseur statique assurant la conversion continu/alternatif. Alimenté en continu, il modifie de façon périodique les connexions entre l'entrée et la sortie et permet d'obtenir de l'alternatif à la sortie. Un onduleur autonome dépend essentiellement de la nature du générateur et du récepteur entre lesquels il est monté cela conduit à distinguer : -les onduleurs de tensions.

- Les onduleurs de courant

a- onduleur autonome de tension:

Un onduleur de tension est un onduleur qui est alimenté par une source de tension continue (source d'impédance interne négligeable), la tension « u » n'est pas affecté par les variations du courant « i » qui la traverse, la source continue impose la tension à l'entrée de l'onduleur et donc à sa sortie. Le courant à la sortie « i' » et donc le courant à l'entrée « i » dépendent de la charge placée du côté alternatif. Cette charge peut être quelconque à la seule condition qu'il ne s'agisse pas d'une autre source de tension (capacité ou f. e. m alternative) directement branchée entre les bornes de sortie.

b- onduleur autonome de courant

Un onduleur de courant (souvent appelé commutateur de courant) est alimenté par une source de courant continu, c'est-à-dire par une source d'inductance interne si grande que le courant « i » qui la traverse ne peut être affecté par les variations de la tension « u » à ses bornes

c- onduleur autonome à résonances

Les onduleurs à résonance sont des onduleurs de tension ou de courant à un créneau par alternance fonctionnant dans des conditions particulières. La charge doit être un circuit oscillant peu amorti. On commande les interrupteurs par une fréquence voisine de la fréquence de résonance de la charge. Si celle-ci varie, il faut faire varier la fréquence de commande. L'onduleur doit donc être piloté par la charge, il n'est plus autonome

I.3 Type d'onduleur

I.3.1 Les onduleurs monophasés

Pour obtenir une tension alternative à partir d'une tension continue en utilisant deux interrupteurs, il faut un point milieu, soit du côté de la sortie alternative, soit du côté de l'entrée continue, cela correspond à :

- l'onduleur monophasé avec transformateur de sortie à point milieu appelé onduleur pushpull (Figure I.1).

- l'onduleur monophasé avec diviseur capacitif à l'entrée appelé onduleur en demi-pont. (Figure I.2).

Si on veut varier la largeur relative des créneaux formant les alternances de la tension de sortie, il faut quatre interrupteurs c'est : l'onduleur monophasé en pont (figure I.3).

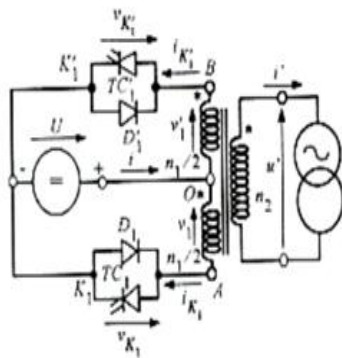


figure I.1 Onduleur monophasé avec Transformateur de sortie à point milieu

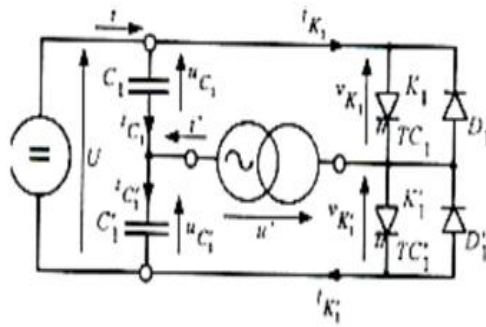


figure I.2 Onduleur monophasé avec diviseur capacitif

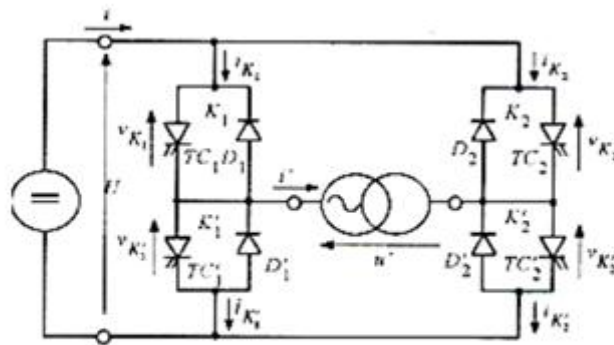


Figure I.3 Onduleur monophasé en pont

I.3.2 Les onduleurs triphasés

L'onduleur de tension triphasé découle immédiatement de trois demi pont monophasé, on obtient l'onduleur triphasé à six interrupteurs (figure I-4). Chaque demi pont comprend un thyristor (ou un transistor) et une diode .la source de tension continue est obtenue à partir d'un pont redresseur. Pour assurer la continuité des courants de sortie alternatif i_a, i_b, i_c , les interrupteurs K_1, K'_1 et K_2, K'_2, K_3 et K'_3 doivent être complémentaires deux à deux On définit $K_i = (T_i, D_i)$.

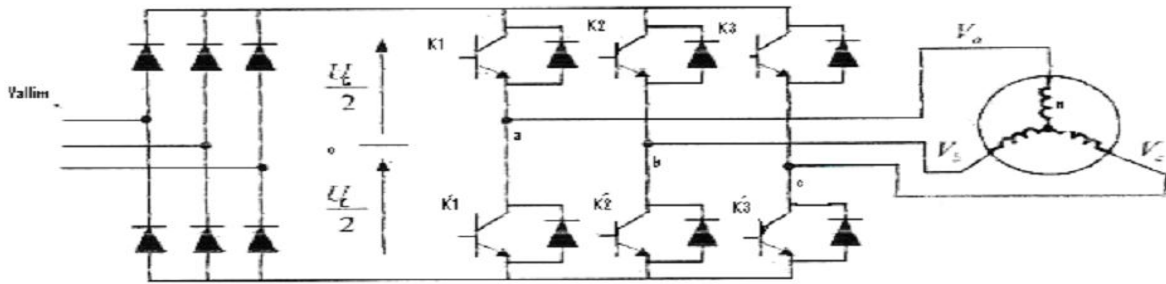


Figure I.4 Onduleur de tension triphasé

I.4 Les utilisation de l'onduleur de tension

L'onduleur est un convertisseur statique capable de transformer l'énergie électrique d'une source de tension continue en une énergie électrique de type alternative, l'utilisation des onduleurs est très vaste dans l'industrie, tels que les variateurs de vitesse pour les moteurs

triphases, les alimentations de secours.....etc.

Grâce au développement technologique des semi-conducteurs, et l'apparition des nouvelles techniques de commandes les onduleurs sont devenus plus performants. D'autre part la forme de tension de sortie d'un onduleur doit être plus proche d'une sinusoïde pour laquelle le taux d'harmoniques soit le plus faible possible, cette dernière dépend largement de la technique de commande utilisée

I.5.Principe de fonctionnement d'un onduleur de tension triphasée

Un onduleur de tension triphasé à deux niveaux est constitué de trois bras de commutation à transistors ou à thyristor GTO pour les grandes puissances. Chaque bras composé de deux cellules comportant chacune une diode et un transistor, la sortie correspondant au point milieu du bras. Tous ces éléments sont considérés comme des interrupteurs idéaux. Les commandes des interrupteurs d'un bras sont complémentaires. Donc pour chaque bras, il y a deux états indépendants. Ces deux états peuvent être considérés comme une grandeur booléenne.

L'onduleur de tension est alimenté par une source de tension continue d'impédance interne négligeable, sa tension n'est pas affectée par les variations du courant qui la traverse .La source continue impose la tension à l'entrée de l'onduleur et donc à sa sortie

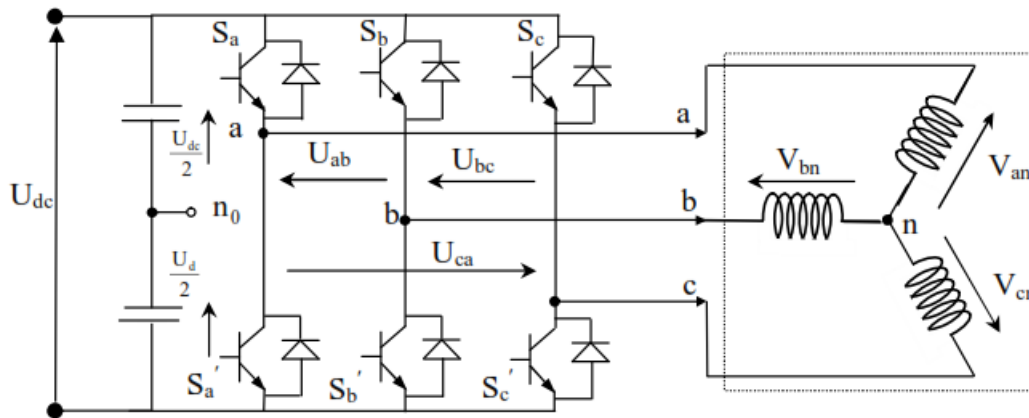


Fig-I-5 Représentation d'un onduleur de tension à deux niveau

L'état des interrupteurs, supposés parfaites preuves être défini par trois grandeurs booléennes de commande $S_i (i = abc)$

- Si le transistor supérieur est en conduction, les variables $S_i = 1$
- Si le transistor inférieur est en conduction, les variables $S_i = 0$

Dans ces conditions on peut écrire les tensions de phase $U_{in\ abc}$ en fonction des signaux de commande S_i

$$U_{in\ abc} = S_i \cdot U_c - \frac{U_c}{2} \tag{I.1}$$

Les tensions composées des trois phases sont obtenues à partir des relations suivantes en tenant compte du point fictif "o" figure (I.5)

$$\begin{cases} V_{ab} = V_{ao} - V_{bo} \\ V_{bc} = V_{bo} - V_{co} \\ V_{ca} = V_{co} - V_{ao} \end{cases} \tag{I.2}$$

Soit "n" le point neutre du coté alternatif (MSAP), alors on a

$$\begin{cases} V_{ao} = V_{an} + V_{no} \\ V_{bo} = V_{bn} + V_{no} \\ V_{co} = V_{cn} + V_{no} \end{cases} \tag{I.3}$$

La charge est considérée équilibrer, il l'en résulte:

$$V_{an} + V_{bn} + V_{cn} = 0 \tag{I.4}$$

La substitution de (1.3) dans (1.4) nous donnons:

$$V_{no} = \frac{1}{3}(V_{ao} + V_{bo} + V_{co}) \quad (I.5)$$

En remplaçant (1.5) dans (1.3) on obtient:

$$\begin{cases} V_{an} = \frac{2}{3}V_{ao} - \frac{1}{3}V_{bo} - \frac{1}{3}V_{co} \\ V_{bn} = \frac{-1}{3}V_{bo} + \frac{2}{3}V_{co} - \frac{1}{3}V_{ao} \\ V_{cn} = \frac{-1}{3}V_{co} - \frac{1}{3}V_{ao} + \frac{2}{3}V_{ao} \end{cases} \quad (I.6)$$

L'utilisation de l'expression (1.1) permet d'établir les équations instantanées des tensions simples en fonction des grandeurs de commande:

$$\begin{bmatrix} V_{an} \\ V_{bn} \\ V_{cn} \end{bmatrix} = \frac{1}{3}U_{dc} \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_a \\ S_b \\ S_c \end{bmatrix} \quad (1.7)$$

A partir de l'équation (1.7), le schéma de simulation d'un onduleur de tension triphasé à deux niveaux est donné dans la figure (I.6)

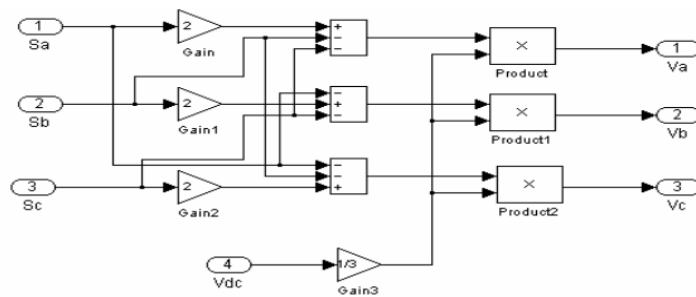


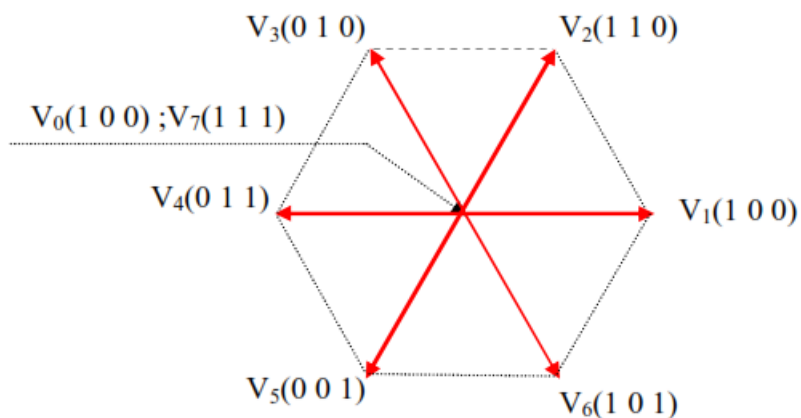
Fig. I.6. Schéma de simulation d'un onduleur de tension triphasé à deux niveaux

Pour simplifier les calculs et représenter ces tensions dans le plan ($\alpha \beta$) (fig. I.7), appliquons la transformation triphasée/biphasée respectant le transfert de puissance (transformation de Concordia)

$$\begin{bmatrix} V_{s\alpha} \\ V_{s\beta} \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{an} \\ V_{bn} \\ V_{cn} \end{bmatrix} \quad (1.8)$$

En remplaçant (1.7) dans (1.8) on obtient:

$$\begin{bmatrix} V_{s\alpha} \\ V_{s\beta} \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{3}{2}} \cdot U_{dc} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{3}} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} S_a \\ S_b \\ S_c \end{bmatrix} \quad (1.9)$$



FigI.7 Vecteurs tension d'état d'un onduleur à deux niveaux

L'onduleur a pour objectif de générer à sa sortie, des tensions le plus sinusoïdal possible, à cet effet, différentes stratégies de commande permettant de déterminer les trois fonctions logiques S_i ($i=1,2,3$).

Dans notre travail, on a appliqué deux techniques pour la commande de l'onduleur: la technique de Modulation de Largeur d'Impulsions (MLI) à hystérésis et la technique de la MLI vectorielle (SVM)

I.6. Les avantages et les inconvénients de l'onduleur de tension

Pour alimenter un moteur triphasé, l'onduleur de tension est d'ordinaire un pont à six interrupteurs. Il est précédé d'un filtre qui corrige l'imperfection de la source qui l'alimente et qui réduit l'ondulation du courant pris à cette source.

L'inductance du moteur est donc son comportement en récepteur de courant ne pose pas de problème, au contraire, puisqu'un onduleur de tension est destiné à alimenter un récepteur de courant.

Si on utilise des semi-conducteurs rapides, on peut fonctionner à une fréquence de commutation élevée.

L'onduleur de tension est réversible, c'est-à-dire permet le freinage par récupération du moteur. Mais cela suppose la réversibilité en courant de la source qui l'alimente. Or, un redresseur est réversible en tension et non en courant. La réversibilité amène à compliquer l'alimentation de l'onduleur dans les équipements alimentés par le réseau industriel.

L'inconvénient majeur de l'onduleur est l'obtention de la tension non sinusoïdale à sa sortie, cela provoque un échauffement excessif aux niveaux des enroulements des moteurs.

Ces tensions de sortie sont très riches en harmoniques, donc il est nécessaire de les réduire cela est l'un des objectifs de notre travail.

Chapitre II

Différents loi de commande de l'onduleur de tension

II.1 Introduction

Les onduleurs de tension peuvent être pilotés suivants plusieurs stratégies. A faible fréquence ,ils sont pilotés en pleine onde ,le signal de commande sera à la fréquence de la tension désiré à la sortie, et la source continue doit être réglable. A fréquence élevée, ils sont pilotés en modulation de largeur d'impulsion. Cette dernière stratégie permet de régler à la fois l'amplitude et la fréquence en gardent la source continue constante.

A fine de produire de tension de sortie proche de la sinusoïde, différentes stratégies de commande ont été proposées par des différents auteurs pour l'onduleur de tension.

Nous étudions les stratégies suivantes:

- Commande en pleine onde.
- Commande sinus triangle.
- Commande par hystérésis.
- Commande à MLI vectorielle.

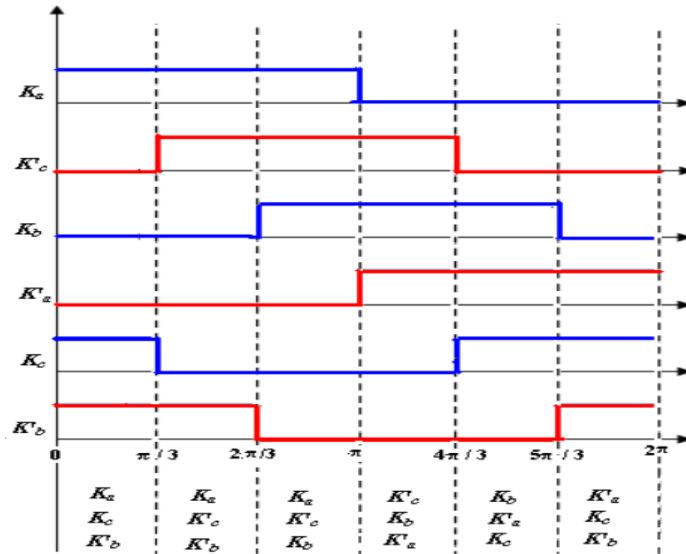
II.2 Commande en pleine onde

Pour illustrer le fonctionnement de l'onduleur, il est intéressant d'étudier le comportement en pleine onde (180°). Ce fonctionnement nous permet de mieux comprendre les autres stratégies de commandes.

Cette commande est appelée aussi la commande à six étapes.

Dans cet type de commande chaque transistor conduit pendant (180°).

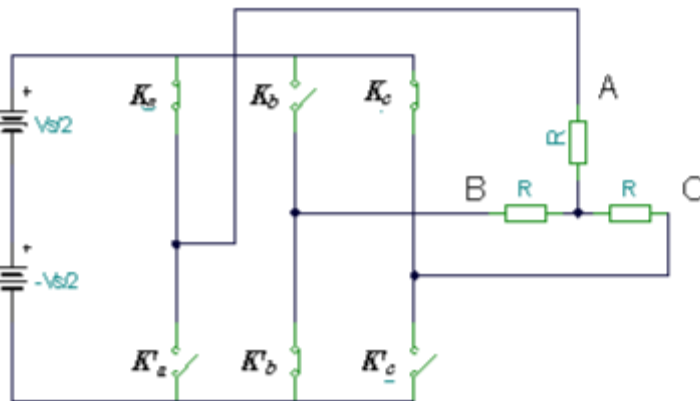
Il existe six modes de fonctionnement dans chaque cycle ,et chaque mode dure (60°) les transistors sont numérotés d'une manière dans la quelles reçoivent les séquences de décalage l'un de l'autre de (60°)



Figure(II-1) Les signaux de commande en pleine onde (180°)

II-2-1 Mode I: $\omega t = [0-60^\circ]$

Les transistors en conduction sont: K_a, K_c, K'_b .



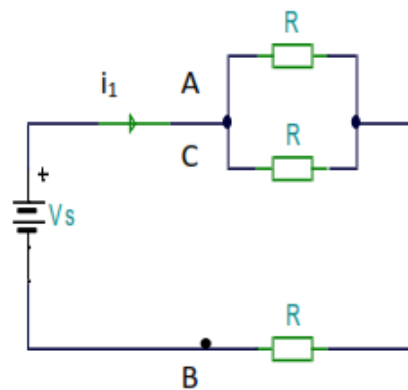
$$\frac{1}{R'} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R} = \frac{2}{R} \Rightarrow R' = \frac{R}{2}$$

$$R_{eq} = R' + R = \frac{3}{2}R$$

$$i_1 = \frac{V_s}{R_{eq}} = \frac{2}{3}R$$

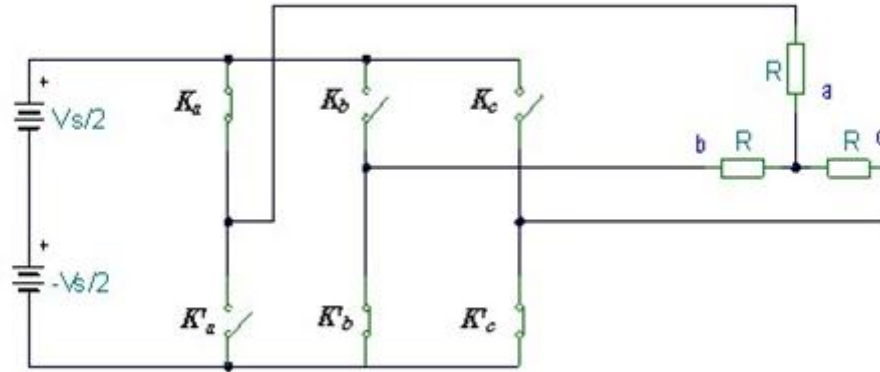
$$V_{an} = V_{cn} = i_1 \frac{R}{2} = \frac{V_s}{3}$$

$$V_{bn} = -i_1 \cdot R = -\frac{2V_s}{3}$$



II-2-2 Mode II: $\omega t = [60^\circ - 120^\circ]$

Les transistors en conduction sont: K_a, K'_c, K'_b .

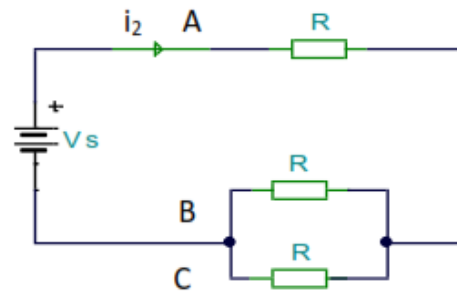


$$R_{eq} = \frac{R}{2} + R = \frac{3}{2}R$$

$$i_2 = V_s / R_{eq} = 2V_s / 3R$$

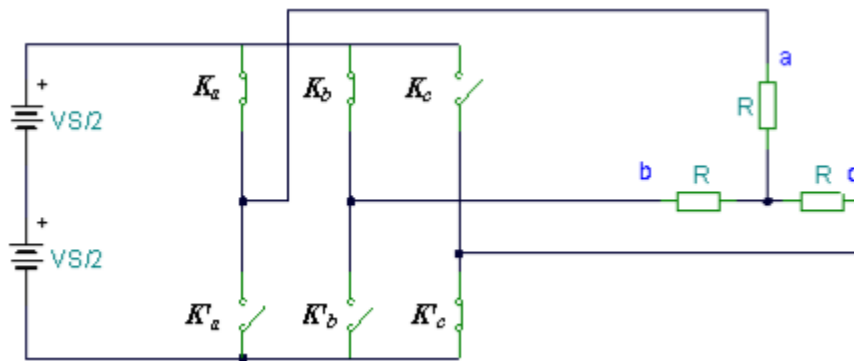
$$V_{an} = i_2 \cdot R = 2V_s / 3$$

$$V_{bn} = V_{cn} = -i_2 \cdot R / 2 = -V_s / 3$$



II-2-3 Mode III: $\omega t = [120^\circ - 180^\circ]$

Les transistors en conduction sont: K_a, K'_c, K_b .

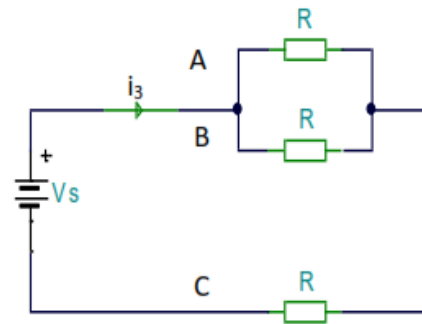


$$R_{eq} = \frac{R}{2} + R = \frac{3}{2}R$$

$$i_3 = V_s / R_{eq} = 2V_s / 3R$$

$$V_{an} = V_{bn} = i_3 \cdot R_{eq} = V_s / 3$$

$$V_{cn} = -i_3 \cdot R = -2V_s / 3$$



La tension instantanée composée V_{ab} est exprimé en série Fourier sachant que V_{ab} est déplacée $\pi/6$, les termes $\cos n\omega t = 0 \rightarrow a_n = 0$ parce que l'équation est symétrique. La courbe est symétrique donc $a_n = 0$ et on peut intégrer dans la moitié de la période ou le quart de la période :

$$V_{ab} = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos(n\omega t) + b_n \sin(n\omega t)$$

$$b_n = \frac{2 \times 4}{T} \int_0^{T/4} V_s \sin n\omega t dt = \frac{4V_s}{n\pi} \cos n\pi/6$$

$$V_{ab} = \sum_{n=1,3,5..}^{\infty} \frac{4V_s}{n\pi} \cos n\pi/6 \sin n(\omega t + \pi/6)$$

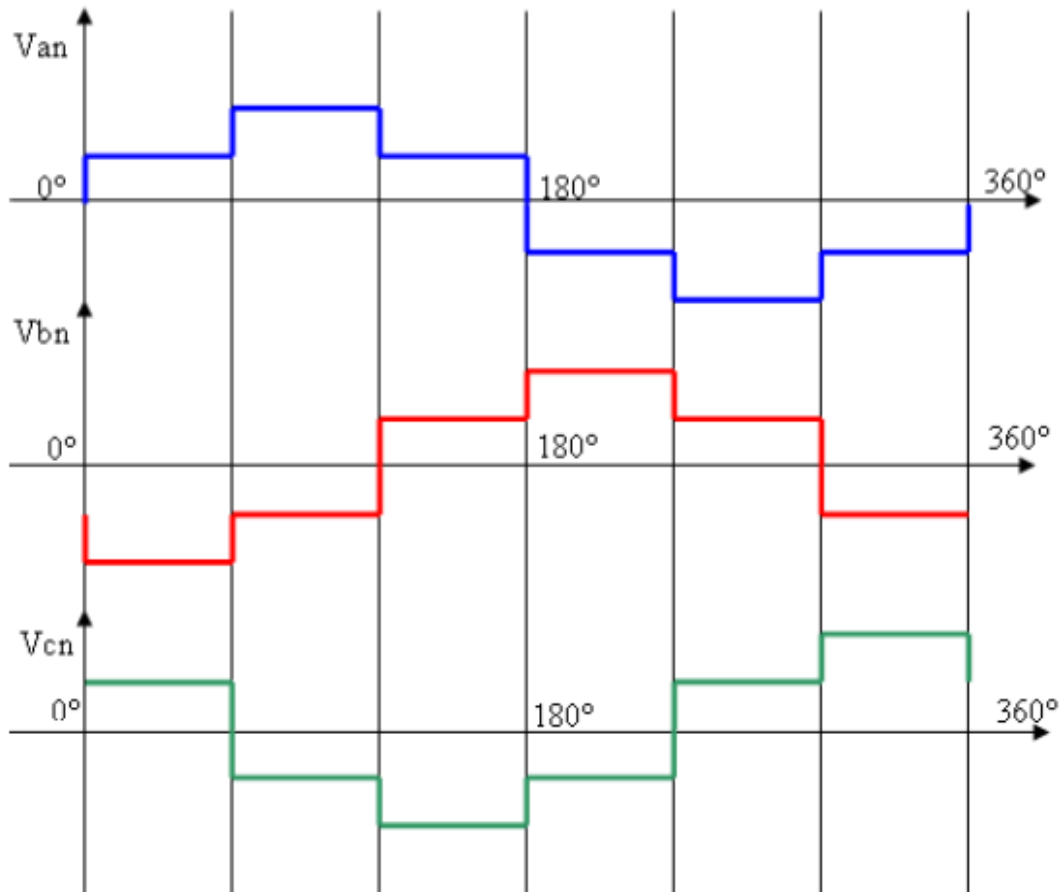
$$V_{bc} = \sum_{n=1,3,5..}^{\infty} \frac{4V_s}{n\pi} \cos n\pi/6 \sin n(\omega t - \pi/2)$$

$$V_{ca} = \sum_{n=1,3,5..}^{\infty} \frac{4V_s}{n\pi} \cos n\pi/6 \sin n(\omega t - 7\pi/6)$$

Il est noté que d'après l'équation de V_{ab} , V_{bc} et V_{ca} quelles harmoniques multiple de trois sont égale à zéro.

Pour les tensions composées la valeur efficace de la tension composée est:

$$V = \left[\frac{2}{2\pi} \int_0^{\infty} V_s^2 d\omega t \right]^{1/2} = 0.81 V_s$$



Figure(II-2) Les tensions de sortie de l'onduleur à commande 180°

II.3 Modulation de Largeur d'Impulsion Sinus-Triangle

La modulation de largeur d'impulsion est réalisée par la comparaison d'une onde modulée basse fréquence (tension de référence) avec une onde porteuse haute fréquence de forme triangulaire. Les instants de commutation sont déterminés par les points d'intersections entre la porteuse et la modulante, la fréquence de commutation des interrupteurs est fixée par la porteuse.

En triphasé, trois références sinusoïdales déphasés de $(2\pi/3)$ à la même fréquence f .

Comme à la sortie de l'onduleur, la tension n'est pas purement sinusoïdale, donc elle comporte des harmoniques, seules responsables des parasites ce qui engendre des pertes supplémentaires. Cette MLI sert à remédier ces problèmes et elle a les avantages suivantes:

1. Variation de la fréquence de la tension de sortie.
2. Elimination de certaines harmoniques de tension.

Le principe de cette stratégie peut être résumé par l'algorithme suivant:

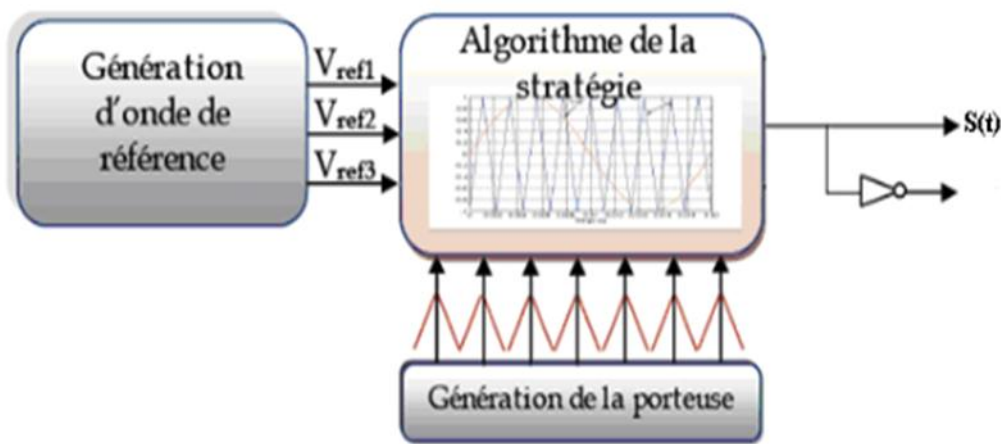


Figure II.3 Principe de l'MLI Sinus-Triangle

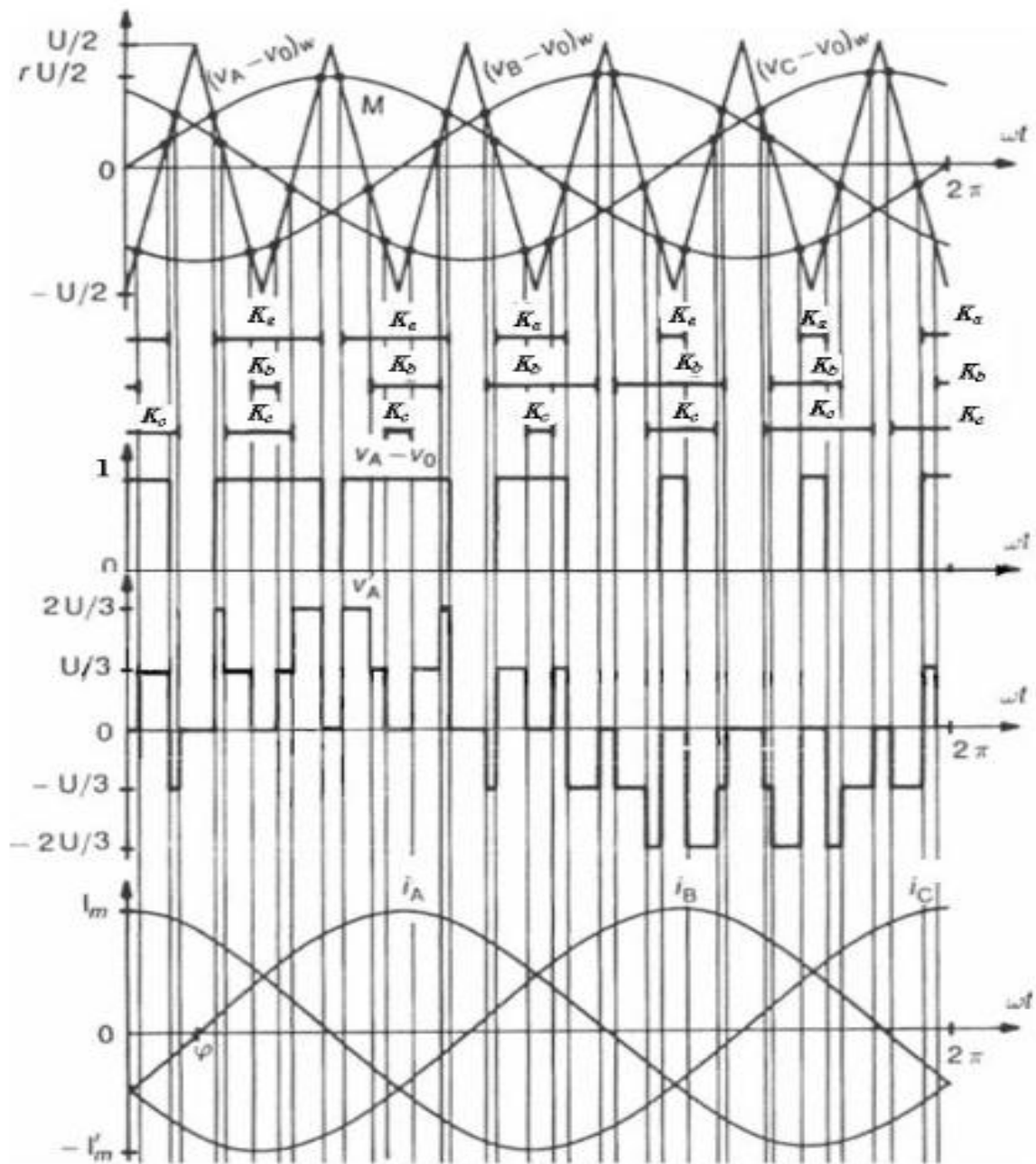
$$U_r \geq U_p \Rightarrow S(t) = 1 \text{ si } \text{non } s(t) = 0$$

Avec:

U_r : Tension de référence.

U_p : Tension de porteuse

$S(t)$: est le signal MLI résultant.



Figure(II-4) La création des signaux des impulsions et des tensions

Si la référence est sinusoïdale, on utilise deux paramètres caractérisant la MLI:

- L'indice de modulation «m» qui est l'image du rapport de fréquence de la porteuse f_p sur la fréquence de référence f .

$$\left(m = \frac{f_p}{f} = \frac{T_{réf}}{T} \right)$$

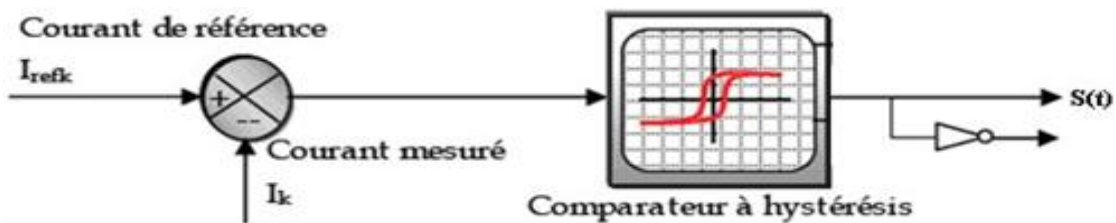
Le taux de modulation (le coefficient de réglage) «r» qui est l'image du rapport des amplitudes de tension de la référence $V_{mréf}$ sur la tension de la porteuse V_{mp} .

$$\left(\frac{V_{mréf}}{V_{mp}}\right)$$

II.4 Commande par hystérésis

La commande par hystérésis, appelée aussi commande en tout ou rien, est une commande non linéaire qui utilise l'erreur existante entre le courant de référence et le courant produit par l'onduleur, cette erreur est comparée à un gabarit appelé bande d'hystérésis.

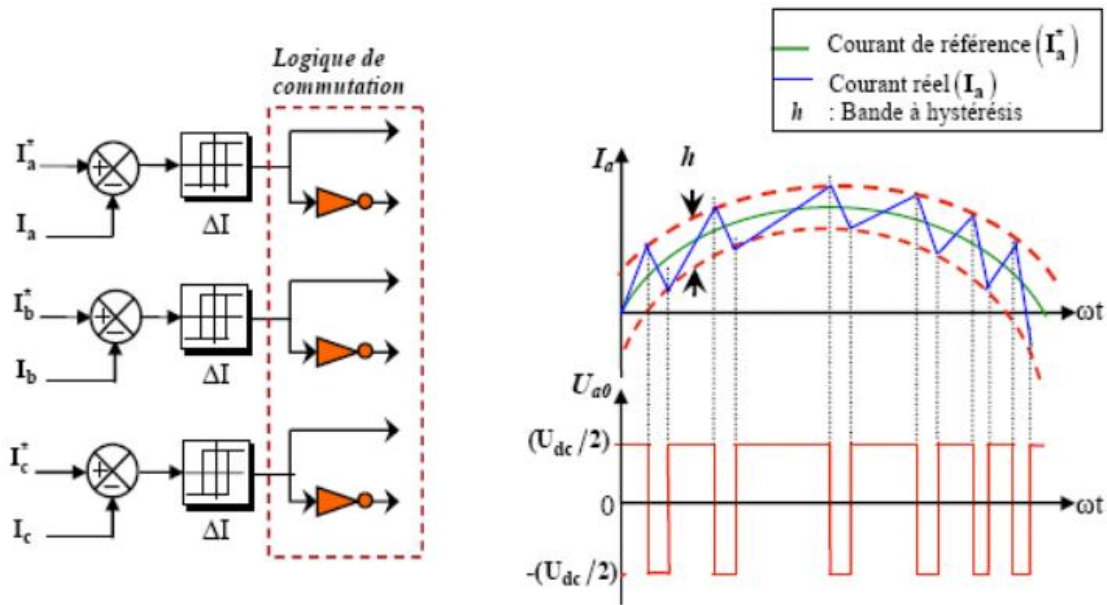
L'approche la plus simple utilisée pour cette fin, est la stratégie de contrôle qui réalise la comparaison entre courant de phase mesuré et le courant de référence (Fig.II-4), à l'aide d'un comparateur à hystérésis. Celui-ci produit des impulsions d'amorçage et de blocage des interrupteurs de l'onduleur, de façon à limiter le courant de phase dans une bande d'hystérésis autour du courant de référence (Figure(II-5)).



Figure(II-5) Schéma de principe du contrôle par hystérésis d'un bras de l'onduleur

De ce fait, les conditions de commutation des trois Interrupteurs statiques $K_i(i=a,b,c)$ de l'onduleur sont définies en terme des états logiques correspondants à la façon suivante:

$$\begin{aligned}
 K_i &= +1 & \text{si} & & I_i^* - I_i > \Delta i. \\
 K_i &= 0 & \text{si} & & I_i^* - I_i < \Delta i. \\
 K_i &= -K_{i-1} & \text{si} & & I_i^* = I_i
 \end{aligned}$$



Figure(II-6) Commande par Hystérésis.

Tels que:

I_i ($i=a,b,c$) sont les courants des phases statoriques (I_a, I_b, I_c).

I^*_i ($i =a,b,c$) sont les courants de références issus des circuits de commande des trois bras.

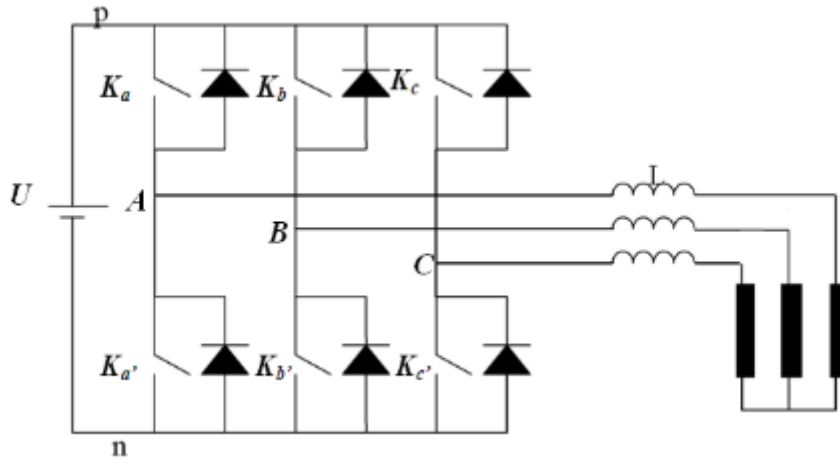
h :est la bande d'hystérésis, elle est choisie de façon à ne pas dépasser la fréquence de commutation admissible des semi-conducteurs contrôlés et à minimiser suffisamment les harmoniques de courant.

I.5 Modulation Par MLI Vectorielle

I.5.1 Introduction

Dans ce qui suit, on a le schéma représentatif de la topologie d'un onduleur Triphasée de tension donnée par la figure (II-7).

On considère que les interrupteurs sont idéaux et présentent deux états possibles : fermé (**off**) ou ouvert (**on**).

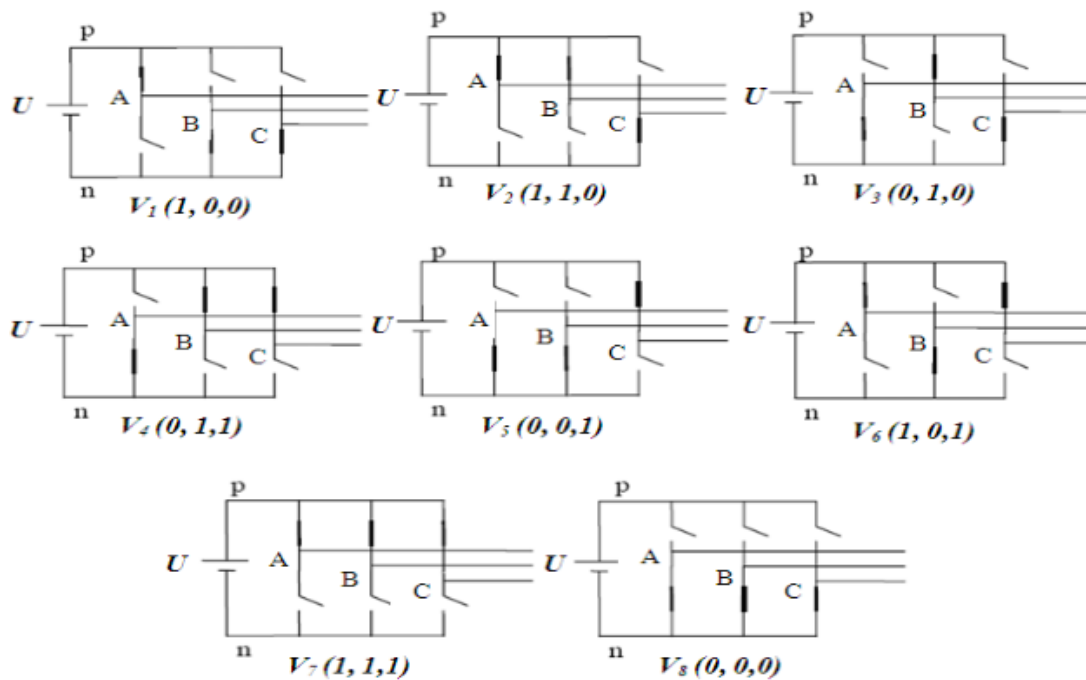


Figure(II-7) La topologie d'un onduleur triphasé de tension.

On considère que les interrupteurs de chaque bras sont commandés par deux signaux complémentaires. Ainsi, on a besoin de trois signaux logiques (K_a , K_b et K_c) pour commander les six interrupteurs formant l'onduleur.

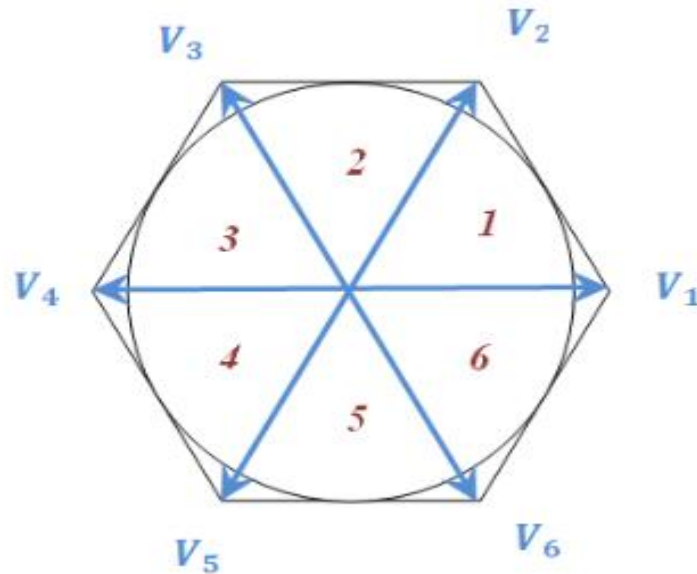
Toutefois, dans la pratique il faut prévoir un délai entre les deux signaux pour ne pas court-circuiter la source U .

La figure (II-8) fait le lien entre les différentes séquences, les vecteurs des tensions Et l'état des interrupteurs formant l'onduleur :



Figure(II-8) les huit états topologies de l'onduleur triphasé.

Pour expliquer le principe de la modulation par la méthode vectorielle, on fait appel au schéma suivant figure(II-9):



Figure(II-9) Représentation vectorielle des tensions générées par l'onduleur. Puisque chaque interrupteur a deux états (**ouvert** ou **fermé**), ce qui donne donc $2^3=8$ combinaisons possibles représentées par huit vecteurs :

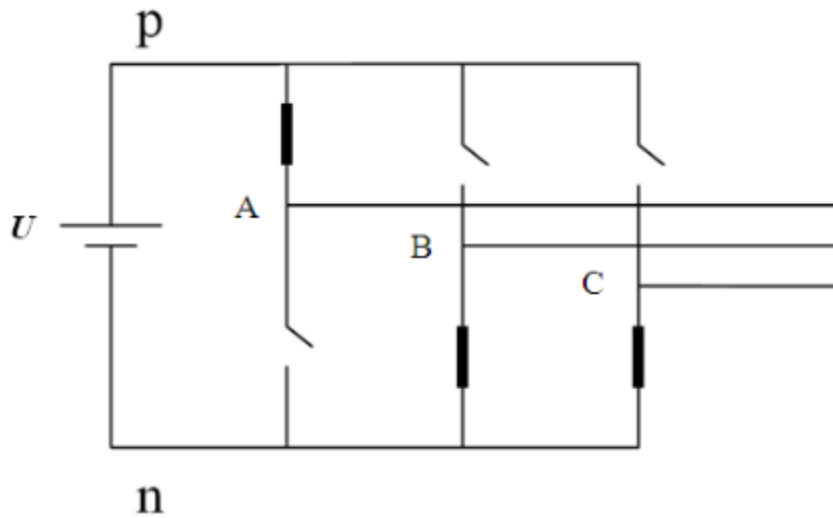
- Six vecteurs principaux(1 à6) actif, la tension est appliquée aux bornes de la charge.
- Deux vecteurs de roues libres (8 et 7) in actif, pas de tension aux bornes de la charge.

Les six vecteurs principaux sont déphasés, l'un par rapport à l'autre, de $(\pi/3)$ formant ainsi six sections(triangles). Chaque vecteur correspond à une **séquence** bien définie composée de trois variables logiques qui pilotent instantanément les trois bras de l'onduleur.

I.5.2 Les vecteurs spatiaux de tension

La modulation des vecteurs spatiaux **SVM** pour un onduleur de tension est basée sur la représentation vectorielle des tensions triphasées dans un plan bidimensionnelle (α,β) .

Considérant la **topologie 1** de la figure (II-8), qui est répétés dans la figure(II-10(a)):



Figure(II-10(a)) Topologie 1 – V1(1,0,0) de l'onduleur triphasé.

Les tensions composées (U_{AB} , U_{BC} , U_{CA}) sont données par :

$$\begin{cases} U_{AB} = U \\ U_{BC} = 0 \\ U_{CA} = -U \end{cases} \quad (\text{II} - 1)$$

Ces valeurs peuvent être représentés dans la plan (α, β)comme elles sont montrées dans la figure (II-10(b)), où les tensions (U_{AB} , U_{BC} , U_{CA}) sont les vecteurs des tensions composées décalées entre eux de 120° dans l'espace.

Le vecteur efficace de tension produit par cette topologie est représenté comme VI (pnn) dans la figure(II-10(b)). Ici le pnn de «notation» se rapporte aux trois bras des phases (a, b, c) étant relié à la **borne positive** de la source de tension continue(p) ou à la **borne négative** de la source de tension continue(n).

Ainsi le pnn indique que la phase(a) étant relié à la **borne positive**(p) et les phases (b et c) étant reliés à la **borne négative** (n).

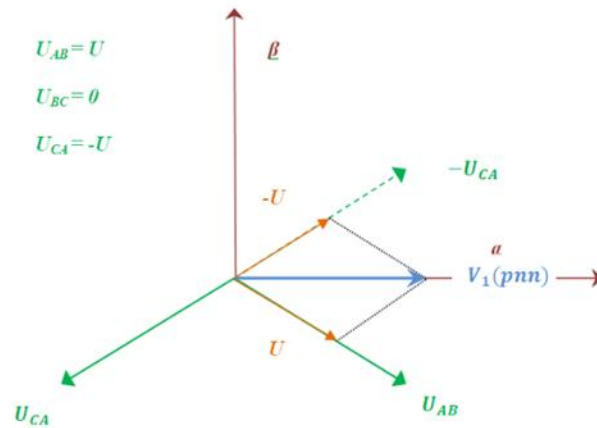


Figure (II-10(b)) Représentation de la topologie 1 dans le plan (α, β) .

La même méthode à suivre pour les autres topologies, les six vecteurs différents de zéro de tension (V_1 à V_6) sont représentés sur les positions montrées dans la figure (II-11-(a)).

Les têtes de ces vecteurs forment un hexagone régulier (ligne pointillée dans la Fig. (II-11-(a))).

Nous définissons le secteur limité par deux vecteurs adjacents dans l'hexagone, comme secteur. Ainsi, il y a six secteurs numérotés de (1 à 6) ;

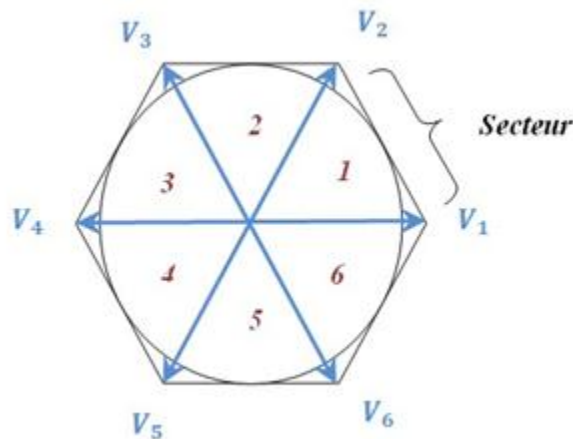


Figure (II-11-(a)) Représentation des vecteurs de tension différents de zéro dans le plan (α, β) . Considérant les deux dernières topologies de la figure (II-8) qui sont répétées dans la figure (II-11(b)).

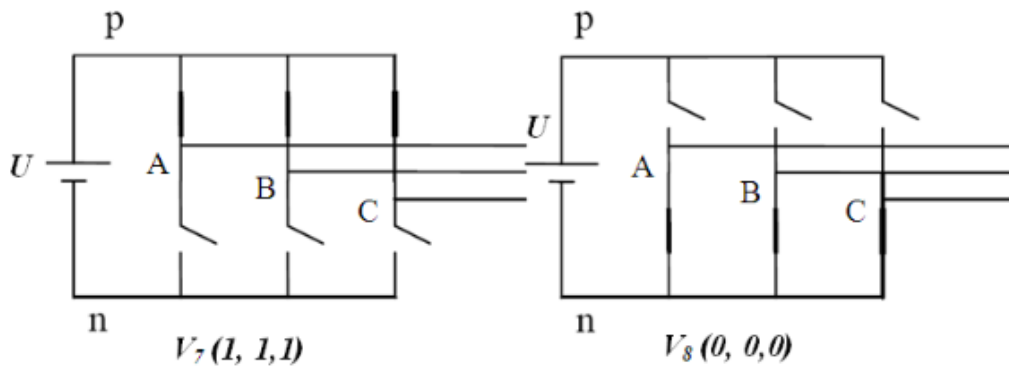


Figure (II-11-(b)) Les deux topologies de l'onduleur V7 et V8

Les vecteurs des tensions de sortie produit par ces topologie sont données par :

$$\begin{cases} U_{AB} = 0 \\ U_{BC} = 0 \\ U_{CA} = 0 \end{cases} \quad (\text{II} - 2)$$

Ces vecteurs de tension sont représentés par des vecteur ayant des amplitudes nulles et par conséquent, ils sont désignés sous le nom des vecteurs de tension nulle ou des vecteurs à roues libres.

Ils sont positionnés à l'origine du plan (α, β) comme montré sur la figure (I-12). Les vecteurs (V1 à V8) sont appelés les vecteurs d'état de commutation.

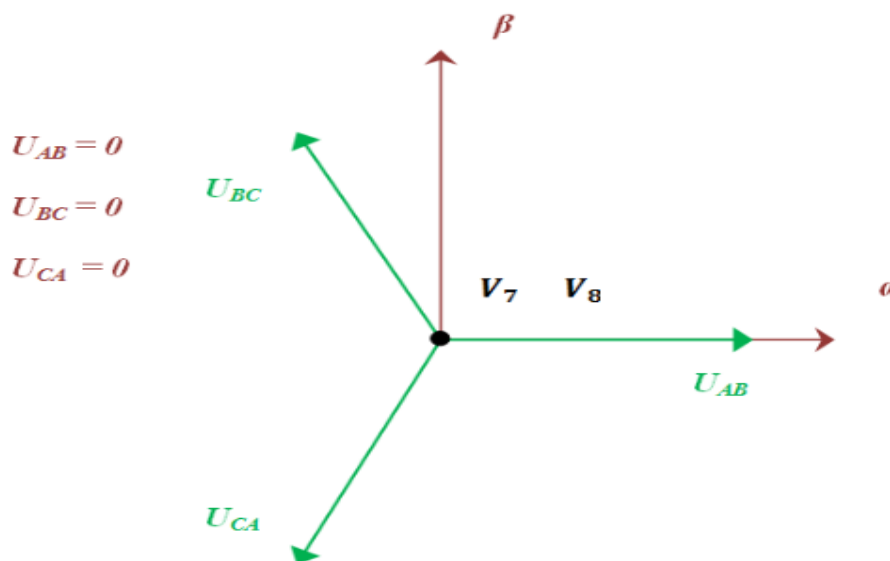


Figure (II-12) Représentation des vecteurs de tension nulle dans le plan (α, β) .

I.5.3 Modulation du vecteur spatial

Les trois tensions désirées à la sortie de l'onduleur sont représentées par un vecteur Equivalent V_{ref} tournant dans la direction antihoraire comme montré dans la figure (II-13(a)).

L'amplitude de ce vecteur est liée à l'amplitude de la tension de sortie figure (II-13(b)) et le temps que ce vecteur prend pour accomplir une rotation complète est identique au temps de la période de la tension fondamentale de sortie.

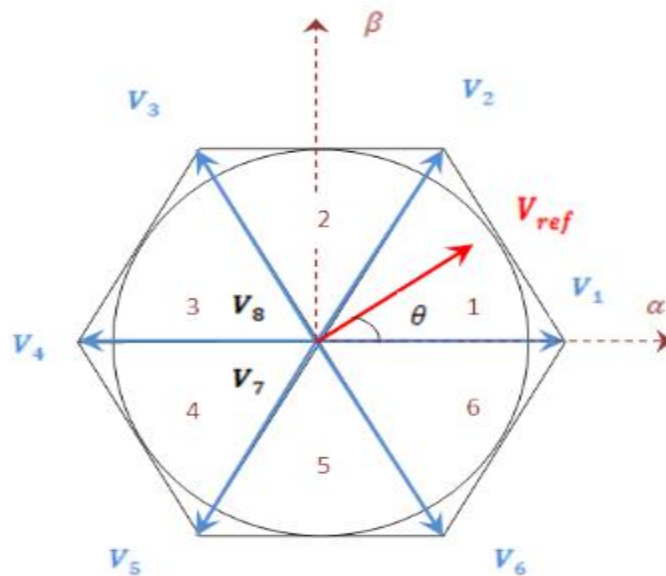


Figure (II-13(a)) Le vecteur de tension de sortie dans le plan (α, β) .

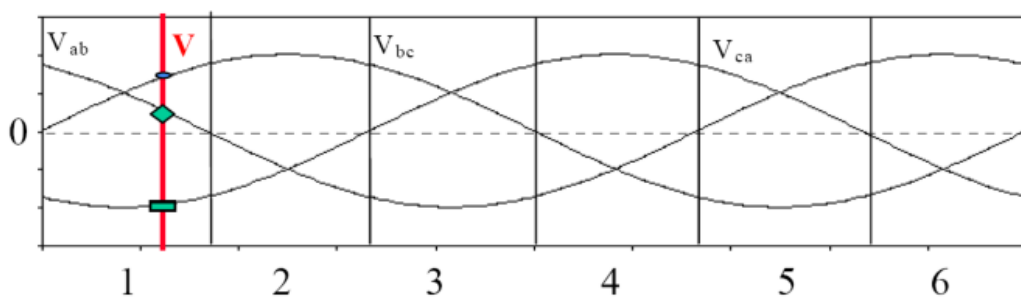


Figure (II-13(b)) L'amplitude de la tension de sortie.

Considérons la situation quand le vecteur de tension composé (tension entre phases) V_{ref} désiré à la sortie de l'onduleur est dans le secteur 1 comme illustré dans la figure (II-14). Ce vecteur, peut être synthétisé par la modulation de largeur d'imputions (PWM) des deux vecteurs adjacent (SSV) V_1 (pnn) et V_2 (ppn) le temps d'utilisation de chacun étant respectivement T_1 et T_2 , et le vecteur nul (V_7 (nnn) ou V_8 (ppp) ayant un temps d'utilisation T_0 :

$$T_1 \times V_1 + T_2 \times V_2 + T_0 \times V_0 = T_m \times V_{réf} \quad (\text{II-3})$$

Avec:

$$V_{réf} = V_\alpha + jV_\beta$$

Et:

$$\frac{T_1}{T_m} + \frac{T_2}{T_m} + \frac{T_0}{T_m} = 1$$

Où:

$$T_1 + T_2 + T_0 = T_m \quad (\text{II-4})$$

θ : l'angle instantané du vecteur de référence.

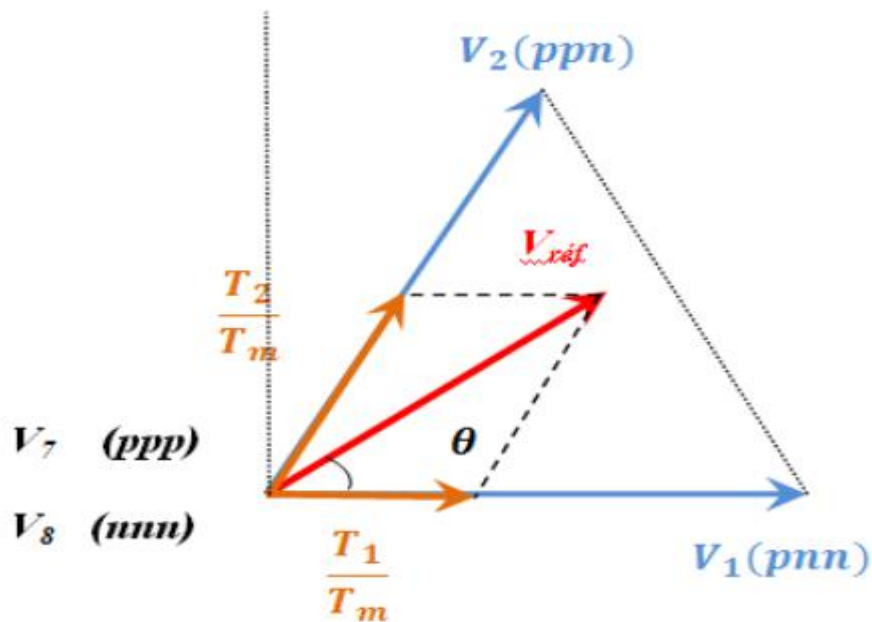


Figure (II-14) Projection du vecteur de tension dans le secteur n°1.

Les coefficients d'utilisation $\frac{T_1}{T_m}$, $\frac{T_2}{T_m}$, $\frac{T_0}{T_m}$, sont déterminés uniquement à partir de la figure (II-14), et les formules (II-3) et (II-4).

Les degrés de libertés que nous avons pour choisir un algorithme de modulation donné sont:

- Le choix du vecteur zéro : si nous voudrions employer V7 (ppp) ou V8(nnn) ou tous les deux en même temps.
- Séquencement des vecteurs.

Quatre algorithmes de modulation de la M.L.I Vectorielle (SV-PWM) sont considérés, à savoir :

- La séquence alignée à droite (SVM1) (Right aligned sequence).
- La séquence symétrique (SVM2) (Symmetric Sequence).
- La séquence alternante de vecteur nul (SVM3) (alternating ZeroVector Sequence)
- La séquence non commuté de courant le plus élevé (SVM4) (high est Current Not-Switched Sequence)

Chapitre III

Modélisation de l'onduleur de tension

III -1- Introduction

La modélisation de l'onduleur de tension permet de donner une vue mathématique de leur principe de fonctionnement, c'est-à-dire grâce à cette vue on peut comprendre bien leur fonctionnement.

La grande importance de ce modèle mathématique c'est la simulation numérique de l'onduleur, et l'association onduleur-moteur, par ce que la simulation numérique est une simulation analogique sa réalisation est faite par logiciel exécuté par un ordinateur, donc on a besoin d'un modèle mathématique.

III-2- Représentation de la structure d'onduleur de tension

L'onduleur de tension est constitué de trois bras de commutation à transistors ou à thyristors. Chaque bras composé de deux cellules comportant chacune une diode et un transistor ou un thyristor. Tous ces éléments sont considérés comme des interrupteurs idéaux.

En mode commandable, le bras est un commutateur à deux positions qui permet d'obtenir à la sortie deux niveaux de tension.

Un bras de l'onduleur est représenté par la **figure (III.1)**.

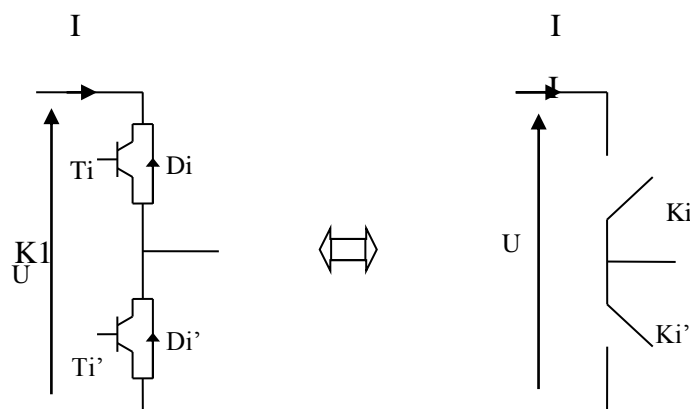


Figure III.1 Schéma d'un bras de l'onduleur de tension

Schéma équivalent de l'onduleur est représenté par la **figure (III.2)**.

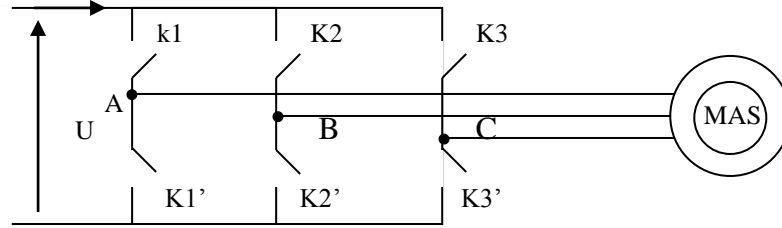


Figure III.2 Schéma équivalent de l'onduleur de tension

III-3- Modélisation de l'onduleur de tension

L'onduleur est modélisé en associant à chaque bras une fonction logique $F_i (i=1, 2, 3, 4, 5, 6)$

$$F_i = \begin{cases} +1 & \text{si } T_i \text{ est fermé, } T'_i \text{ est ouvert} \\ 0 & \text{si } T_i \text{ est ouvert, } T'_i \text{ est fermé} \end{cases}$$

Ainsi les tensions

$$V_{AB1} = V'_{A1} - V'_{B1} = U(F_1 - F_2) \quad (III.1)$$

$$V_{BC1} = V'_{B1} - V'_{C1} = U(F_2 - F_3) \quad (III.2)$$

$$V_{CA1} = V'_{C1} - V'_{A1} = U(F_3 - F_1) \quad (III.3)$$

$$V_{AB2} = V'_{A2} - V'_{B2} = U(F_4 - F_5) \quad (III.4)$$

$$V_{BC2} = V'_{B2} - V'_{C2} = U(F_5 - F_6) \quad (III.5)$$

$$V_{CA2} = V'_{C2} - V'_{A2} = U(F_6 - F_4) \quad (III.6)$$

Dans l'hypothèse on a les tensions V'_A, V'_B, V'_C forment un system de tension triphasée équilibrée alors :

De (III.1) et (III.2) on trouve

$$V'_{B1} = \frac{U}{3}(2F_2 - F_1 - F_3) \quad (III.7)$$

De (III.2) et (III.3) on trouve

$$V'_{C1} = \frac{U}{3}(2F_3 - F_1 - F_2) \quad (\text{III.8})$$

De (III-1) et (III-3) on trouve

$$V'_{A1} = \frac{U}{3}(2F_1 - F_2 - F_3) \quad (\text{III.9})$$

De même procédé on trouve :

$$V'_{B2} = \frac{U}{3}(2F_5 - F_4 - F_6) \quad (\text{III.10})$$

$$V'_{C2} = \frac{U}{3}(2F_6 - F_4 - F_5) \quad (\text{III.11})$$

$$V'_{A2} = \frac{U}{3}(2F_4 - F_5 - F_6) \quad (\text{III.12})$$

Donc :

$$\begin{bmatrix} V'_{A1} \\ V'_{B1} \\ V'_{C1} \end{bmatrix} = \frac{U}{3} \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} V'_{A2} \\ V'_{B2} \\ V'_{C2} \end{bmatrix} = \frac{U}{3} \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} F_4 \\ F_5 \\ F_6 \end{bmatrix}$$

Chapitre IV

Simulation et interprétation des résultats

IV.1 Introduction

Le principe est semblable à celui utilisé pour la simulation analogique mais tout ce qui était réalisé avec du "matériel" sera remplacé par un logiciel exécuté par un ordinateur.

Le réglage des paramètres effectué à l'aide du clavier est beaucoup plus aisé que sur les simulateurs analogiques, une liaison "physique" avec l'extérieur est possible grâce aux cartes de conversion analogique numérique d'entrée et numérique de sortie.

IV. 2 Avantage de la simulation numérique

Grâce aux performances des logiciels par exemple Matlab, Matrix, Syssi,..., nous permet de simuler les modèles non linéaires, ces logiciels permet aussi de :

- Tracer le schéma fonctionnel sur l'écran de l'ordinateur.
- Entrer en mémoire les valeurs des coefficients des fonctions de transfert.
- Simuler les entrées.
- Enregistrer les grandeurs significatives.
- Tracer les réponses temporelles ou fréquentielles à l'écran puis les sortir sur "papier" à l'aide d'une imprimante en mode graphique.

Dans notre étude nous avons utilisé le logiciel **MATLAB** pour la simulation de l'onduleur à MLI et l'association onduleur-moteur.

IV.3 Présentation de l'environnement MATLAB/SIMULINK™

MATLAB est un logiciel destiné principalement au calcul scientifique, à la modélisation et à la simulation. Le noyau de calcul est associé à l'environnement SIMULINK, permettant une modélisation basée sur des schémas-blocs.

Des bibliothèques spécialisées sont disponibles (les "Toolboxes") pour la plupart des domaines scientifiques nécessitant des moyens de calcul importants : automatique, traitement de signal, mathématiques appliquées, télécommunications, etc.

Des modules temps réel, développés autour des produits dSPACE (Real Time Interface, TRACE, COCKPIT) sont également proposés et rendent l'environnement de travail particulièrement attractif :

l'utilisateur dispose en effet de tous les outils nécessaires à l'élaboration d'une application sur procédé réel, de la simulation à la supervision.

Les simulations proposées sont réalisées sous MATLAB version 6.5. Le passage aux versions 7 nécessite quelques adaptations mineures.

IV.4 Commande sinusoïdale

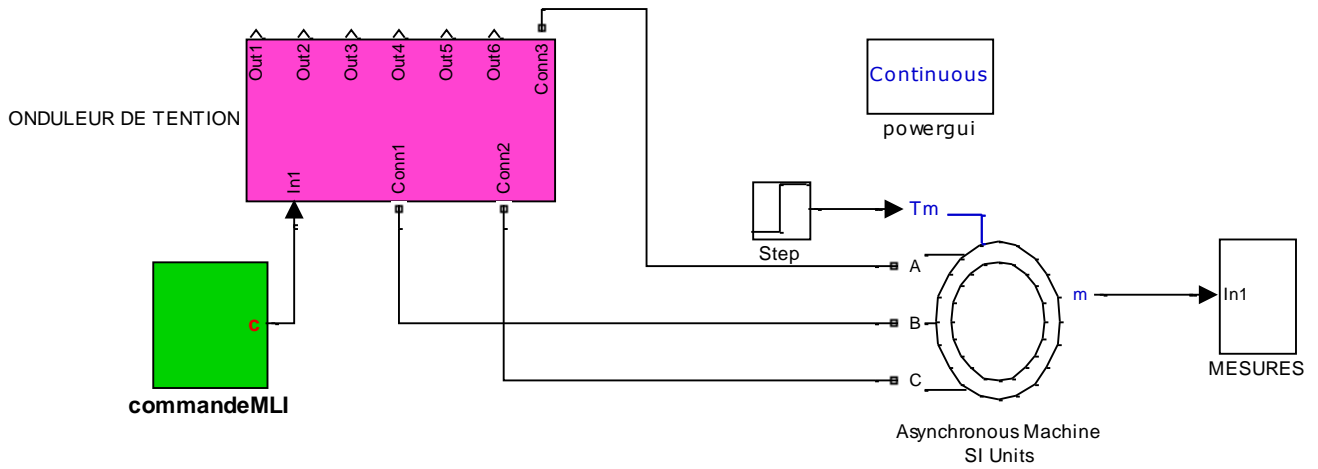


Figure IV.1 :Schéma block de commande sinusoïdale

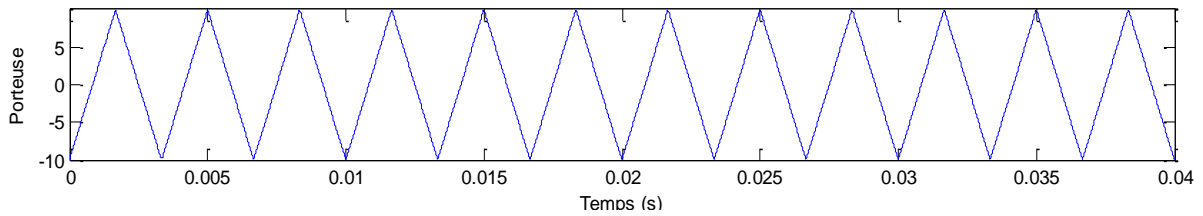


Figure IV.2 :Porteuse de MLI sinusoïdale

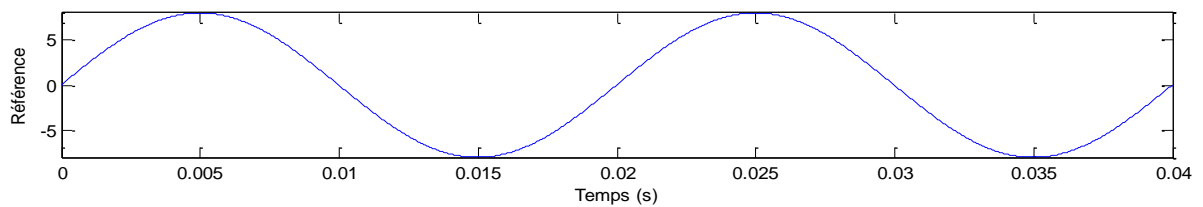


Figure IV.3 :Référence de MLI sinusoïdale

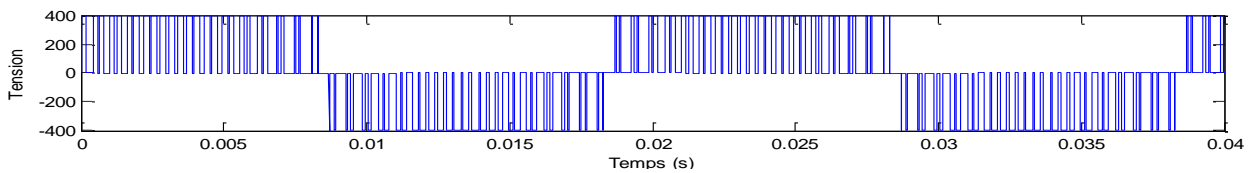


Figure IV.4 : Tension composé U_{AB} de MLI sinusoïdale

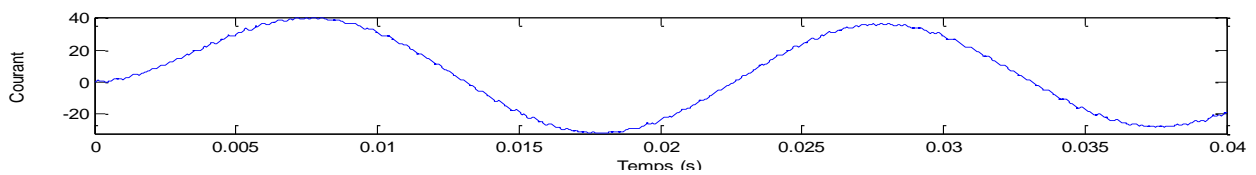


Figure IV.5 : Courant I_A de MLI sinusoïdale

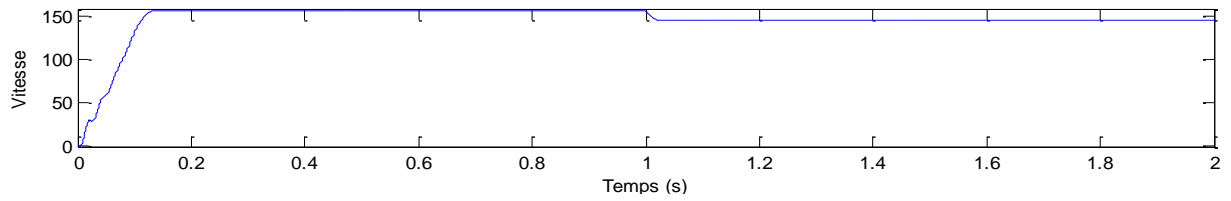


Figure IV.6 : Vitesse de rotation de MLI sinusoïdale

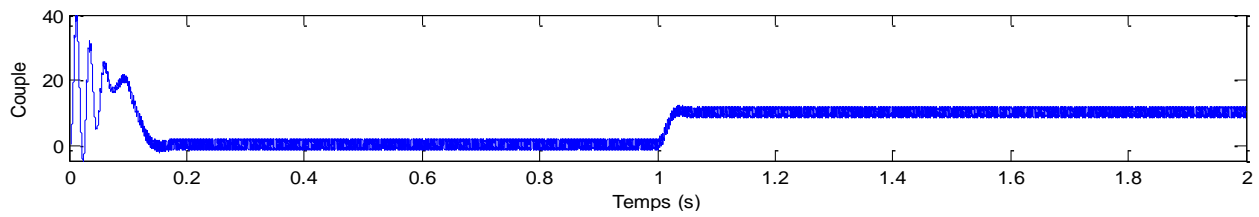


Figure IV.7 : Couple électromagnétique de MLI sinusoïdale

IV.5 Commande par hystérésis

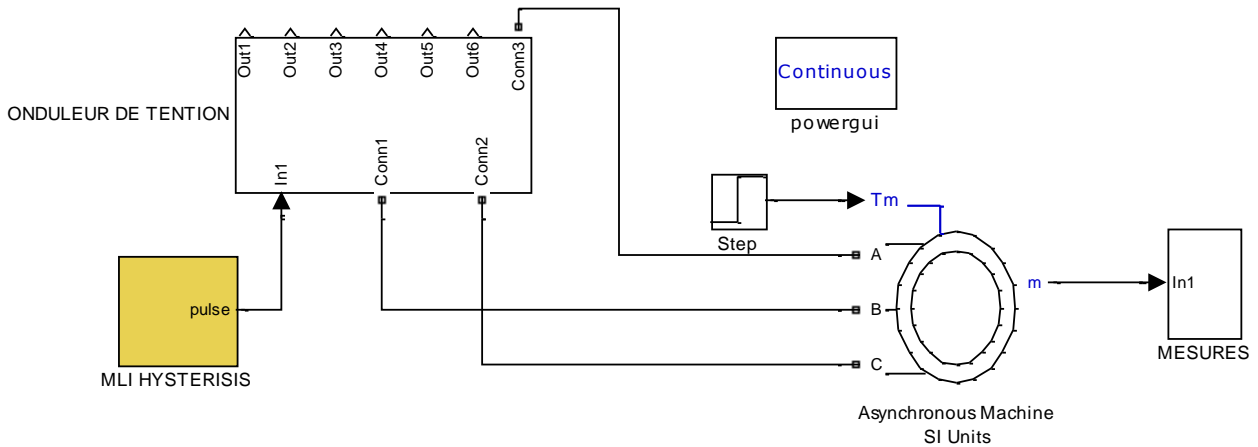


Figure IV.8 :Schéma block de Commande par hystérésis

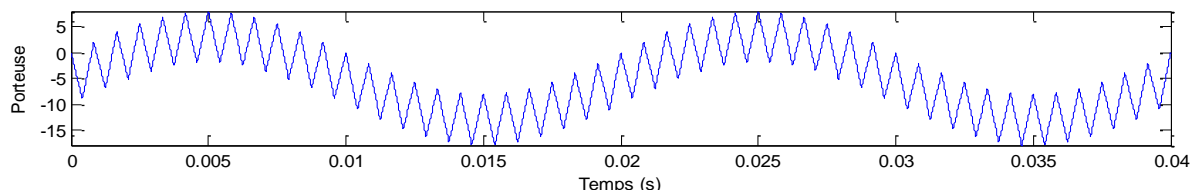


Figure IV.9 : Porteuse de MLI hystérésis

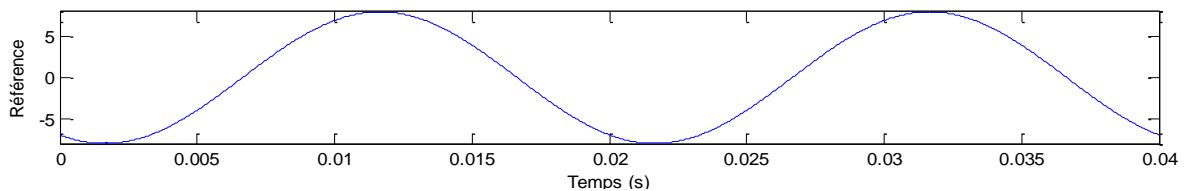


Figure IV.10 : Référence de MLI hystérésis

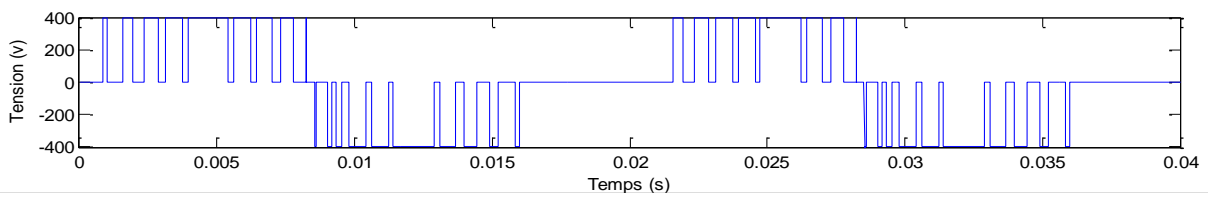


Figure IV.11 : Tension composé U_{AB} de MLI hystérésis

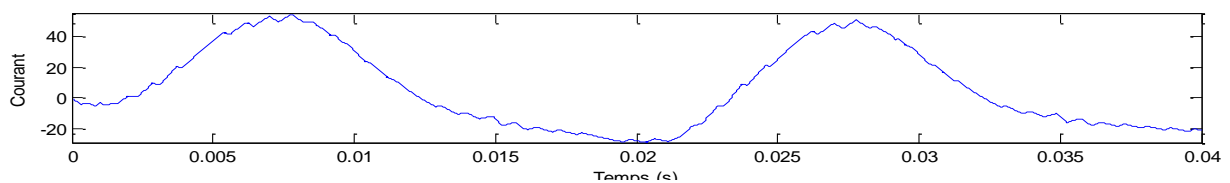


Figure IV.12 : Courant I_A de MLI hystérésis

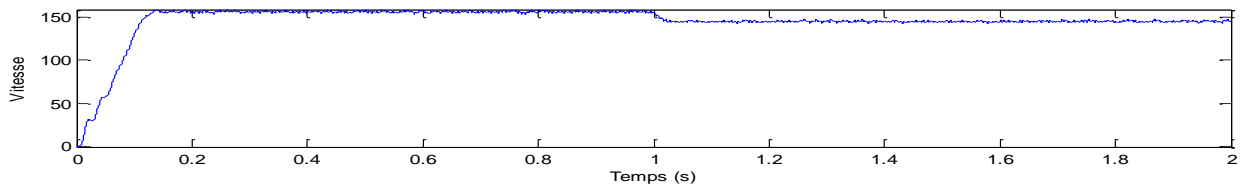


Figure IV.13 : Vitesse de rotation de MLI hystérésis

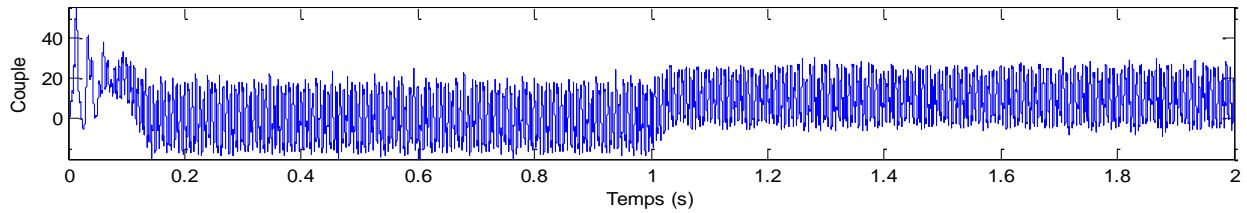


Figure IV.14 : Couple électromagnétique de MLI hystérésis

IV.6 Commande à MLI vectorielle

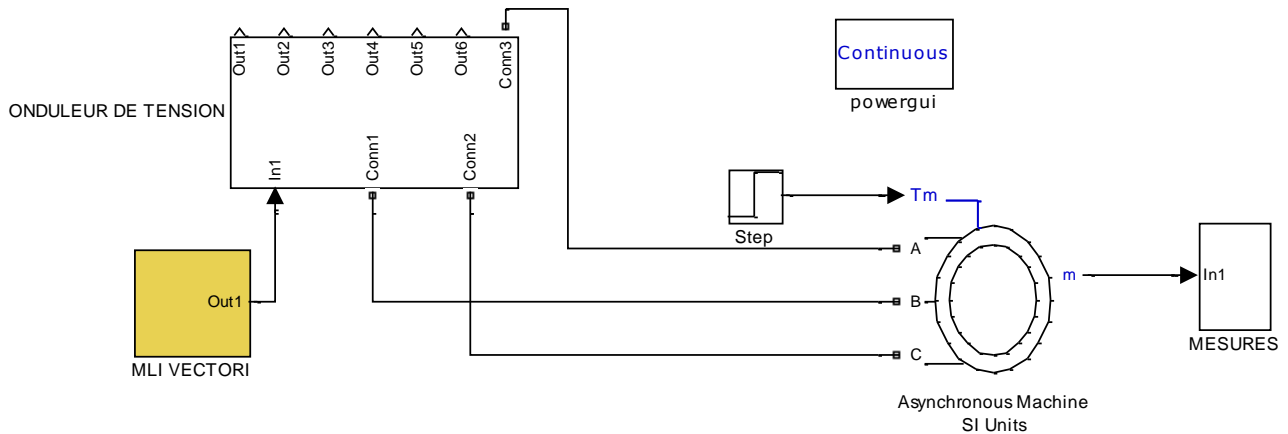


Figure IV.15 : Schéma block de Commande à MLI vectorielle

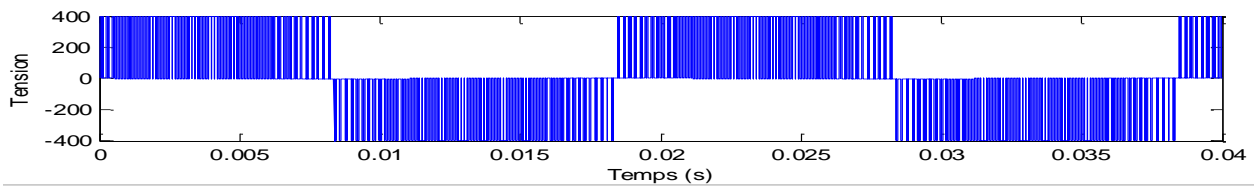


Figure IV.16 : Tension composé U_{AB} de MLI vectorielle

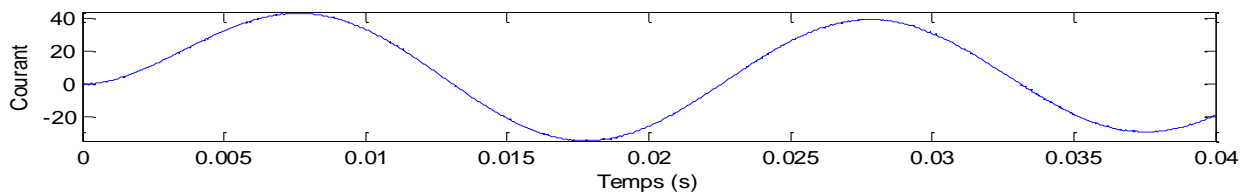


Figure IV.17 : Courant I_A de MLI vectorielle

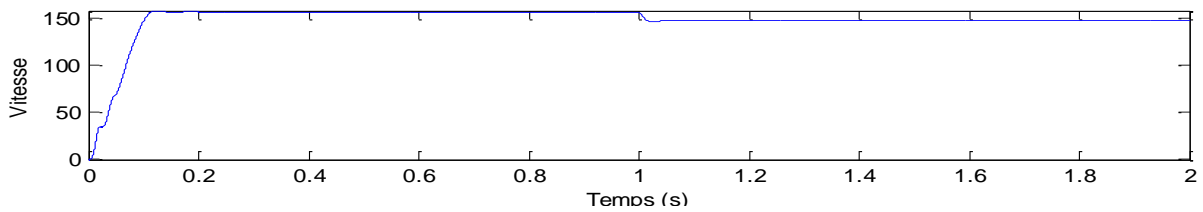


Figure IV.18 : Vitesse de rotation de MLI vectorielle

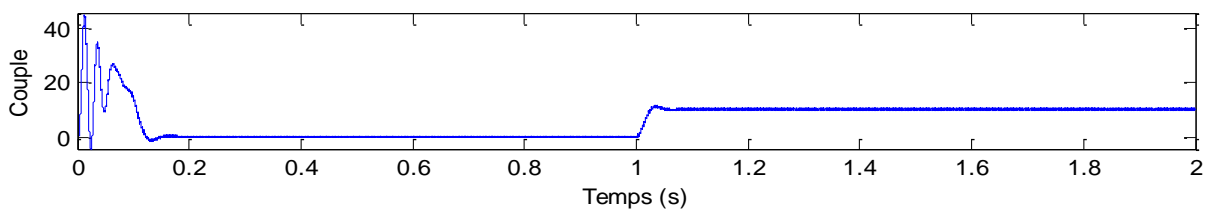


Figure IV.19 : Couple électromagnétique de MLI vectorielle

IV.7 Interprétation des résultats

Pour chaque stratégies de commande c'est-à-dire les trois système de commande on a les résultats des simulation numérique des grandeurs suivants :

- La porteuse et la référence.
- La tension composé.
- Le courant.
- La vitesse de rotation de la machine asynchrone.
- Le couple électromagnétique.

Les résultats des simulations numériques entre (0 et 1 seconde) présentes la réponse de la MAS à vide.

Les résultats des simulations numériques entre (1 et 2 seconde) présentes la réponse de la MAS en charge de 10 N.m.

Les résultats illustre que :

- Le courant de démarrage vaut 40 A et sa valeur normale atteinte 4.3 A après quelque instant. Mais plus riche d'harmonique pour la MLI par hystérésis par rapport à la MLI sinusoïdal, et en remarque que la réponse su le courant par la MLI vectorielle et moins perturbation harmonique que les MLI.
- Même remarque pour la tension composé soit le régime transitoire ou la présence des harmoniques.
- Le couple atteindre la valeur zéro après un temps de réponse (régime transitoire) de 0.18s mais aussi plus riche d'harmonique surtout de la MLI par hystérésis, par contre la couple de la MAS quand nous avons appliqué la MLI vectorielle est le plus stable et le moins perturbation.
- La vitesse, atteint sa valeur normale 157 rad/sec après un temps de réponse de 0.18s.
- A l'instant $t=1s$ en remarque que le temps de réponse de la MLI vectorielle est le plus rapide et le moins pic par rapport les deux autre stratégies.

Conclusion

On a présenté les différents stratégies de modulation pour la commande de l'onduleur, puis on a présentes la simulation numérique sous l'environnement **Matlab-Simulink**, premièrement à vide et en suite en charge à $t=1s$, nous avons montré que la modulation vectorielle est la plus adaptative et le moins perturbation.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Dans ce travail, nous avons présenté la simulation de quatre techniques de modulation de largeur d'impulsion (MLI) à savoir : la MLI sinusoïdale triangulaire, l'injection d'un harmonique 3 dans les tensions de référence, la MLI vectorielle et la modulation calculée.

Après une étude comparative de ces quatre techniques du point de vue de leur contenance en harmonique et taux de distorsion ainsi que le déchet de tension il s'avère que la MLI vectorielle et l'injection d'un harmonique 3 ont des performances meilleures par rapport aux autres techniques étudiées.

Les harmoniques dûs à la MLI sont de rang élevé (pour « m » élevé) comme on l'a vu, et ils génèrent donc des couples pulsatoires de fréquences élevées hors de la bande passante du système mécanique. Par contre les temps de garde font apparaître des harmoniques de rang faible, ils vont donc être à l'origine des couples pulsatoires perceptibles à basses fréquences cela nous conduit à déduire que la modulation calculée est meilleure du point de vue de temps de garde puisque les instants de commutations sont pré calculés et par conséquent les pertes par commutation diminuent.

La variation de la vitesse de la machine asynchrone en agissant sur la fréquence d'alimentation a montré que la MLI vectorielle et l'injection d'un harmonique 3 sont avantageuses par rapport aux autres techniques du point de vue diminution du temps de démarrage et couples pulsatoires.

L'association onduleur machine en boucle ouverte ou en boucle fermée (contrôle vectorielle) a montré la supériorité de la technique à MLI vectorielle du point de vue de diminution du temps de démarrage, réduction des couples pulsatoires et augmentation de la capacité de la machine.

La commande vectorielle permet d'imposer à la machine asynchrone des comportements semblable à la machine à courant continu ou à la machine synchrone dans lesquelles le flux n'est pas affecté par les variations du couple électromagnétique.

Les performances dynamiques obtenues par la commande de vitesse de la machine asynchrone sont très satisfaisantes.

Comme perspectives, nous pouvons proposer la continuité des études suivantes :

- Recherche d'autres techniques de commande qui permettent d'avoir une tension à la sortie la plus sinusoïdale possible.
- Etude comparative entre l'onduleur triphasé et à structure multi-niveau (cinq ou sept niveaux).
- Etude des performances de la conduite d'autres machines alternatives alimentées par ces deux types d'onduleurs.

Bibliographie

- [1] J.Bonal ,G.Séguier, ‘‘Entrainemnt électrique à vitesse variable-volume4-‘’,Technique & Documentation [2010].
- [2] G.Grellet,G.Glerc, ‘‘Actionneurs électriques’’, Edition Eyrolles [1997].
- [3] G.Séguier, ‘‘Electronique de puissance’’, Dunod, Paris [2009].
- [4] F.Labrique, G.Séguier, R.Bausiere, ‘‘Les convertisseurs de l’éelectronique de puissance -- volume4-, Technique & Documentation –Lavoisier [1995] .
- [5] L.Murtel, ‘‘Le moteur asynchrone’’, Ellipes Edition Marketing S.A [1999].
- [6] T.Wlidi, ‘‘Electrotechnique-3^e edition’’, De Boeck & larcier s.a [2000].
- [7] G.Faucher, J.P.Carno,J.P.Hauteir, ‘‘Modelisation et commande de la machine asynchrone’’, France Octobre [1995].
- [8] Philippe Barret, ‘‘Regime transitoire des machines tournants électriques’’, Edition Eyrolles [1987].

Résumé

Modification de la vitesse de moteurs électriques a été parmi les principaux objectifs de ces dernières années et de voir ce développement technologique a été témoin par des échanges statiques et qui représentent la composante principale de tout appareil électrique.

L'utilisation d'interrupteurs statiques lorsque vous exécutez les moteurs électriques pour atteindre un dispositif intégré de changer de vitesse tout en conservant les avantages du moteur asynchrone. Donc, il doit être un contrôle sophistiqué fournisseur vitesses changeur de manière jusqu'à ce qu'il devienne comparable à ceux utilisés dans le moteur à courant continu.

Les onduleurs de tension qui sont le plus largement utilisé dans le domaine industriel, l'utilisation et la maintenance.

L'étude est une comparaison des quatre techniques pour contrôler Les onduleurs de tension. Premier chapitre dédié à l'étude des types onduleur de tension soit deuxième chapitre est consacré à l'étude de diverses technologies de contrôle les onduleurs de tension troisième qui étudient le contrôle radiographique de la façon orientée flux soit le chapitre IV est une programmation spéciale différentes techniques les onduleurs de tension ensuite programmées quand ils courent résumé à chaque étape.

A la fin de cette étude, nous donnons résumé général avec l'analyse de tous les résultats obtenus.

Mots clés :

Onduleur de tension, MLI, Sinusoïdal, vectorielle, harmonique, hystérésis.

ملخص

ان تغيير سرعات المحركات الكهربائية كان من بين الاهداف الرئيسية في السنوات الاخيرة و هذا راجع للتطور التكنولوجي الذي تشهده المبدلات الساكنة و التي تمثل المكون الرئيسي لأي جهاز كهربائي.

إن استعمال المبدلات الساكنة عند تشغيل المحركات الكهربائية يحقق جهاز متكامل لتغيير السرعات مع الاحتفاظ بمزايا المحرك اللاتزامني، لذلك يجب ان يكون مغير السرعات مزود بطريقة تحكم متطورة حتى يصبح يضاهي مثيلاتها المستعملة في المحركات ذات التيار المستمر.

ان موجات التوتر هي الاكثر استعمالا في المجال الصناعي نظرا لمميزاتها المتعددة كالسعر، الاستعمال و الصيانة .

الدراسة عبارة عن مقارنة بين اربع تقنيات للتحكم في موجات التوتر، الفصل الاول مخصص لدراسة انواع موجات التوتر اما الثاني فهو مخصص لدراسة مختلف تقنيات التحكم في موجات التوتر اما الفصل الثالث يدرس طريقة التحكم الشعاعي للتدفق الموجه اما الفصل الرابع فهو خاص ببرمجة مختلف موجات التوتر ثم برمجتها عند تشغيلها.

في نهاية هاته الدراسة نعطي خلاصة عامة مع تحليل لكل النتائج المتحصل عليها .

كلمات مفتاحية:

موجات الجهد، الجيبية، ناقلات، التباطؤ، متناسق .