

Printed from

# Journal of Scientific Research

---

<http://www2.univ-bechar.dz/jrs/>

## Implémentation d'une stratégie de commande pour onduleur multiniveaux

FZ ZERHOUNI<sup>1</sup> M.ZEGRAR<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Département d'électronique, faculté du génie électrique, USTOMB Bp 1505, Oran El M'naouer*

<sup>2</sup>*Département d'électronique, faculté du génie électrique, USTOMB Bp 1505, Oran El M'naouer*

*Email : zerhouni\_fz@yahoo.fr*

Published on 10 July 2013

The Editor, on behalf of the Editorial Board and Reviewers, has great pleasure in presenting this number of the Journal of Scientific Research. This journal (ISSN 2170-1237) is a periodic and multidisciplinary journal, published by the University of Bechar. This journal is located at the interface of research journals, and the vulgarization journals in the field of scientific research. It publishes quality articles in the domain of basic and applied sciences, technologies and humanities sciences, where the main objective is to coordinate and disseminate scientific and technical information relating to various disciplines.

The research articles and the development must be original and contribute innovative, helping in the development of new and advanced technologies, like the studies that have concrete ideas which are of primary interest in mastering a contemporary scientific concepts. These articles can be written in Arabic, French or English. They will not be published in another journal or under review elsewhere. The target readership is composed especially of engineers and technicians, teachers, researchers, scholars, consultants, companies, university lab, teaching techniques and literary ... The journal is obtainable in electronic form, which is available worldwide on the Internet and can be accessed at the journal URL:

<http://www2.univ-bechar.dz/jrs/>.

**Director of Journal**  
Pr. BELGHACHI Abderrahmane

**Editor in Chief**  
Dr. HASNI Abdelhafid

**Co-Editor in Chief**  
Dr. BASSOU Abdesselam

### Editorial Member

TERFAYA Nazihe  
BOUIDA Ahmed  
LATFAOUI Mohieddine  
MOSTADI Siham

## Reviewers board of the Journal.

Pr. KADRY SEIFEDINE (The American University in KUWAIT)  
Pr. RAZZAQ GHUMMAN Abdul (Al Qassim University KSA)  
Pr. PK. MD. MOTIUR RAHMAN (University of Dhaka Bangladesh)  
Pr. MAHMOOD GHAZAW Yousry (Al Qassim University KSA)  
Pr. KHENOUS Houari Boumediene (King Khalid University KSA)  
Pr. RAOUS Michel (Laboratory of Mechanic and Acoustic France)  
Pr. RATAN Y. Borse (M S G College Malegaon Camp India)  
Pr. LEBON Frédéric (University of Aix-Marseille 1 France)  
Pr. MONGI Ben Ouédou (National Engineering School of Tunis)  
Pr. BOUKELIF Aoued (University of Sidi Bel Abbes Algeria)  
Pr. DJORDJEVICH Alexander (University of Hong Kong)  
Pr. BENABBASSI Abdelhakem (University of Bechar Algeria)  
Pr. BOULARD Thierry (National Institute of Agronomic Research France)  
Pr. LUCA Varani (University of Montpellier France)  
Pr. NEBBOU Mohamed (University of Bechar Algeria)  
Dr. FELLAH Zine El Abidine Laboratory of Mechanic and Acoustic France)  
Dr. ZHEN Gao (University of Ontario Institute of Technology Canada)  
Dr. OUERDACHI Lahbassi (University of Annaba Algeria)  
Dr. HADJ ABDELKADER Hicham (IBISC – University of Evry France)  
Dr. KARRAY M'HAMED ALI (National Engineering School of Tunis)  
Dr. ALLAL Mohammed Amine (University of Tlemcen Algeria)  
Dr. FOUCHAL Fazia (GEMH - University of Limoges France)  
Dr. TORRES Jeremi (University of Montpellier 2 France)  
Dr. CHANDRAKANT Govindrao Dighavka (L. V. H. College of Panchavati India)  
Dr. ABID Chérifa (Polytech' University of Aix-Marseille France)  
Dr. HAMMADI Fodil (University of Bechar Algeria)  
Dr. LABBACI Boudjema (University of Bechar Algeria)  
Dr. DJERMANE Mohammed (University of Bechar Algeria)  
Dr. BENSFAI Abd-El-Hamid (University of Tlemcen)  
Dr. BENBACHIR Maamar (University of Bechar Algeria)

Pr. BALBINOT Alexandre (Federal University of Rio Grande do Sul Brazil)  
Pr. TEHIRICHI Mohamed (University of Bechar Algeria)  
Pr. JAIN GOTAN (Materials Research Lab., A.C.S. College, Nandgaon India)  
Pr. SAIDANE Abdelkader (ENSET Oran Algeria)  
Pr. DI GIAMBERARDINO Paolo (University of Rome « La Sapienza » Italy)  
Pr. SENGOUGA Nouredine (University of Biskra Algeria)  
Pr. CHERITI Abdelkarim (University of Bechar Algeria)  
Pr. MEDALE Marc (University of Aix-Marseille France)  
Pr. HELMAOUI Abderrachid (University of Bechar Algeria)  
Pr. HAMOUINE Abdelmadjid (University of Bechar Algeria)  
Pr. DRAOUI Belkacem (University of Bechar Algeria)  
Pr. BELGHACHI Abderrahmane (University of Bechar Algeria)  
Pr. SHAILENDHRA Karthikeyan (AMRITA School of Engineering India)  
Pr. BURAK Barutcu (University of Istanbul Turkey)  
Pr. LAOUFI Abdallah (University of Bechar Algeria)  
Dr. SELLAM Mebrouk (University of Bechar Algeria)  
Dr. ABDUL RAHIM Ruzairi (University Technology of Malaysia)  
Dr. BELBOUKHARI Nasser (University of Bechar Algeria)  
Dr. CHIKR EL MEZOUAR Zouaoui (University of Bechar Algeria)  
Dr. BENACHAIBA Chellali (University of Bechar Algeria)  
Dr. KAMECHE Mohamed (Centre des Techniques Spatiales, Oran Algeria)  
Dr. MERAD Lotfi (Ecole Préparatoire en Sciences et Techniques Tlemcen Algeria)  
Dr. BASSOU Abdesselam (University of Bechar Algeria)  
Dr. ABOU-BEKR Nabil (University of Tlemcen Algeria)  
Dr. BOUNOUA Abdennacer (University of Sidi bel abbes Algeria)  
Dr. TAMALI Mohamed (University of Bechar Algeria)  
Dr. FAZALUL RAHIMAN Mohd Hafiz (University of Malaysia)  
Dr. ABDELAZIZ Yazid (University of Bechar Algeria)  
Dr. BERGA Abdelmadjid (University of Bechar Algeria)  
Dr. Rachid KHALFAOUI (University of Bechar Algeria)  
Dr. SANJAY KHER Sanjay (Raja Ramanna Centre for Advanced Technology INDIA)

## Journal of Scientific Research

P.O.Box 417 route de Kenadsa  
08000 Bechar - ALGERIA  
Tel: +213 (0) 49 81 90 24  
Fax: +213 (0) 49 81 52 44

Editorial mail: [jrs.bechar@gmail.com](mailto:jrs.bechar@gmail.com)  
Submission mail: [submission.bechar@gmail.com](mailto:submission.bechar@gmail.com)  
Web: <http://www2.univ-bechar.dz/jrs/>



# Implémentation d'une stratégie de commande pour onduleur multiniveaux

FZ ZERHOUNI<sup>1</sup> M.ZEGRAR<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Département d'électronique, faculté du génie électrique, USTOMB  
Bp 1505, Oran El M'naouer

Email : zerhouni\_fz@yahoo.fr

<sup>2</sup> Département d'électronique, faculté du génie électrique, USTOMB

Bp 1505, Oran El M'naouer

Email : zegrar2@yahoo.fr

**Abstract** – Our work is to develop and implement a control technique that reduces the total harmonic distortion (THD) for a five-level inverter with separate voltage sources. Our command is supported by a microcontroller. The technique of harmonic elimination PWM control is also studied. The results obtained by the two methods will be compared to conclude.

**Keywords** : onduleur multiniveaux- taux d'harmoniques- élimination d'harmoniques- amplitude.

## I. Introduction

Un onduleur est un convertisseur statique, assurant la conversion continu alternatif. Ces dernières années, des convertisseurs statiques sont de plus en plus exploités dans des applications diverses. Certaines d'entre elles exigent une alimentation électrique à haute ou moyenne tension, facilement réglable et ayant de bonnes performances spectrales. De nouvelles techniques dites multiniveaux ainsi que de nouvelles topologies de convertisseurs ont été développées. Elles permettent de générer plusieurs niveaux de tension à la sortie du convertisseur. Le nombre de semi-conducteurs nécessaires à la réalisation de ces topologies augmente avec le nombre de niveaux désirés.

Notre travail consiste à élaborer et implémenter une technique de commande qui permet de réduire le taux de distorsion harmonique (THD), pour un onduleur cinq niveaux, à sources de tension séparées. Dans un premier temps il faudra réaliser l'onduleur avec son interface de puissance. La commande quant à elle sera supportée par un microcontrôleur du type 16F84. Un des buts de ce travail est concevoir et de réaliser un onduleur multi niveaux pour lequel la commutation des interrupteurs de puissance est assurée par un pic programmé. Ceci permettra de réduire considérablement le besoin en composants par rapport à une implémentation analogique. Les résultats obtenus seront présentés.

## II. Les onduleurs multi-niveaux

Si on dispose de plusieurs sources de tension continue, on peut faire apparaître autant de cellules de commutation élémentaires et les associer en série ou en parallèle [1-4]. Cela permet de multiplier le nombre de niveaux que l'on peut donner à la tension de sortie (figure 1) et (figure 2).

Le principe schématisé sur ces figures peut être élargi pour obtenir une onde de tension  $U$  à  $N$  niveaux.

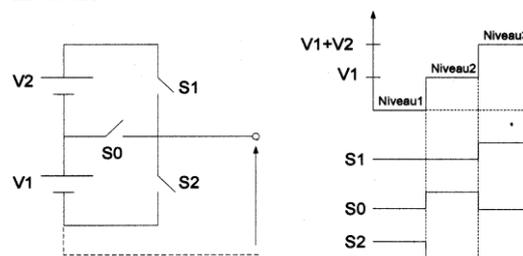


Figure (1) : Principe de l'association de sources en série.

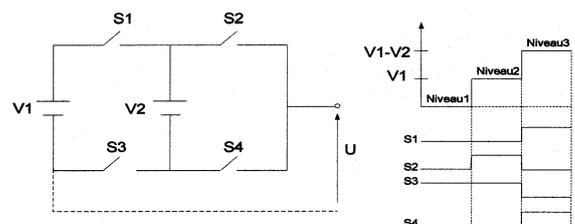


Figure (2) : Principe d'association de sources en parallèle.

### III. Onduleur multi-niveaux à sources de tension séparée

Ce type d'onduleur consiste à mettre en série ou en cascade des onduleurs élémentaires avec des sources de tensions séparées [4].

La fonction générale de cet onduleur multi-niveaux est identique à celui des deux autres. Il permet de générer la tension désirée à partir de plusieurs sources de tension continue indépendantes. Ces sources de tension peuvent provenir, de batteries d'accumulateurs, de panneaux solaires ou de piles à combustible. Cette configuration est actuellement très répandue dans les alimentations alternatives et les entraînements à vitesse variable. Une configuration monophasée multi-niveaux d'un tel onduleur est montrée à la figure (3).

Chaque source de tension continue est associée à un onduleur monophasé en pont complet. Les tensions de sortie des différents onduleurs élémentaires sont reliées en série. Par différentes combinaisons de commande des quatre interrupteurs S1 - S4 chaque onduleur peut produire trois tensions différents, +Vdc, -Vdc et zéro.

La sortie de chaque onduleur avec un niveau particulier est reliée en série avec les autres sorties générant une tension de sortie de l'onduleur multi-niveaux égale à la somme des différentes sorties. Dans cette topologie, le nombre de niveaux de tension de phase est défini par  $M = 2S + 1$  où S est le nombre de sources DC. Le taux d'harmoniques peut être minimisé en contrôlant les angles de conduction de chaque niveau.

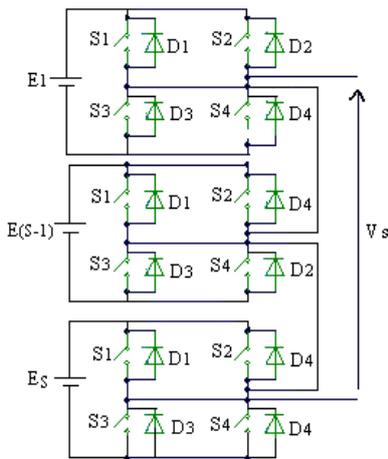


Figure (3) : schéma d'un onduleur multi-niveaux de type cascade

### IV. Les différents types de commande d'onduleur multi-niveaux

Les performances d'un onduleur, pour n'importe quelle stratégie de commande sont liées au contenu d'harmoniques de sa tension de sortie. Beaucoup de techniques ont été étudiées pour réduire ces harmoniques.

Parmi ces techniques, on trouve :

- a) La modulation de largeur d'impulsion (MLI ou PWM) [1].
- b) La technique d'Optimisation des Harmoniques d'une onde en marche d'escaliers (SHEPWM) [1].
- c) La modulation de Largeur D'impulsion pour l'Élimination Sélective d'harmoniques (OHSW) [1].

Le support informatique de notre réalisation est un microcontrôleur du type pic 16F84 [5].

Le programme élaboré dans le cadre de notre travail consiste à générer, en temps réel, les signaux destinés à commander l'onduleur. Cela revient à générer les temporisations, entre les transitions, d'un niveau à l'autre de l'onde générée. Nous exploiterons le timer, partie intégrée au pic, pour régir ces différentes temporisations.

### V. Principe de la commande

Il s'agit d'élaborer un programme de sorte que le pic génère les 8 signaux PWM nécessaires à la commande de l'onduleur. Notre travail consiste à faire l'implémentation numérique d'une technique PWM qui consiste à minimiser le taux d'harmoniques (THD) de l'onde de sortie.

Plusieurs techniques ont été présentées dans la littérature [4-7] pour l'élimination sélective des harmoniques. Ces diverses techniques ne tiennent pas compte de la distorsion totale des harmoniques. En effet, la technique standard est d'éliminer les harmoniques de faibles rangs et de filtrer le reste. Cependant, dans le cas des alimentations à énergie renouvelable, il est préférable d'ôter le filtre de sortie et les pertes qui lui sont associées pour acheminer le maximum de puissance à la charge et améliorer de la sorte, le rendement du système.

La méthode que nous avons adoptée, montre que la distorsion totale des harmoniques peut être minimisée en optimisant le choix des angles ( $\alpha_1, \alpha_2$ ) et des niveaux de tension ( $E_1, (E_3 - E_1)$ ) [4].

La figure (4) illustre la forme d'onde obtenue à la sortie de l'onduleur.

Le taux d'harmoniques est défini par la relation :

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

Où,  $V_n$  : représente l'amplitude du  $n^{\text{ème}}$  harmonique,  $V_1$  : valeur du fondamental

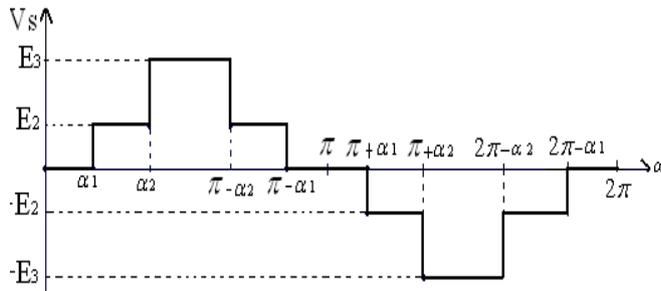


Figure 4 : forme d'onde de la tension de sortie

Le signal étant périodique et présentant une symétrie par rapport au quart d'onde, la décomposition en série de Fourier nous permet de calculer la valeur de chaque raie du spectre. Les harmoniques d'ordre pair étant nuls, nous obtenons pour un ordre n impair :

$$V_n = \frac{4}{n \cdot \pi} [e_1 \cdot \cos(n\alpha_1) + (1 - e_1) \cos(n\alpha_2)] \quad (2)$$

Où :

- n : représente le rang de l'harmonique
- N : le nombre de commutations entre 0° et 90°
- $\alpha K$  : correspond aux angles de commutation

$$e_1 = \frac{E_3}{E_2} \quad (3)$$

La commande de notre système présente trois degrés de liberté : les deux angles de commutation et le niveau du premier palier. On retrouve à un niveau de palier de 50% et des angles de commutation  $\alpha_1=12^\circ$  et  $\alpha_2=48^\circ$ , les 3<sup>ème</sup> et 5<sup>ème</sup> harmoniques sont éliminés [7]. Ceci a pour avantage d'augmenter le gap entre le fondamental et le premier harmonique ce qui facilite le filtrage. La THD obtenue est de l'ordre de 17,5%.

Nous proposons, par le biais de notre commande, de vérifier une méthode qui permet d'obtenir une meilleure THD en optimisant les angles de commutation et le poids du premier palier. Pour y parvenir, la variation de la THD en fonction de l'amplitude du premier palier ( $e_1$ ). La THD atteint sa valeur minimale pour  $e_1=52\%$ . Une autre représentation de la THD en fonction des angles de commutation avec  $e_1$  fixée à 52% montre qu'elle atteint sa valeur minimale pour  $\alpha_1=13^\circ$  et  $\alpha_2=42^\circ$  [4].

Les angles de commutation sur une période peuvent être calculés à partir du quart de période et nous aboutissons à :

- $\alpha_1=13^\circ$ ,  $\alpha_2=42^\circ$ ,  $\alpha_3=138^\circ$ ,  $\alpha_4=167^\circ$ ,
- $\alpha_5=180^\circ$ ,  $\alpha_6=193^\circ$ ,  $\alpha_7=222^\circ$ ,  $\alpha_8=318^\circ$ ,
- $\alpha_9=347^\circ$ ,  $\alpha_{10}=360^\circ$ .

La figure (5) illustre la forme d'onde qu'on doit avoir en synchronisation avec les signaux de commande de chaque interrupteur de puissance de l'onduleur.  $V_s$  : est la tension de sortie de l'onduleur multi niveaux.

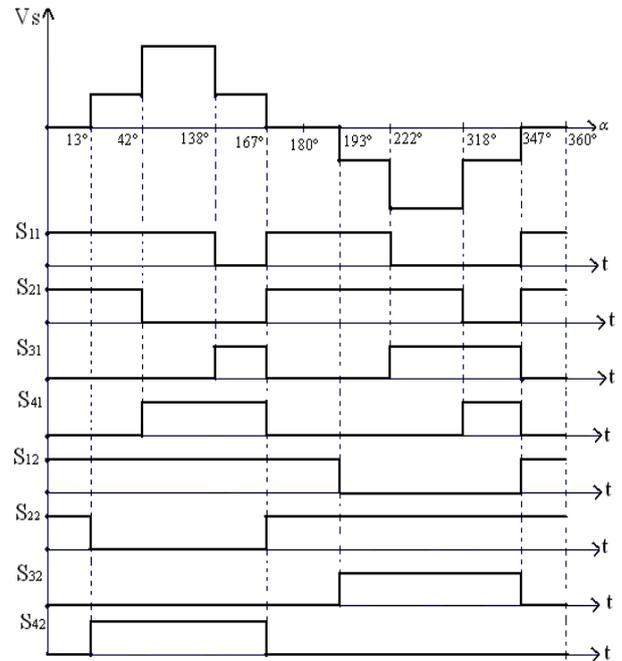


Figure (5) : Formes d'ondes des signaux de commande

Les signaux de commande que doit générer le PIC doivent donc permettre à l'onduleur de reproduire à la sortie cette forme d'onde. Chaque onduleur élémentaire pouvant fournir trois tensions (0, +E, -E), les cinq niveaux de l'onde alternative peuvent être obtenus par différentes combinaisons. Le tableau (I) résume les différentes combinaisons possibles pour chaque niveau de sortie.

V1: est la tension de sortie du premier onduleur, constitué des interrupteurs de puissance ; S11, S21, S31, S41.

V2: est la tension de sortie du second onduleur, consiste des interrupteurs de puissance ; S12, S22, S32, S42.

## VI. Partie programmation

La base de notre programme est la temporisation exacte entre deux commutations successives. La durée de chaque créneau est chronométrée par un ou plusieurs débordements du timer. Le timer déborde au bout de 256 incréments. Il déborde au bout de (256-N) incréments s'il est chargé au préalable avec une valeur N. La scrutation permanente du drapeau TOIF du registre INTCON nous permet de savoir à quel moment il y a eu débordement. La durée

de chaque incrémentation est égale à la durée d'un cycle machine multiplier par le prescaler. Nous avons choisi un seul prescaler égale à quatre pour générer toutes les temporisations. Cela donne une durée d'incrémentations égale à 4 μs.

Index des interrupteurs de puissance								Les tensions de sortie			
S11	S21	S31	S41	S12	S22	S32	S42	V1	V2	Vs	
1	0	0	1	1	0	0	1	+E1	-E2	+E3	π
1	0	0	1	1	1	0	0	E1	0	-E3	π
1	0	0	1	0	0	1	1	-E1	0	-E3	π
1	0	0	1	0	1	1	0	-E1	-E2	+E1-E2	π
1	1	0	0	1	0	0	1	0	+E2	+E2	π
1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	π
1	1	0	0	0	1	1	0	0	E2	E2	π
0	0	1	1	1	0	0	1	0	+E2	+E2	π
0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	π
0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	π
0	0	1	1	0	1	1	0	0	-E2	-E2	π
0	1	1	0	1	0	0	1	E1	E2	E1+E2	π
0	1	1	0	1	1	0	0	-E1	0	-E1	π
0	1	1	0	0	0	1	1	-E1	0	-E1	π
0	1	1	0	0	1	1	0	-E1	-E2	-E3	π

Tableau(I): Etats des interrupteurs de puissance pour un onduleur 5 niveaux

A partir du tableau à part les niveaux extrêmes (+E3,-E3), chaque niveau peut être obtenu par plusieurs combinaisons. Nous retiendrons les combinaisons qui permettent d'équilibrer les puissances entre les divers commutateurs d'un côté et les sources de tension de l'autre.

Pour l'implémentation numérique, les angles sont convertis en temps. Une période angulaire de 360° correspond à la période temporelle de fonctionnement. Dans notre cas, elle est de 20ms.

Les angles obtenus sont :

$$\alpha 1=13^\circ, \alpha 2=42^\circ, \alpha 3=138^\circ, \alpha 4=167^\circ, \alpha 5=180^\circ, \alpha 6=193^\circ, \alpha 7=222^\circ, \alpha 8=318^\circ, \alpha 9=347^\circ, \alpha 10=360^\circ.$$

Après conversion nous obtenons :

$$\alpha 1=722.2\mu s, \alpha 2=2333.3\mu s, \alpha 3=7666.6\mu s, \alpha 4=9277.7\mu s, \alpha 5=10000\mu s, \alpha 6=10722.2\mu s, \alpha 7=12333.3\mu s, \alpha 8=17666.6\mu s, \alpha 9=19277.7\mu s, \alpha 10=20000\mu s.$$

La durée de chaque intervalle peut alors être déduite:

$$\text{Alpha1} = \alpha 1 - 0 = 722.2\mu s.$$

$$\text{Alpha2} = \alpha 2 - \alpha 1 = 2333.3\mu s - 722.2\mu s = 1611.1\mu s.$$

$$\text{Alpha10} = \alpha 10 - \alpha 9 = 20000\mu s - 19277.7\mu s = 722.3\mu s.$$

Nous remarquons après calcul que seules trois temporisations doivent être gérées pour reproduire tous les signaux de commande.

$$\text{Alpha1} = \text{Alpha5} = \text{Alpha6} = \text{Alpha10} = 722.2\mu s.$$

$$\text{Alpha2} = \text{Alpha4} = \text{Alpha7} = \text{Alpha9} = 1611.1\mu s.$$

$$\text{Alpha3} = \text{Alpha8} = 5333.3\mu s.$$

Dans chaque temporisation, il y a une commutation simultanée de 2 signaux complémentaires. Les sorties correspondantes du Pic changent de niveaux et une nouvelle temporisation est programmée jusqu'à la prochaine commutation.

Comme l'onde de sortie présente une symétrie par rapport à 90° et par rapport à 180°, seules quatre durées sont nécessaires pour reproduire tout le cycle. Nous donnons ci-dessous l'organigramme général qui décrit la gestion du programme élaboré.

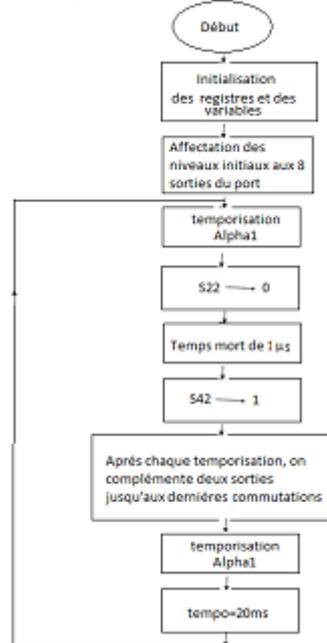


Figure 6 : organigramme de notre programmation

### VIII. Synoptique général de notre réalisation

La figure (7) illustre le schéma synoptique de notre réalisation. Il est constitué essentiellement de trois blocs. Le premier bloc consiste à générer à travers le microcontrôleur les signaux de commande de notre onduleur. Le deuxième bloc regroupe les huit interfaces de puissance avec des masses isolées. Dans ce bloc, les signaux de commande sont isolés galvaniquement de la partie puissance avant d'être mis en forme et amplifiés pour attaquer les grilles des MOSFETs constituant l'onduleur. Le transistor à effet de champ MOS est de plus en plus utilisé à cause de sa rapidité et bonne tenue en tension.

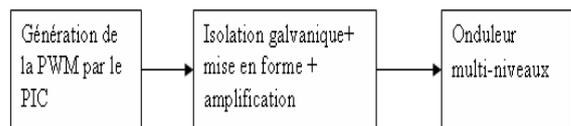


Figure (7) : synoptique général de la maquette

Pour la réalisation de l'onduleur multi-niveaux, nous avons associé deux onduleurs en pont comme le

montre la figure (8). Les MOSFETs montés en antiparallèle avec des diodes de roue libre assureront les rôles d'interrupteurs bidirectionnels.

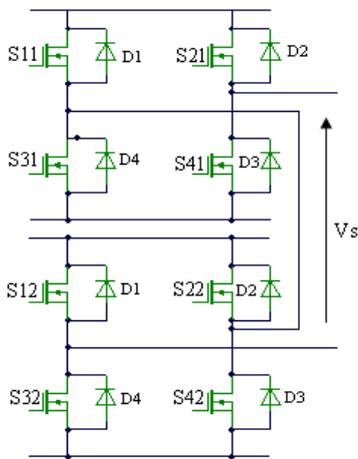


Figure (8) : onduleur multiniveaux réalisé

Le transistor MOS se commande en tension.

Pour le bloquer, on applique entre la grille et la source, une tension nulle  $v_{gs}=0$ .

Pour le saturer, il faut appliquer une tension entre la grille et la source,  $v_{gs}$  supérieure à la tension de seuil donnée par le constructeur (égale à 6V dans le cas des IRF540).

D'autre part, de par sa constitution, le MOS est équivalent entre grille et source à un condensateur (de capacité voisine de 500pf dans le cas des IRF540) qu'il faut donc charger. Il comporte également une capacité entre la grille et le drain. Ces capacités nuisent au bon fonctionnement du MOSFET et sont toutes prises en considération pour une commande optimale de la grille.

Nous avons pris comme circuit de commande grille un exemple de commande donné par le constructeur et adopté par plusieurs firmes. Ce circuit permet de fournir les pics de fort courant à l'ouverture et à la fermeture de MOSFET ce qui accélère sa commutation et réduit ses pertes.

Par ailleurs, pour ne pas court-circuiter les MOSFET chaque signal de commande doit avoir une masse indépendante. On y parvient en utilisant des alimentations indépendantes pour chaque circuit de commande. La commande consistant essentiellement à amplifier le signal fourni par la partie de faible puissance à la partie haute puissance : interface de puissance. De plus cette interface devra assurer la protection de la commande en cas d'accidents côté puissance. Une isolation galvanique à base de photo coupleurs ou de transformateur d'impulsion est nécessaire.

La figure (9) représente le schéma, électrique adopté pour la réalisation des interfaces de puissances. Le signal de commande attaque la diode photo émettrice du photo coupleur via une résistance de protection de faible valeur ( $100\Omega$ ). Les impulsions sont transmises au transistor du photo coupleur qui est polarisé par une alimentation indépendante de celle de la commande. Les inverseurs utilisés serviront à la mise en forme des signaux de commande et à fournir un courant suffisant pour saturer les transistors complémentaires montés en push-pull. Ces derniers vont fournir alternativement des pics de courant positifs et négatifs afin de saturer le MOSFET ou de le bloquer. Une résistance de ( $22\Omega$ ) est insérée devant la grille du MOSFET afin d'absorber la différence de potentiel entre l'alimentation de la carte et la tension VGS qui évolue en fonction de la charge de la capacité.

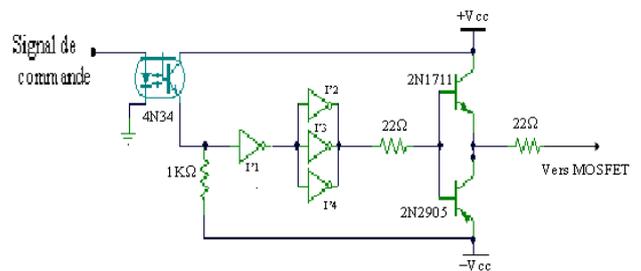


Figure (9): schéma électrique d'une interface de puissance.

Les inverseurs sont issus d'un buffer inverseur du type MC4049. Les tensions  $V_{cc}$ ,  $-V_{cc}$  et la tension d'alimentation du pic sont obtenues par l'utilisation de régulateurs linéaires du type 7808 ou 7908.

L'alimentation de l'interface de puissance est représentée par la figure (10).

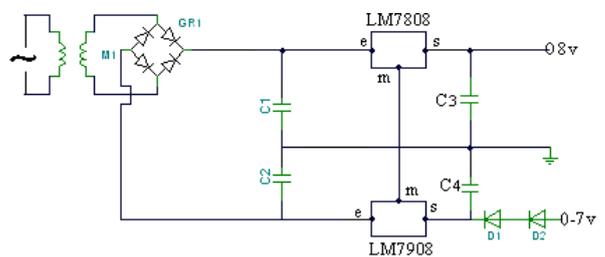


Figure (10) : schéma électrique d'alimentation de l'interface de puissance

## IX. Les résultats expérimentaux



a-

b-

La méthode adoptée est celle décrite plus haut. Le poids du premier palier est de 52% de la tension maximale qui est fixée dans notre cas à 46V. Dans ce cas, on alimente l'onduleur par 2 alimentations différentes  $E1=24v$  et  $E2=22v$ . La figure (13) montre la forme d'onde et le spectre de la tension de sortie.

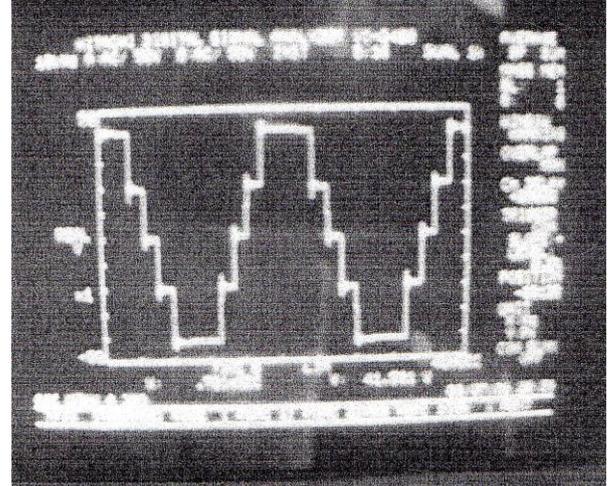


Figure (13) : la forme d'onde de la tension de sortie

La Figure (13) montre la forme d'onde de la tension de sortie

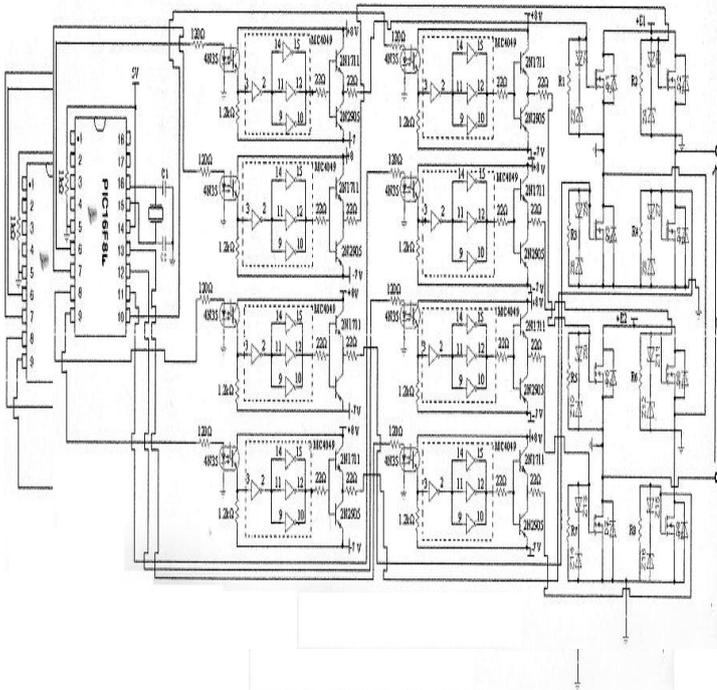
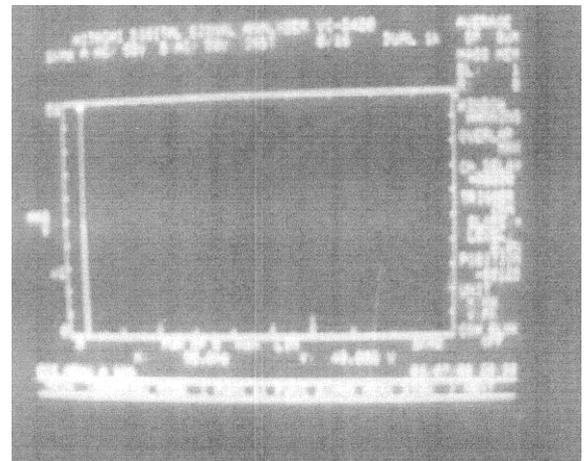


Figure (11) : photos prises de notre réalisation  
a-Interfaces de puissances avec leurs alimentations réalisés  
b- photo prise du montage de l'onduleur réalisé

Figure (12) : Schéma électrique de notre réalisation

Après la réalisation de l'onduleur et de tous ses circuits auxiliaires, nous avons exploité le côté soft pour comparer entre les deux méthodes de commande des onduleurs soient : l'élimination des harmoniques et la minimisation de la THD.

### IX1.Minimisation du taux d'harmoniques (THD)

## IX2. Elimination des harmoniques

Figure (14) : relevé expérimental du spectre de la tension de sortie

La Figure (14) montre la forme du spectre de la tension de sortie. Pour calculer le taux d'harmoniques, nous avons utilisé un analyseur de spectre pour relever les amplitudes des différents harmoniques. Nous nous sommes arrêtés au rang 61, après cela les harmoniques sont quasiment nuls.

Les amplitudes sont relevées sur la table (1).

N°= d'harmonique	Amplitude (V)
Fondamental (1)	50.780
3	1.220
5	3.017
7	1.734
9	1.846
11	2.704
13	4.532
15	1.791
17	0.588
19	0.226
21	1.324
23	0.098
25	2.038
27	1.689
29	0.120
31	0.092
33	0.836
35	0.673
37	0.773
39	1.366
41	0.502
43	0.109
45	0.429
47	0.826
49	0.046
51	0.902
53	0.678
55	0.035
57	0.147
59	0.697
61	0.240

Table (1) : Diverses amplitudes obtenues pour les diverses raies de l'analyse spectrale

En calculant le taux d'harmonique THD, on trouve : THD=15.73%

L'onduleur est alimenté par deux alimentations identiques  $E = 23V$ . La figure (15) montre la forme d'onde et le spectre de la tension de sortie [7].

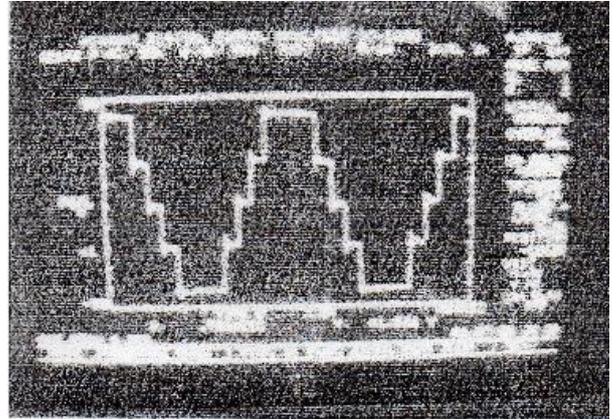


Figure (15) : la forme d'onde de la tension de sortie

La Figure (15) montre la forme d'onde de la tension de sortie .

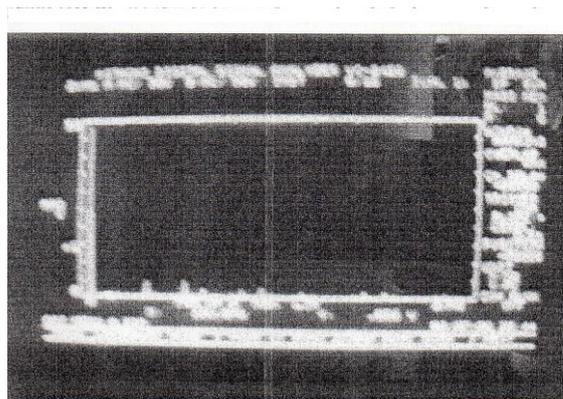


Figure (16) : spectre de la tension de sortie

La Figure (16) montre la forme du spectre de la tension de sortie. Les résultats expérimentaux montrent que seuls les harmoniques 3 et 5 sont nuls. Les amplitudes des différents harmoniques sont reportées sur la table (2).

N°= d'harmonique	Amplitude (V)
<b>Fondamental (1)</b>	<b>48.750</b>
<b>3</b>	<b>0</b>
<b>5</b>	<b>0</b>
<b>7</b>	<b>4.320</b>
<b>9</b>	<b>0.020</b>
<b>11</b>	<b>4.460</b>
<b>13</b>	<b>2.300</b>
<b>15</b>	<b>0.020</b>
<b>17</b>	<b>1.800</b>
<b>19</b>	<b>2.560</b>
<b>21</b>	<b>0.030</b>
<b>23</b>	<b>1.300</b>
<b>25</b>	<b>0.035</b>
<b>27</b>	<b>0.027</b>
<b>29</b>	<b>1.700</b>
<b>31</b>	<b>1.540</b>
<b>33</b>	<b>0.026</b>
<b>35</b>	<b>0.030</b>
<b>37</b>	<b>0.810</b>
<b>39</b>	<b>0.020</b>
<b>41</b>	<b>1.160</b>
<b>43</b>	<b>0.670</b>
<b>45</b>	<b>0.019</b>
<b>47</b>	<b>0.650</b>
<b>49</b>	<b>0.970</b>
<b>55</b>	<b>0.020</b>
<b>57</b>	<b>0.020</b>
<b>59</b>	<b>0.810</b>
<b>61</b>	<b>0.770</b>

Table 2 : Diverses amplitudes obtenues pour les diverses raies de l'analyse spectrale

En calculant le taux d'harmonique THD, on trouve, THD=16.73%.

Nous avons calculé la THD pour les deux techniques de commande qui sont l'élimination sélective des harmoniques et la minimisation de la THD. Nous en concluons que la seconde présente une THD inférieure à la première. Elle sera donc plus appropriée pour une utilisation avec des sources d'énergie renouvelable [8] où les pertes causées par les filtres diminuent le rendement du convertisseur.

## X.Conclusion

Nous avons utilisé un onduleur monophasé à 2 ponts, pour obtenir une tension de sortie à 5 niveaux, la technique adoptée est la technique de

minimisation de taux d'harmonique THD. On a utilisé la technique de minimisation du taux d'harmoniques et on l'a comparé avec la technique de d'élimination des harmoniques. L'utilisation d'un microcontrôleur du type PIC16F84, dans le cas où il est utilisé pour la gestion de temporisations successives en temps réel.

Pour la réalisation de l'onduleur, nous avons utilisé les MOSFETs ; des composants à commutations très rapides mais dont la manipulation nécessite un soin particulier et une attention accrue. Leur commande de grille doit être particulièrement adaptée à leurs caractéristiques spécifiques. Nous avons calculé la THD pour les deux techniques de commande qui sont l'élimination sélective des harmoniques et la minimisation de la THD. Nous en concluons que la seconde présente une THD inférieure à la première. Elle sera donc plus appropriée pour une utilisation avec des sources d'énergie renouvelable où les pertes causées par les filtres diminuent le rendement du convertisseur. La technique d'élimination des harmoniques sera réservée aux convertisseurs associés à des filtres.

## Références

- [1] Siroj Sirisukprasert, optimized harmonic stepped waveform for multilevel inverter; these de master 1999, Blacksburg, Virginia.
- [2] Zhang, Xiaotian; Spencer, Joseph W., Study of Multisampled Multilevel Inverters to Improve Control Performance, IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS Vol.27 Issue: 11, NOV 2012, pp: 4409-4416.
- [3] J. Kumar et al., "Selective harmonic elimination Technique for a multilevel inverter," in Fifteenth national Power SYstem Conference, (NPSC) IIT Bombay, 2008, pp.608-613.
- [4] K.A. Corzine, M.W Wielebski, FZ, Peng, J. Wang, control of cascaded multilevel inverters, IEEE transactions on Power Electronics, 2004, pp. 732-738.
- [5] Saribulut, Lutfu; Teke, Ahmet; Meral, M. Emin; et al., Computer simulation and experimental implementation of a PIC-controlled hybrid multilevel inverter for undergraduate laboratories, COMPUTER APPLICATIONS IN ENGINEERING EDUCATION Vol.20 Issue: 3, SEP 2012, pp. 445-453.
- [6] Fz Zerhouni, M. Zegrar, Réalisation d'une commande d'un onduleur triphasé à cinq niveaux avec vérification expérimentale, Journal of Scientific Research, Number : 4, issue 1, 2012, pp. 30-35.
- [7] Colak, Ilhami; Kabalci, Ersan, Developing a novel sinusoidal pulse width modulation (SPWM) technique to eliminate side band harmonics, INTERNATIONAL JOURNAL OF ELECTRICAL ,POWER & ENERGY SYSTEMS Volume: 44 Issue: 1, JAN 2013, pp. 861-871
- [8] Tolbert, L.M.; Peng, Multilevel converters as a utility interface for renewable energy systems Power Engineering Society Summer Meeting, 2000, IEEE, 2, 2000, pp.1271- 1274.

---

## **Journal of Scientific Research**

**P.O.Box 417 route de Kenadsa**

**08000 Bechar - ALGERIA**

**Tel: +213 (0) 49 81 90 24**

**Fax: +213 (0) 49 81 52 44**

**Editorial mail: [jrs.bechar@gmail.com](mailto:jrs.bechar@gmail.com)**

**Submission mail: [submission.bechar@gmail.com](mailto:submission.bechar@gmail.com)**

**Web: <http://www2.univ-bechar.dz/jrs/>**

---