

République Algérienne Démocratique et Populaire

**Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la
Recherche Scientifique**

CENTRE UNIVERSITAIRE D'EL-OUED

INSTITUT DES SCIENCES ET TECHNOLOGIE

Mémoire de fin d'études

Présenté pour l'obtention du diplôme de

LICENCE ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et techniques

Filière: génie électrique

Spécialité : contrôle et diagnostic des
systèmes électriques

Thème

**Etude et simulation d'un onduleur triphasé
commandé par MLI sinusoïdale.**

Soutenu le 27 Juin 2009

Présenté par :

KHEZZANI Boubaker
KERTIOU Belgacem
ABANA Othman

Rédigé par:

Mr. ZELLOUMA Laid

شكر و تقدير

الحمد لله رب العالمين "خلق الإنسان علمه البيان" لك الحمد يا أرحم الراحمين ويا أحكم الحاكمين ويا قائما بالحق فوق الخلق أجمعين أحمدك بالمنطق واليقين وأصلي وأسلم على صفوتك من العالمين محمد طيب القلوب ودواؤها ونور البصائر وشفائها صلى الله عليه وسلم وعلى أصحابه الأبرار الطيبين ومن تبعهم بإحسان إلى يوم الدين.

نحمد الله على ما أولى من نعم وما وفقنا فيه من عمل نحمده ولا نحصي عليه ثناء كما أحصى على نفسه عليه توكلنا وإليه أنبنا وعلى الرغم من كل الصعوبات التي واجهتنا إلا أن ثمرة جهدنا قد خرجت إلى النور بتوفيق من الله وراعته فله عظيم الحمد وجزيل الشكر.

نتقدم بالشكر لكل من ساعدنا من قريب أو بعيد على إنجاز هذه المذكرة وخاصة الأستاذ المشرف: "زلومة العيد" كما نتوجه بجزيل الشكر لكل طلبة قسم السنة الثالثة علوم وتقنيات مسار مراقبة وتشخيص الأنظمة الكهربائية. كما نتقدم بالشكر إلى كل أساتذة ومديري المركز الجامعي بالوادي وخاصةً معهد العلوم والتكنولوجيا.

بورك فيكم يا أفاضل

الإهداء

إلى أعذب و أرق ما في الوجود أمل حياتي, علمتني أن الحياة حب
و صبر و صدق و كانت شمسا ساطعة أُمي
الحبيبة
إلى من كان وراء هذا النور جعلني أتخطى عتبات الحياة
و غرس في روح الطموح و ذاق الحلو و المر من
أجل نجاحي و سعادتي..... أبي العزيز
إلى من أقاسمهم الحياة حلوها و مرها و أخوتي
و أخواتي
إلى من أكن لهم أسماء معاني الحب و الاحترام
و التقدير إلى كل أفراد عائلة : عبه, كرثيو, خزاني,
كبيرهم و صغيرهم
إلى كل من تجمعني بهم صلة المحبة و
الإخلاص أعز أصدقائي
إلى حاملي مشعل العلم والأمل وساروا بنا على هذا
النهج من معلمي الأول
إلى كل طلبة السنة الثالثة هندسة كهربائية تخصص
تشخيص و مراقبة الأنظمة الكهربائية
نهدي ثمرة جهدنا

بورك راقاس و عثمان

Sommaire

Introduction Générale	02
Chapitre I : L'onduleur et son fonctionnement	03
I-1 Introduction	04
I-2 Les différents types d'onduleurs	04
I-2-1 Onduleur non autonome.....	04
I-2-2 Onduleur autonome	04
a- Onduleur autonome de courant	04
b- Onduleur de tension	04
I-3 Principe de fonctionnement de l'onduleur de tension	05
I-4 La qualité du signal	10
I-5 Modélisation de l'onduleur de tension	11
I-6 Conclusion	13
Chapitre II : Les différentes stratégies de modulation	14
II-1 Introduction	15
II-2 La commande en pleine onde (180°)	15
II-2-1 Mode I: $wt = [0-60^\circ]$	17
II-2-2 Mode II: $wt = [60^\circ-120^\circ]$	17
II-2-3 Mode III: $wt = [120^\circ-180^\circ]$	18
II-3 MLI "Sinus Triangle"	20
II-4 Commande par hystérésis	21
II-5 Conclusion	23
Chapitre III : Simulation et interprétations des résultats	24
III-1 Introduction	25
III-2 Résultats de la simulation	26
a) Schéma bloc de l'onduleur de tension triphasé	26
b) Schéma bloc de la commande par MLI	27
c) Les résultats pour : $m=21$, $r=0.8$	27
III-3 Interprétation des courbes	29
III-4 Conclusion	30
Conclusion Générale	31
Bibliographie	32

Introduction Générale

L'électronique de puissance est un domaine très vaste que nous ne prétendons pas couvrir avec seulement quelques problèmes de base.

Le convertisseur est le module de base des systèmes d'électronique de puissance, le rôle de ce dernier est de modifier la forme(continue ou alternatif) ou les caractéristiques (tension efficace, fréquence....) des signaux d'entrées pour les appliquer sur les appareils de chauffage, des moteurs ou des installations électriques.

L'absence de micro-coupure et de perturbation s'avère plus qu'une nécessité pour certains équipements qui exigent une grande stabilité de l'amplitude et de la fréquence. Prévoir une alimentation auxiliaire qui joue le rôle de la source principale, lorsque cette dernière subit une perturbation ou une rupture totale constitue une solution efficace.

Dans notre travail on s'intéresse à l'étude et simulation d'un onduleur triphasé commandé par MLI sinusoïdale.

Le premier chapitre est une étude des généralités et les principe de fonctionnement de l'onduleur triphasé.

Dans le deuxième chapitre, nous présentons les différentes techniques les plus utilisés actuellement. À savoir la modulation sinusoïdale triangulaire et la modulation par hystérésis.

Le troisième chapitre est réservé à la simulation et l'interprétation des résultats.

CHAPITRE I

L'onduleur et son fonctionnement

I-1 Introduction

Dans l'industrie, les entraînements électriques exigent des vitesses variables, le développement de l'électronique de puissance à permet de développer des convertisseurs statiques qui assurent des entraînements alternatifs à vitesse variable. Parmi ces convertisseurs on cite les onduleurs en modulation de largeurs d'impulsion (MLI), et plus récemment commandé en MLI vectorielle.[1]

I-2 Les différents types d'onduleurs

On distingue deux classes d'onduleurs

I-2-1 Onduleur non autonome

Un onduleur est dit non autonome si la forme d'onde et la fréquence sont imposées par le réseau.[1]

I-2-2 Onduleur autonome

Un onduleur est dit autonome si le temps d'ouverture et de fermeture des interrupteurs entre l'entrée et la sortie dépend seulement de la commande des semi-conducteurs.[1]

On distingue deux types d'onduleurs autonomes :

a- Onduleur autonome de courant

Ce type est utilisé pour les moteurs à faible puissance où la source de l'entrée possède une impédance assez grande pour que le courant ne sera pas affecté par la variation de la tension «U».[2]

b- Onduleur de tension

On appelle onduleur de tension un onduleur alimenté par une source de tension continue c'est-à-dire par une source d'impédance interne négligeable. La source continue impose la tension à l'entrée de l'onduleur est donc à sa sortie.

On peut réalisé un onduleur de tension triphasé en groupant trois demi ponts monophasé, la Fig. (I-1) représente un onduleur triphasé de tension. Il se compose de trois bras à interrupteurs réversible en courant, commandé à la fermeture et à l'ouverture, réalisé à partir d'un **GTO** ou **IGTB** et une diode en anti-parallèle.[2]

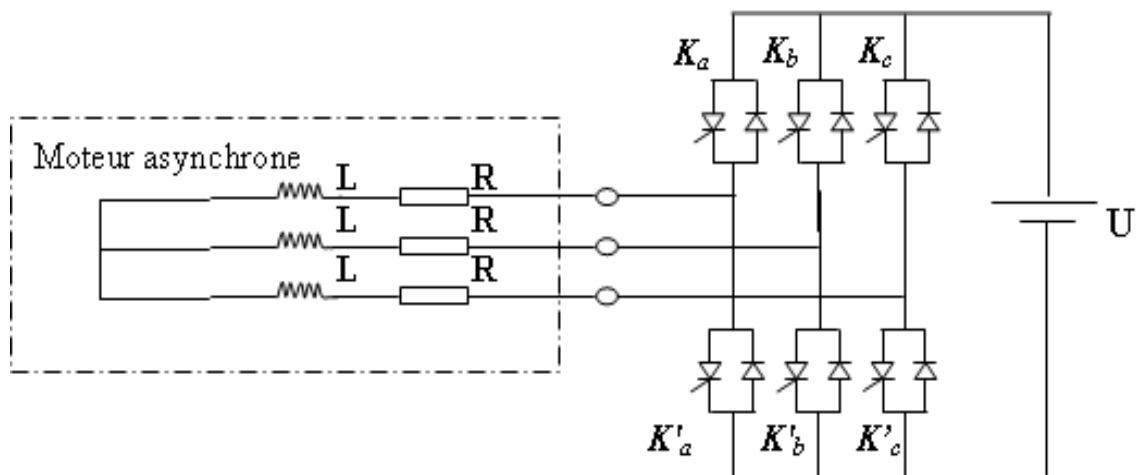


Fig. (I-1): Un onduleur de tension branché sur un moteur asynchrone

L'onduleur alimentant un moteur doit délivrer des tensions et des courants de fréquence variable, afin de faire varier la vitesse de la machine. La fréquence maximale du fondamentale de ces tensions et courants est plus souvent du même ordre de grandeur que la fréquence du réseau industriel.

On peut ne faire effectuer aux semiconducteurs qu'un cycle de fermeture et ouverture par période des grandeurs de sortie, on dit alors que l'onduleur fonctionne à un créneau par alternance ou en pleine onde. Mais on utilise de plus en plus des semiconducteurs qui travaillent à une fréquence plus élevée pour les faire fonctionner plusieurs fois par période.[2]

I-3 Principe de fonctionnement de l'onduleur de tension

Les onduleurs sont les convertisseurs statiques permettant la conversion de l'énergie de la forme continue à la forme alternative.

- Ils sont autonomes, lorsqu'ils ne nécessitent pas la présence du réseau alternatif.

Ils sont « statiques » car ils ne font intervenir aucun mouvement mécanique (contrairement aux moteurs).[3]

On considère les onduleurs en pont alimentant

- Soit une charge monophasée
- Soit une charge triphasée équilibrée en triangle ou en étoile à neutre isolé.

Dans ces onduleurs, chaque borne d'accès de la charge est reliée à deux interrupteurs à semiconducteurs, l'un permettant de la connecter à la borne positive de la source continue, l'autre à la borne négative de cette source Fig. (I-2).[3]

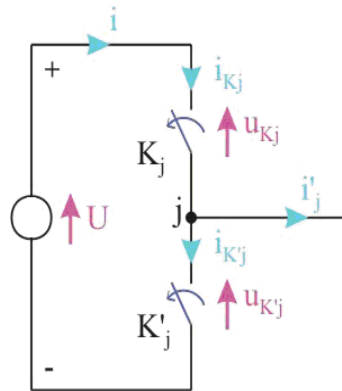


Fig. (I-2): Schéma représentatif d'un bras (j) de l'onduleur

Les interrupteurs K_j et K'_j forment un bras de l'onduleur.

- Un onduleur monophasé en pont comporte deux bras Fig. (I-3).

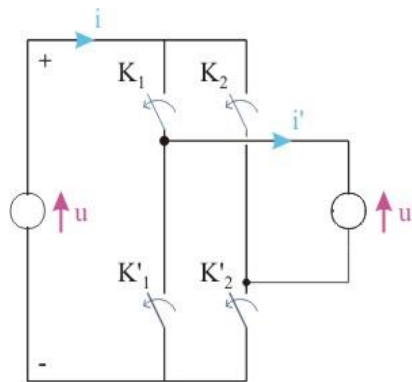


Fig. (I-3): Un onduleur monophasé

- Un onduleur triphasé en pont comporte trois bras Fig. (I-4).

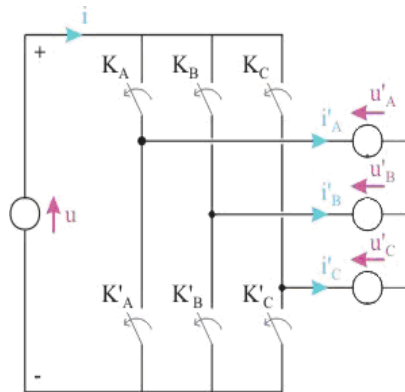


Fig. (I-4): Un onduleur triphasé

- Au niveau des interrupteurs du bras j , pour permettre au courant i_j de circuler, il faut qu'au moins un des deux interrupteurs K_j et K'_j soit à l'état **ON**.
- Pour éviter de court-circuiter la source U , ils ne peuvent être **ON** simultanément.

Les états des deux interrupteurs de chaque bras doivent donc être **complémentaires**, l'un étant **ON** l'autre **OFF** Fig. (I-5).

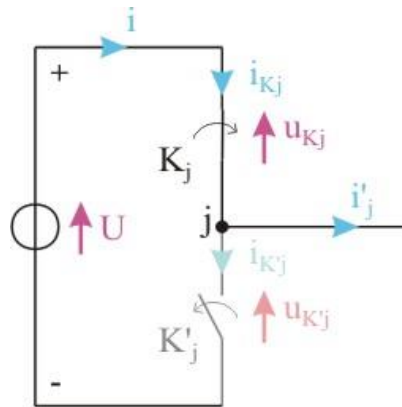


Fig. (I- 5a): L'interrupteur K'_j est ouvert, l'interrupteur K_j est fermé

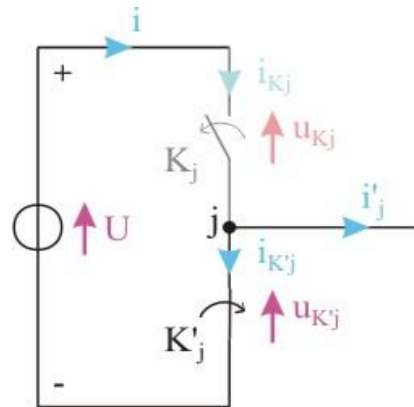


Fig. (I- 5b): L'interrupteur K_j est ouvert, l'interrupteur K'_j est fermé

Lorsque l'interrupteur K_j est **ON**, l'interrupteur K'_j est **OFF**, l'interrupteur K_j est traversé par le courant i_j . Comme ce courant est un courant alternatif, il est parfois positif, parfois négatif : l'interrupteur K_j doit donc être réversible en courant.[3]

Lorsque l'interrupteur K_j est **OFF**, l'interrupteur K'_j est **ON** : la tension aux bornes de K_j est donc égale à U . Cette tension est une tension continue, donc toujours positive. L'interrupteur K_j est un interrupteur à 2 segments formés de la mise en parallèle inverse d'un transistor (ou un GTO) et d'une diode Fig. (I-6).[3]

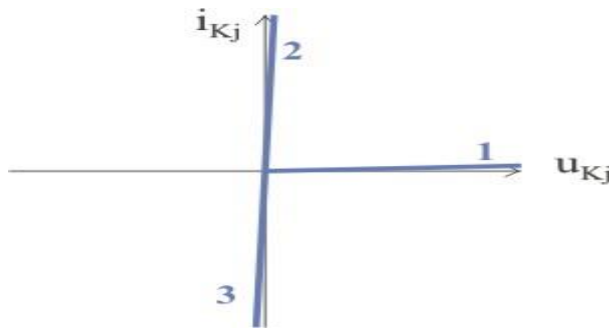


Fig. (I-6a): La caractéristique statique

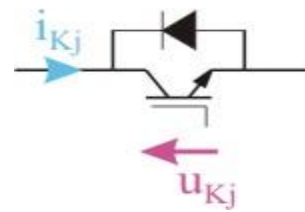


Fig. (I-6b): Mise en parallèle d'un transistor et d'une diode

- La branche 1 correspond à l'état bloquant du transistor et de la diode.
- La branche 2 correspond à la conduction du transistor.
- La branche 3 correspond à la conduction de la diode.

❖ **Passage de K_j ON, K'_j OFF à K_j OFF, K'_j ON pour $i_j > 0$**

Si i_j est positif

- Lorsque K_j est **ON**, c'est le transistor T_j qui est conducteur Fig. (I- 7).

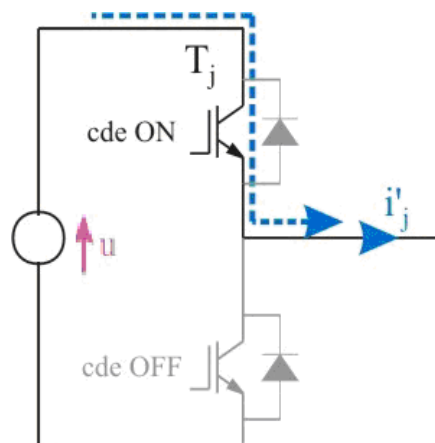


Fig. (I-7): Lorsque K_j est **ON**, c'est le transistor T_j est conducteur

- Lorsque K_j est **ON**, c'est la diode D'_j qui est conductrice Fig. (I-8).

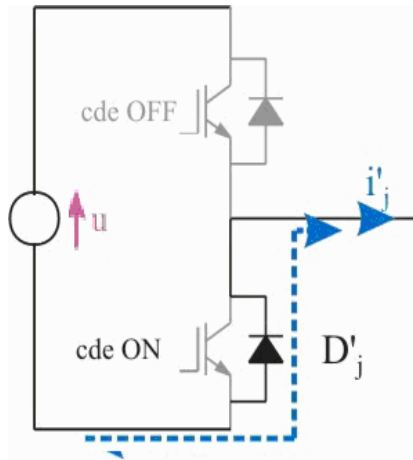


Fig. (I-8): K_j est **ON** et la diode D'_j est conductrice

La commutation de K_j **ON** (T_j conducteur) à K_j **ON** (D'_j conductrice) s'opère en commandant le blocage de T_j .

Lorsque T_j est **OFF**, on peut commander l'état **ON** de T'_j pour que K_j reste fermé même si le courant i_j cesse d'être positif et devient négatif.

❖ **Passage de K_j ON, K_j OFF à K_j OFF, K_j ON pour $i_j < 0$**

Si i_j est négatif

- lorsque K_j est **ON**, c'est la diode D_j qui est conductrice Fig. (I- 9).

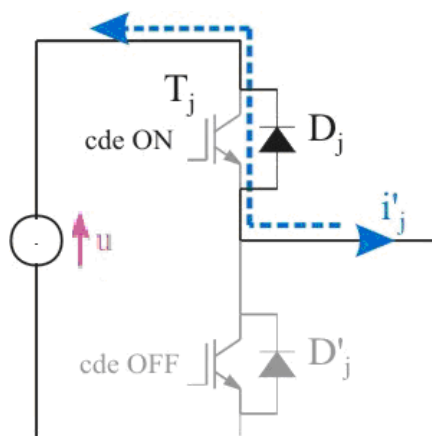


Fig. (I-9): K_j est **ON** et la diode D_j est conductrice

- lorsque K_j est **ON**, c'est le transistor T_j qui est conducteur Fig. (I-10).

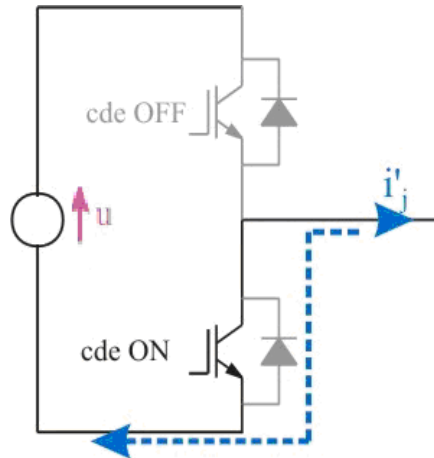


Fig. (I-10): K_j est **ON** et le transistor T_j est conducteur

La commutation de K_j **ON** (D_j conductrice) à K_j **ON** (T_j conducteur) s'opère en commandant l'amorçage de T_j après avoir préalablement bloqué T_j pour éviter d'avoir une conduction simultanée de T_j et T_j et donc un court-circuit de la source U .

Pour passer de K_j **ON**, K_j **OFF** à K_j **OFF**, K_j **ON**, on commande le blocage de T_j , puis après un délai t_d l'amorçage de T_j . [3]

I-4 La qualité du signal

Plusieurs expressions peuvent être utilisées pour quantifier la déformation d'un signal, on utilise dans ce travail le taux de distorsion harmonique (THD). [4]

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{50} V_n^2}}{V_1} \quad (I-1)$$

I-5 Modélisation de l'onduleur de tension

Le convertisseur statique permet d'imposer à la machine des ondes de tensions à amplitudes et fréquences réglables à partir d'un réseau standard 220/380V, 50 Hz. Après redressement, la tension filtrée U_0 (étage continu) est appliquée à l'onduleur.[5]

Les composants de l'électronique de puissances (interrupteurs) sont déterminés par les niveaux de la puissance et la fréquence de commutation. En règle générale, plus les composants sont rapides, plus la puissance commutée est faible et inversement.

A titre indicatif, les transistors *MOSFET*, sont considérés comme des composants très rapides mais de puissance relativement faible. Les transistors bipolaires sont moins rapides que les transistors *MOSFET* mais davantage plus puissants (quelques kHz à une dizaine de kW). Les transistors *IGBT* sont des composants de gamme standard (jusqu'à 20 kHz à une des dizaines de kW). Les thyristors *GTO* commutent très lentement les grandes puissances. Ces composants sus indiqués sont du type commandable à l'ouverture et à la fermeture; ce qui n'est pas le cas pour le thyristor classique.

Pour un onduleur triphasé, les commandes des interrupteurs d'un bras sont complémentaires. Pour chaque bras, il y'a donc deux états indépendants. Ces deux états peuvent être considérés comme une grandeur booléenne:[6]

$S_{a,b,c} = 1$: Interrupteur du demi-bras haut (a, b ou c) fermé.

$S_{a,b,c} = 0$: Interrupteur du demi –bras bas (a, b ou c) fermé.

La Fig. (I.11) montre le schéma d'un onduleur triphasé alimentant le MAS :

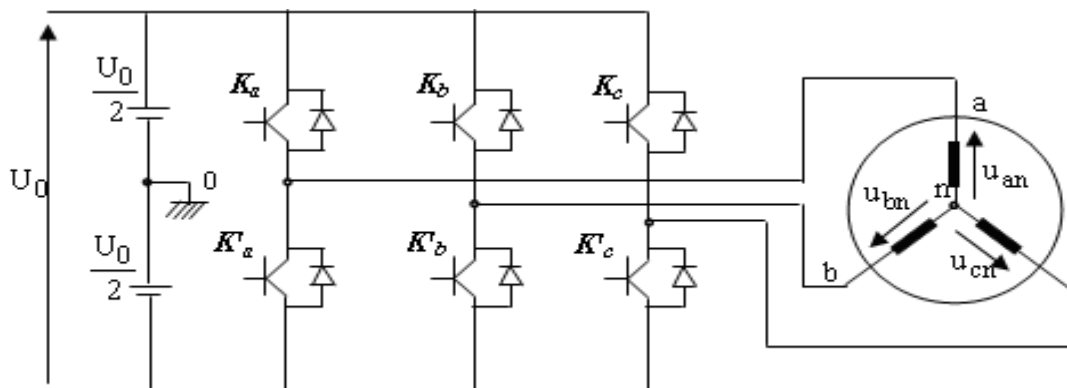


Fig. (I-11): Schéma d'un onduleur de tension triphasé alimentant le MAS

Pour simplifier l'étude, on supposera que :

- la commutation des interrupteurs est instantanée ;
- la chute de tension aux bornes des interrupteurs est négligeable ;
- la charge triphasée est équilibrée, couplée en étoile avec neutre isolé.

Pour les tensions composées u_{ab} , u_{bc} et u_{ca} , on a :

$$\begin{cases} u_{ab} = u_{ao} - u_{bo} \\ u_{bc} = u_{bo} - u_{co} \\ u_{ca} = u_{co} - u_{ao} \end{cases} \quad (I-2)$$

u_{ao} , u_{bo} et u_{co} peuvent être considérées comme des tensions d'entrée à l'onduleur (tensions continues).

Soit " n" l'indice du point neutre du coté alternatif. On a:

$$\begin{cases} u_{ao} = u_{an} + u_{no} \\ u_{bo} = u_{bn} + u_{no} \\ u_{co} = u_{cn} + u_{no} \end{cases} \quad (I-3)$$

u_{an} , u_{bn} et u_{cn} sont les tensions simples de la machine et u_{no} est la tension fictive entre le neutre de la MAS et le point fictif d'indice "o".

Sachant que la charge est équilibrée et le neutre isolé alors:

$$u_{an} + u_{bn} + u_{cn} = 0 \quad (I-4)$$

La substitution de (I-4) dans (I-3) aboutit à :

$$u_{no} = \frac{1}{3} \cdot (u_{ao} + u_{bo} + u_{co}) \quad (I-5)$$

En remplaçant (I-5) dans (I-3), on obtient :

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

En utilisant les variables booliennes de l'état des interrupteurs on a:

$$\begin{cases} u_{an} = \frac{U_o}{3}(2S_a - S_b - S_c) \\ u_{bn} = \frac{U_o}{3}(-S_a + 2S_b - S_c) \\ u_{cn} = \frac{U_o}{3}(-S_a - S_b + 2S_c) \end{cases} \quad (I-7)$$

I-6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons expliqué les notions de base des onduleurs tels que le principe de fonctionnement et le domaine d'utilisation, les différents types et les éléments à commander.

Les ondes de tension en pleine onde sont non sinusoïdales très riche en harmoniques. Il est nécessaire de penser à d'autres stratégies de commande pour réduire ces harmoniques. Parmi ces stratégies on peut cité la commande par hystérésis et la M.L.I sinusoïdale que nous allons expliqué dans le chapitre suivant intitulé les différentes stratégies de commandes.

CHAPITRE II

Les différentes stratégies de modulation

II-1 Introduction

La conversion continue alternative est assurée par les commutations des interrupteurs de l'onduleur qui vont ainsi effectuer des connexions temporaires entre les bornes de la source d'alimentation continue et les lignes de la charge triphasée alternative.

Le choix d'une stratégie de commande dépend du type de charge à commander, de la gamme de puissance, des semi-conducteurs utilisés pour l'onduleur et de la simplicité d'implantation de l'algorithme.[3]

II-2 La commande en pleine onde (180°)

Il est nécessaire de décrire la commande en pleine onde (180°), cela peut nous faciliter la compréhension des autres méthodes de commande tel la MLI hystérésis et MLI sinusoïdale qui seront le but de notre étude.

Dans ce type de commande chaque transistor conduit pendant (180°), trois transistors restent en conduction à n'importe quel instant.

Il existe six modes de fonctionnement dans chaque cycle, et chaque mode de durée 60°, les transistors sont numérotés de la manière dans laquelle ils reçoivent les séquences de déphase l'un de l'autre de 60°.[5]

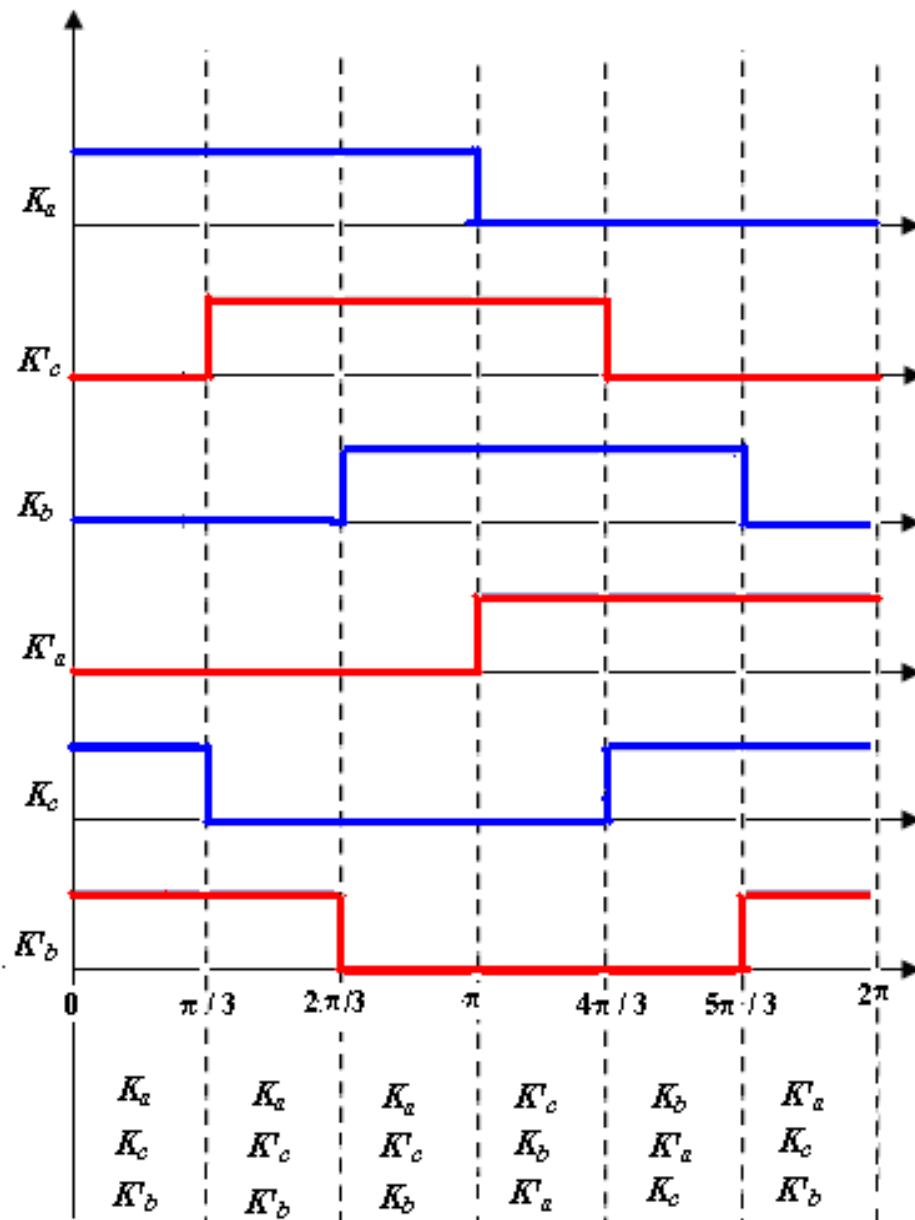
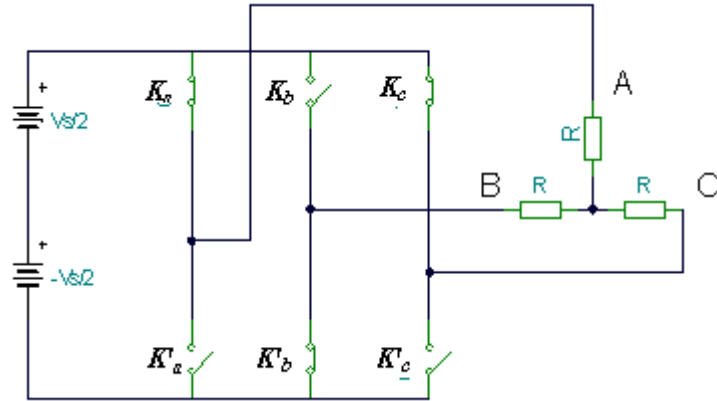


Fig. (II-1): Les signaux de commande en pleine onde (180°)

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

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



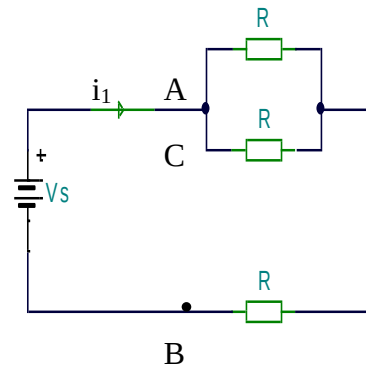
$$\frac{1}{R'} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R} = \frac{2}{R} \Rightarrow R' = \frac{R}{2}$$

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

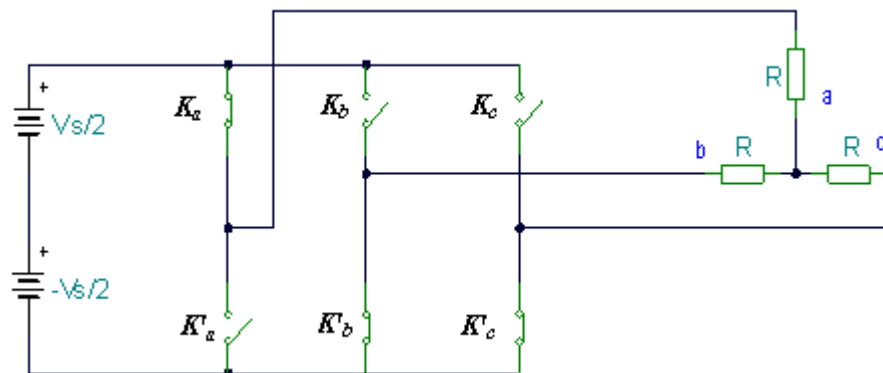
$$i_1 = \frac{V_s}{R_{eq}} = \frac{2V_s}{3R}$$

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

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

**II-2-2 Mode II: $wt = [60^\circ-120^\circ]$**

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

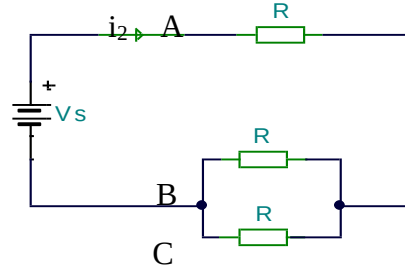


$$R_{eq} = \frac{R}{2} + R = \frac{3}{2}R$$

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

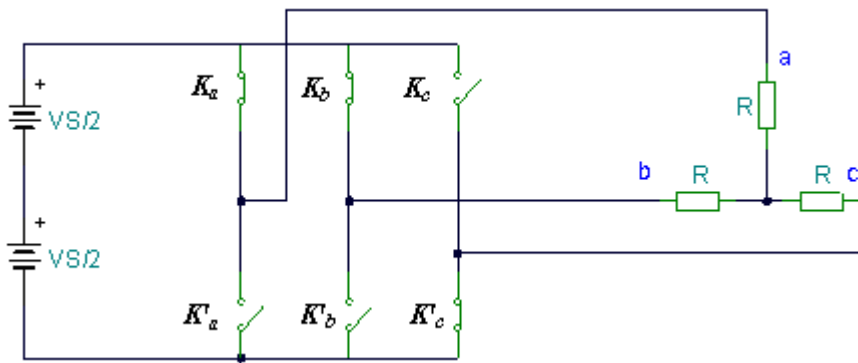
$$V_{an} = i_2 \cdot R = 2V_s / 3$$

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



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

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

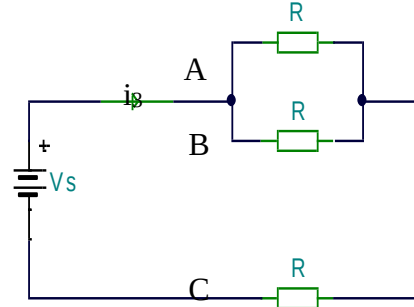


$$R_{eq} = \frac{R}{2} + R = \frac{3}{2}R$$

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

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

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



Après déterminer les tensions simples V_{an} , V_{bn} et V_{cn} montrés dans la Fig. (II-2) la tension instantanée composée V_{ab} est exprimé en série de Fourier sachant que V_{ab} est déplacé de $\pi/6$, 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} que les harmoniques multiple de 3 sont égale à zéro. Pour les tensions composées la valeur efficace de la tension composée est :

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

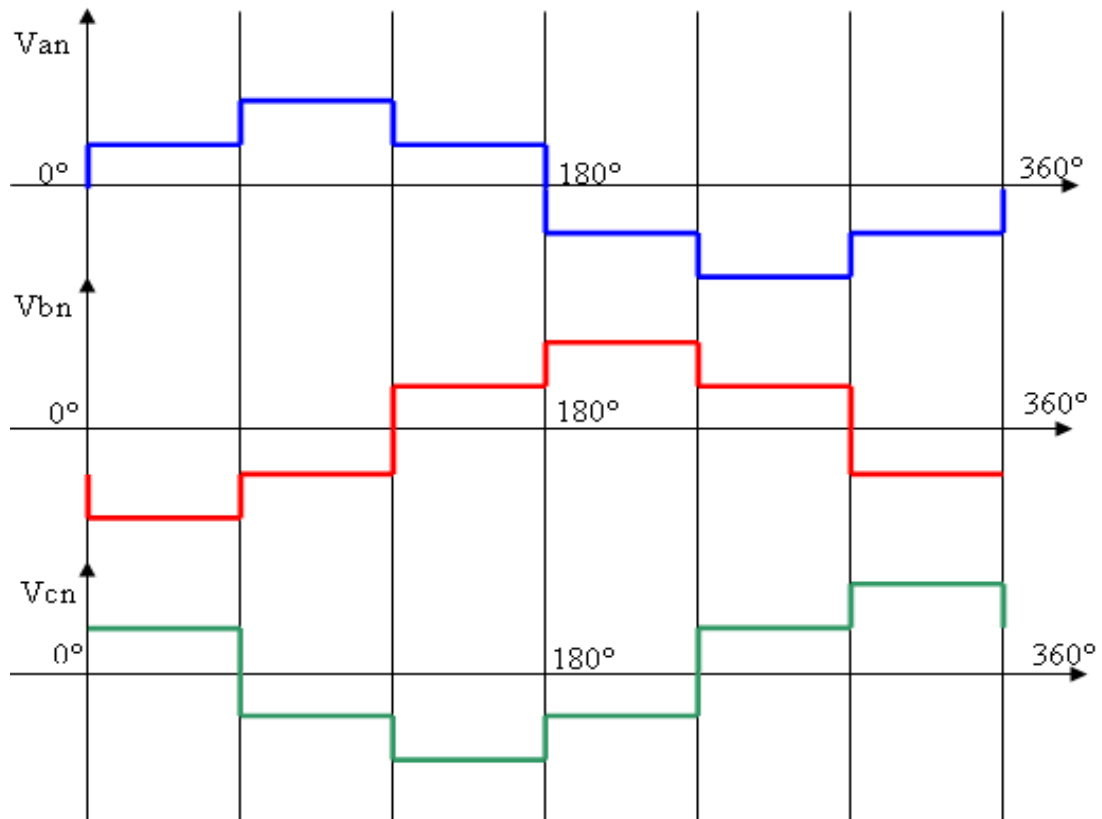


Fig. (II-2): Les tensions de sortie de l'onduleur à commande 180°

II-3 MLI "Sinus Triangle"

La MLI Sinus Triangle utilise le principe d'intersection entre une référence sinusoïdale de fréquence f_r , appelée modulante et un signal triangulaire de haute fréquence f_m , appelée la porteuse, pour déterminer les instants de commutation. Le schéma de principe est donné par la Fig. (II-3).[4]

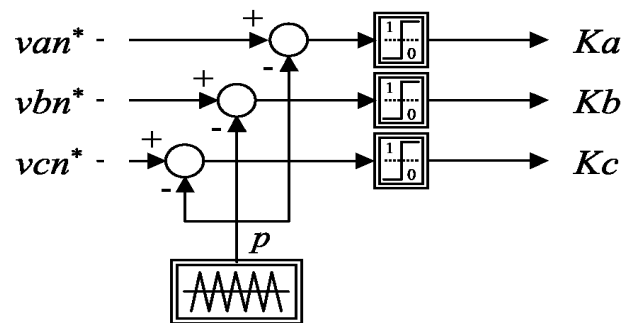


Fig. (II-3): Principe de l'MLI Sinus-Triangle

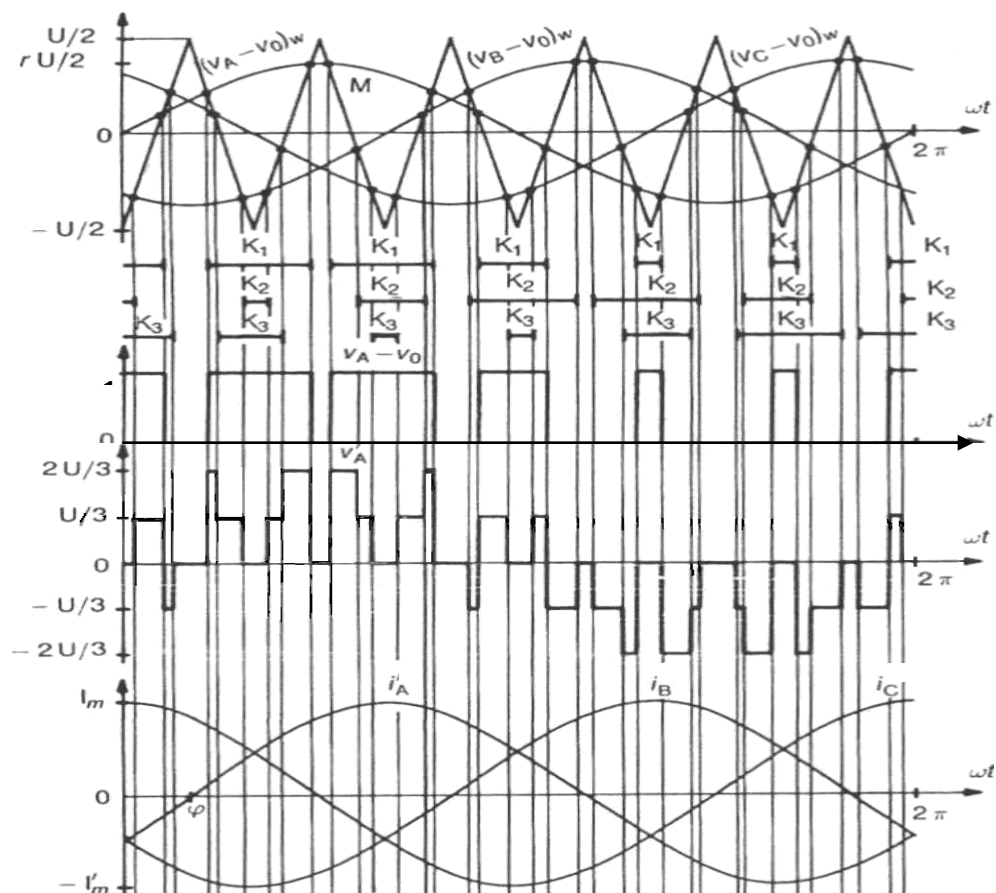


Fig. (II-4): La création des signaux des impulsions et des tensions

Les principaux objectifs de la M.L.I sont les suivants:

- Alimenter les moteurs électriques avec des courants proches de l'onde sinusoïdale, par le contrôle des rapports cycliques et grâce à une fréquence élevée des commutations des interrupteurs par rapport à la fréquence des tensions de sortie.
- Permettre un contrôle fin de l'amplitude du fondamental des tensions de sortie généralement sur une plus grande plage possible et pour une fréquence de sortie largement variable.[3]

Les paramètres essentiels de la **M.L.I** sont :

- L'indice de modulation :

$$m = \frac{f_m}{f}$$

Où :

f_m est la fréquence de modulation

f est la fréquence du fondamentale des grandeurs de sortie de l'onduleur

- Le coefficient de réglage:

$$r = \frac{A_r}{A_m}$$

Où:

A_r : la valeur crête de la tension de référence

A_m : la valeur crête de la tension de commande

On cherche généralement à obtenir une valeur maximale de r la plus élevée.

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.[6]

L'approche la plus simple utilisée pour cette fin, est la stratégie de contrôle qui réalise la comparaison entre le 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 (Fig. (II-5)).[7]

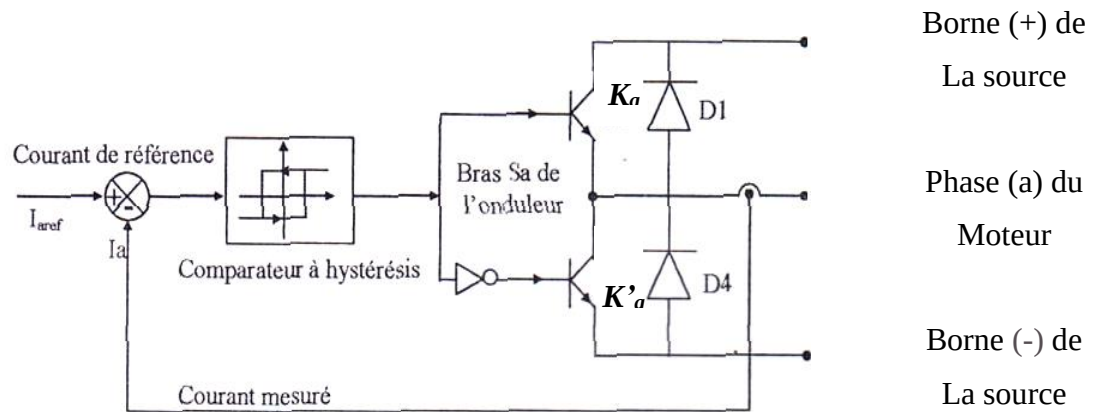


Fig. (II-5). Schéma de principe du contrôle par hystérésis d'un bras de l'onduleur

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 :

$$K_i = +1 \quad \text{si} \quad I_i^* - I_i > \Delta i.$$

$$K_i = -1 \quad \text{si} \quad I_i^* - I_i < -\Delta i.$$

$$K_i = -K_{i-1} \quad \text{si} \quad I_i^* = I_i.$$

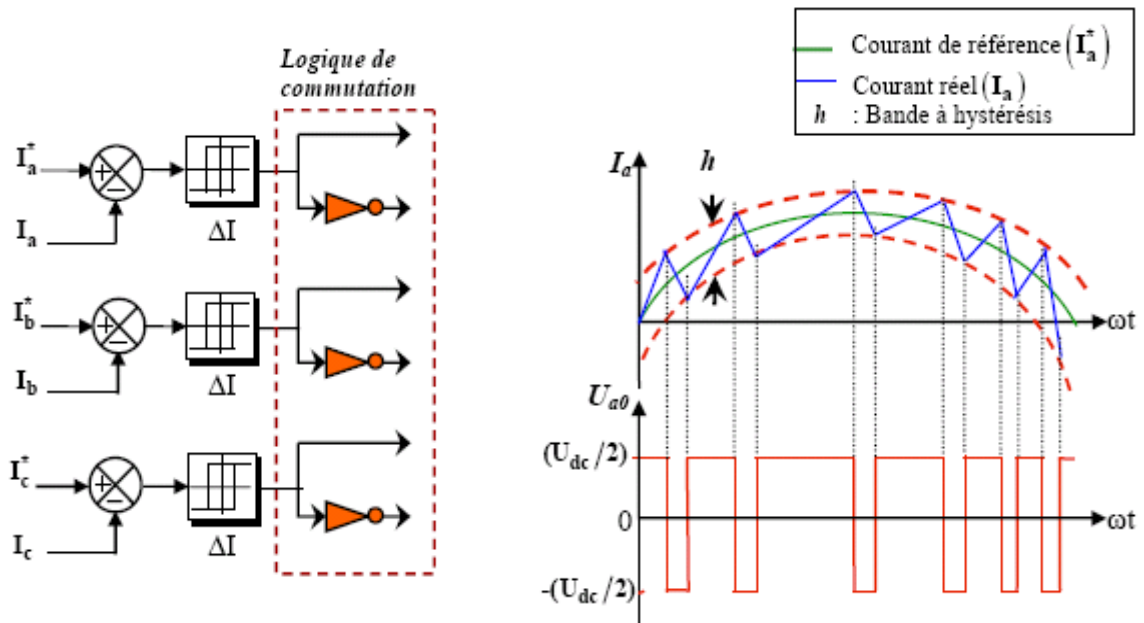


Fig. (II-6): Commande par Hystérésis

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.[7]

II-5 Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre, les différentes stratégies de commande de l'onduleur, en pleine onde (180°), MLI sinusoïdale et hystérésis.

La commande par hystérésis est très simple et très rapides mais sa fréquence instantanée des commutations n'est pas contrôlable.

La MLI sinusoïdale demande de déterminer les instants de commutations des interrupteurs de chaque bras de l'onduleur séparément.

En pleine onde (180°) les tensions obtenues sont très riches en harmonique ce qui provoque l'échauffement de la charge (moteur).

CHAPITRE III

Simulation et interprétations des résultats

III-1 Introduction

Les grandeurs de sortie des commandes analogiques ou numériques représentent les tensions ou courants désirés aux bornes de la machine. La technique de modulation de largeur d'impulsions (MLI) permet de reconstituer ces grandeurs à partir d'une source à fréquence fixe et tension fixe (en général une tension continue) par l'intermédiaire d'un convertisseur direct.

Celui-ci réalise les liaisons électriques entre la source et la charge. Le réglage est effectué par les durées d'ouverture et de fermeture des interrupteurs.

Dans la majorité des cas, l'onde idéale est sinusoïdale. La M.L.I permet de se rapprocher du signal désiré. Cependant, cette technique est imparfaite. Le contenu harmonique généré par une onde M.L.I entraîne des pertes dans le réseau (pertes fer dans le transformateur, pertes Foucault). Elles génèrent dans les machines tournantes des oscillations de couple ; des bruits acoustiques et des résonances électromécaniques. Elle injecte du bruit sur la commande et introduit des non linéarités qui peuvent déstabiliser le système. Il faut donc minimiser ces harmoniques.

La modulation sinusoïdale consiste à utiliser les intersections d'une onde de référence ou modulante, généralement sinusoïdale, avec une onde de modulation ou porteuse, généralement triangulaire. Cette technique exige une commande séparée pour chacune des phases de l'onduleur.

Dans ce chapitre, nous présentons l'analyse de technique de commande de l'onduleur par la simulation numérique à l'aide de **MATLAB-SIMULINK**.

III-2 Résultats de la simulation

La figure (III-1) donne le schéma synoptique de l'association charge -onduleur à MLI.

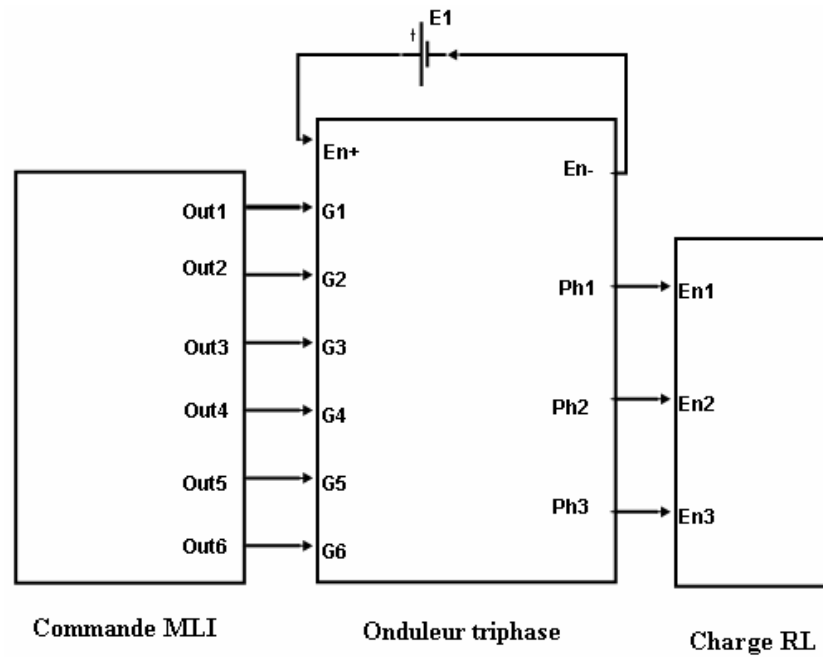


Fig.(III-1): schéma synoptique de l'association charge -onduleur à MLI.

a) Schéma bloc de l'onduleur de tension triphasé

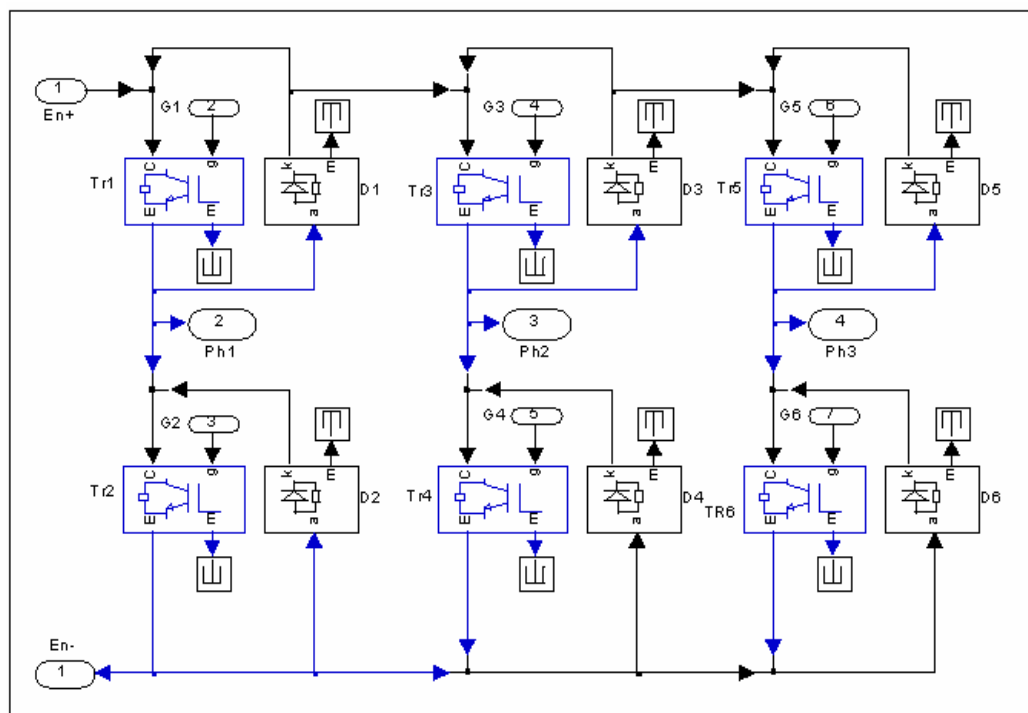


Fig.(III-2) : Schéma bloc de l'onduleur

b) Schéma bloc de la commande par MLI

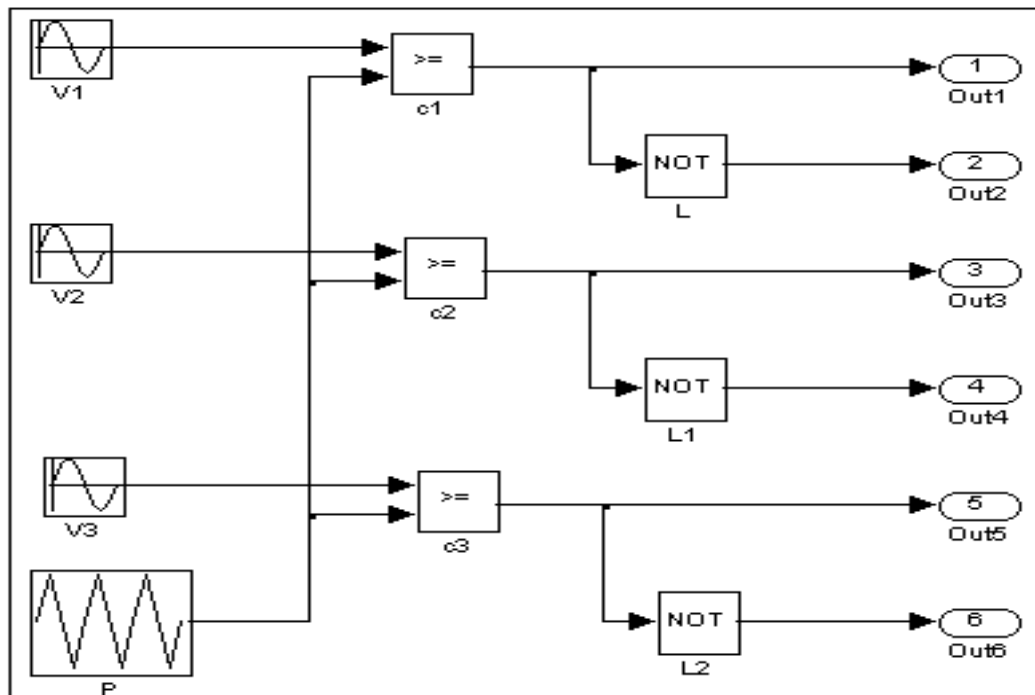


Fig.(III-3) : Schéma bloc de la commande par MLI

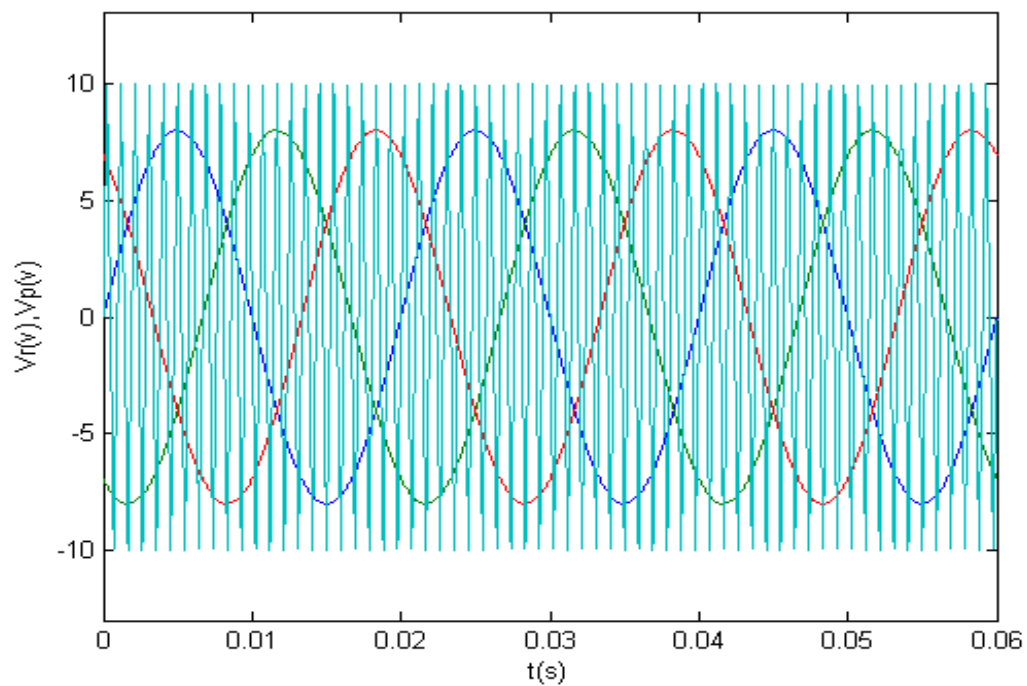
c) Les résultats pour : $m=21$, $r=0.8$ 

Fig.(III-4): Les tensions de référence et la porteuse

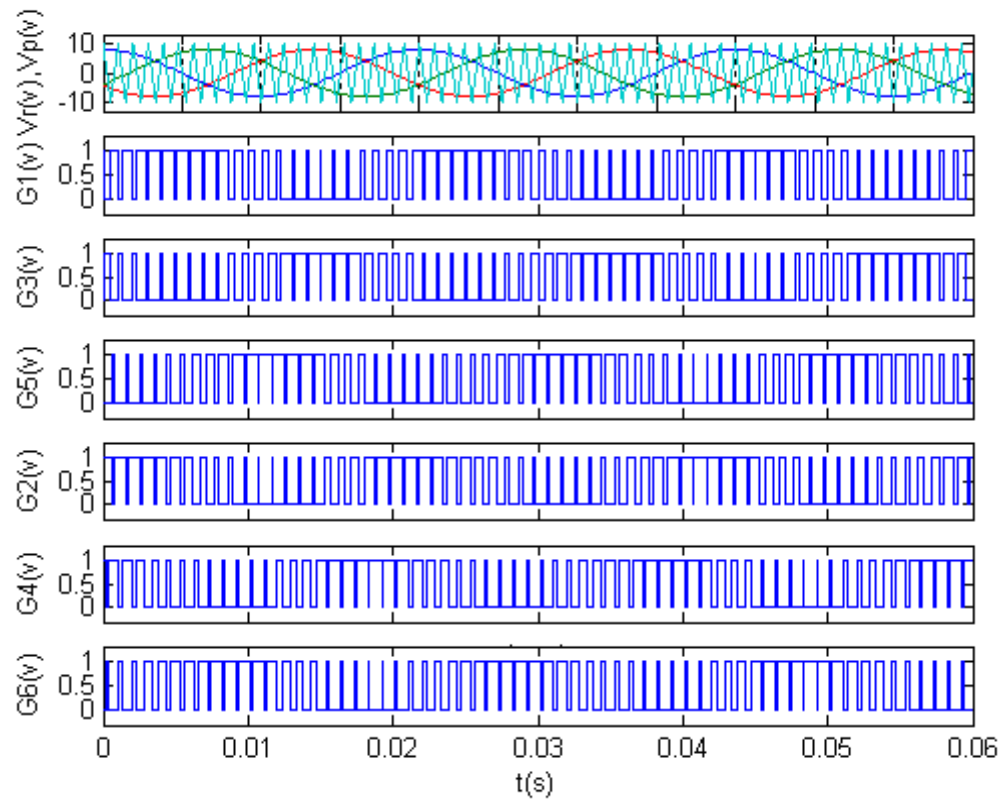


Fig (III-5): Les signaux de commande des interrupteurs

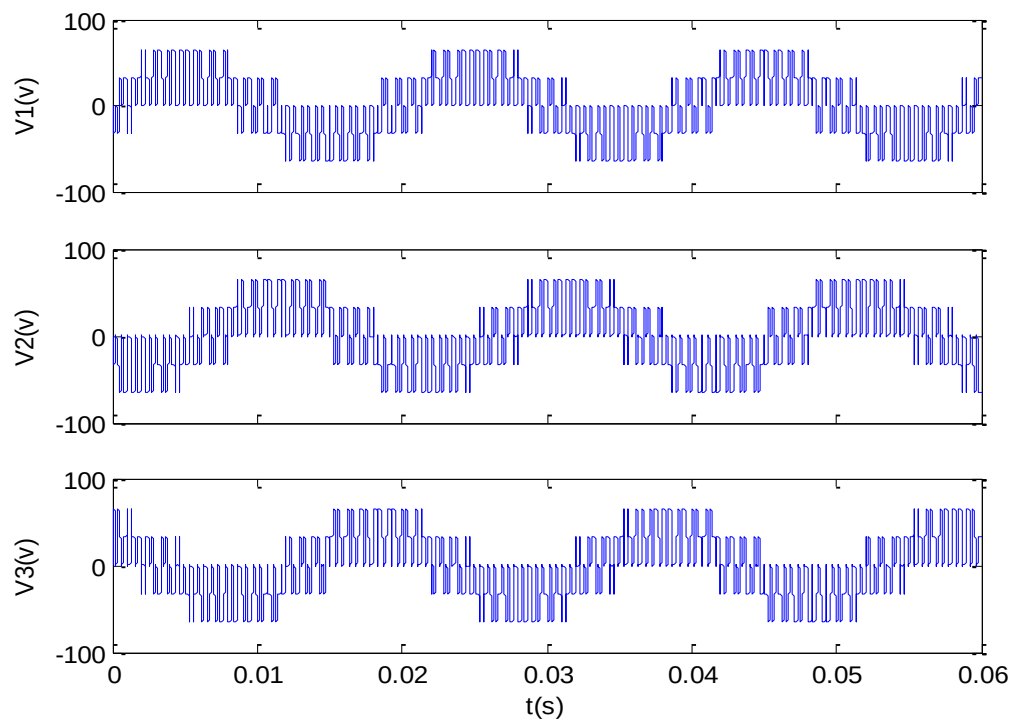


Fig. (III-6): Les tensions simples dans les trois phases

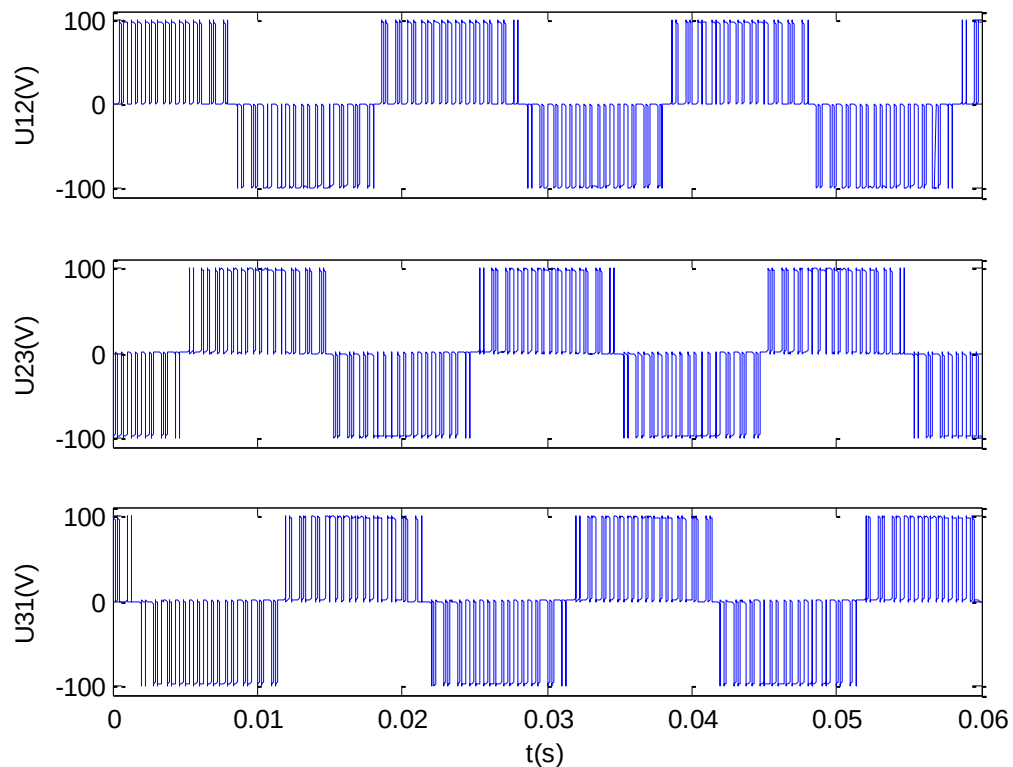


Fig (III-7): Les tensions composées des trois phases

III-3 Interprétation des courbes

La technique MLI est basée sur la variation soit de l'indice de modulation « m », soit le coefficient de réglage de tension « r », les valeurs utilisées pendant la simulation sont :

$r = 0.8$ et $m = 21$.

L'augmentation de l'indice de modulation permet de repousser les harmoniques vers les fréquences élevées (droit).

La variation de l'amplitude de l'harmonique fondamentale ne dépend pas de la variation de « m », par contre la variation de « r » agit directement sur l'amplitude des harmoniques.

Les figures se limitent à trois périodes de la modulante (50 Hz). A cette échelle, on voit clairement le découpage de la tension simple pour $m = 21$ alors que cette tension est bonne pour $m > 21$.

III-4 Conclusion

Dans un temps on a présenté le principe de simulation en électronique de puissance. On s'est plus particulièrement intéressé au développement des programmes de simulation des montages donnés.

Donc d'après les analyses des résultats de simulation de MLI on constate quand on a atteint les objectifs fixés.

Conclusion Générale

L'électronique de puissance est la branche de la physique appliqué qui regroupe l'ensemble des recherches et des techniques ayant trait l'amélioration de la présentation de l'énergie électrique (qualité de signal ...). Elle est de plus en plus développée grâce au développement des semi-conducteurs.

Ce travail propose une alimentation de la machine asynchrone. C'est-à-dire obtenir une meilleure exploitation des équipements d'une entreprise industrielle. Pour cela, nous avons présenté la simulation à MLI sinusoïdale triangulaire. Le courant à la sortie de l'onduleur moins riche en harmoniques et plus proche de la forme sinusoïdale par rapport à la commande en pleine onde.

Bibliographie

- [1] F.Labrique, G.Seguir, R.Bausiere, « Les convertisseurs de l'électronique de puissance, la conversion continu - alternatif », Technique et Documentation - Lavoisier ,1995.
- [2] G.Seguir, « Électronique de puissance les fonctions de base et leurs principales applications », Edition Dunod, Paris1999.
- [3] A/M. Bendaikha, « Réduction des harmoniques a la sortie de l'onduleur de tension triphasé commandé par mli vectorielle », Mémoire de Magister, Université d'Annaba 2006.
- [4] L. Zellouma et B.S. Salem, « Etude et réalisation d'un onduleur monophasé utilisant la technique PWM à base des MOSFET», Mémoire d'ingénieur, Université de Biskra 2004.
- [5] Derdouri et A. Abidli, « Etude et simulation d'une machine asynchrone alimente par l'association redresseur MLI – onduleur MLI », Mémoire d'ingénieur, BISKRA 2007.
- [6] S. Ben daikha et A. Djermane, « Etude sur la commande des onduleurs en pont triphasés », Mémoire d'ingénieur, OUM ELBOUAGHI 2005.
- [7] R. Boucetta, « Commande par mode de glissement à hystérésis et MLI de la machine asynchrone à cage » Mémoire d'ingénieur, BISKRA 2004-2005.
- [8] M.H. Rashid, « Power electronics handbook», Academic Press, USA 2001.
- [9] M.Pinard, « Commande électronique des moteurs électriques », Edition Dunod, Paris 2004.
- [10] M.Lavabre, « Électronique de puissance, conversion de l'énergie, cours et exercices résolus», Editions Casteilla, Paris1998.