

Réalisation et commande d'une cascade convertisseur boost-onduleur solaire à trois niveaux pour systèmes photovoltaïques

Rachid TALEB¹, Abderrahmen BOUHANI BEN ZIANE¹, Habib BENBOUHENNI²

¹Université Hassiba Benbouali de Chlef, Laboratoire LGEER, Chlef, Algérie

²Département de Génie Electrique, Ecole Nationale Polytechnique d'Oran, Oran, Algérie
rac.taleb@yahoo.fr

Abstract— Afin d'améliorer le rendement du système photovoltaïque (PV), autrement dit, maximiser la puissance délivrée à la charge reliée aux bornes du générateur photovoltaïque, plusieurs moyens d'optimisation ont été appliqués, et des techniques suivies pour obtenir une bonne adaptation et un rendement élevé. Parmi ces moyens, l'amélioration de la qualité de la tension de sortie de l'onduleur par l'utilisation d'onduleurs multiniveaux. Les structures à base d'onduleurs multiniveaux ont apporté un plus indéniable à la conversion continue alternative, surtout dans les applications de grandes puissances. Cet article présente la simulation et la réalisation de la cascade hacheur boost-onduleur solaire à trois niveaux pour systèmes photovoltaïques.

Keywords— convertisseur boost, Onduleur solaire à trois, Sources photovoltaïques.

I. INTRODUCTION

Depuis plus de dix ans, le marché mondial des systèmes photovoltaïques connaît un taux de croissance très élevé, de l'ordre de 30% à 40% par an, dû en particulier aux installations raccordées au réseau électrique de distribution [1]. Cette croissance exceptionnelle passe nécessairement par des innovations technologiques et une baisse des coûts des modules photovoltaïques, mais également par des efforts significatifs de recherche et de développement, notamment dans le domaine de l'électronique de puissance.

Les performances techniques et la robustesse des onduleurs utilisés pour le raccordement des modules photovoltaïques au réseau de distribution d'électricité sont des éléments-clés qui peuvent fortement impacter la production d'énergie électrique et par conséquent, la rentabilité financière d'un système [2].

Les interrupteurs de puissance des onduleurs peuvent être soumis à de fortes contraintes en tension. Ces composants doivent en particulier être en mesure de bloquer la pleine tension imposée par le bus continu de la chaîne photovoltaïque. La répétition de ces contraintes peut conduire à la limitation de l'endurance du convertisseur.

Le générateur photovoltaïque présente une caractéristique non linéaire en termes de la puissance produite en fonction de l'éclairement et la température, dans ce cas, la connexion directe entre la source et l'onduleur indique un écart très important entre la puissance potentielle par rapport à la

puissance transférée en consommation [3]. Afin d'extraire une puissance optimale à tout instant, un étage d'adaptation doit être introduit, jouant un rôle d'interface entre les deux éléments, ce quadripôle est un hacheur boost contrôlé par une commande MPPT (Maximum Power Point Tracking) [4-7].

Dans cet article, nous présentons en premier lieu la modélisation et la commande du convertisseur boost, ensuite la modélisation et la stratégie de commande de l'onduleur à trois niveaux à structure NPC. Enfin, nous présenterons quelques résultats expérimentaux de l'application de notre système sur une charge RL.

II. HACHEUR BOOST

Lorsque l'on désire augmenter la tension d'une source continue, on peut utiliser le hacheur parallèle de type Boost, appelé également hacheur survolteur. Ce dispositif de l'électronique de puissance est un convertisseur continu-continu mettant en œuvre un ou plusieurs interrupteurs commandés et qui permet de modifier la valeur de la tension d'une source de tension continue avec un rendement élevé ; le découpage se fait à une fréquence très élevée ce qui a pour conséquence de créer une tension moyenne.

Les hacheurs de puissance sont utilisés pour la variation de vitesse des moteurs à courant continu. De même, les véhicules hybrides ainsi que les systèmes d'éclairage sont deux exemples typiques d'utilisation de ces hacheurs [8-10]. Le modèle du convertisseur Boost avec un régulateur PID : $L=100e-6H$, $C=100e-6F$.

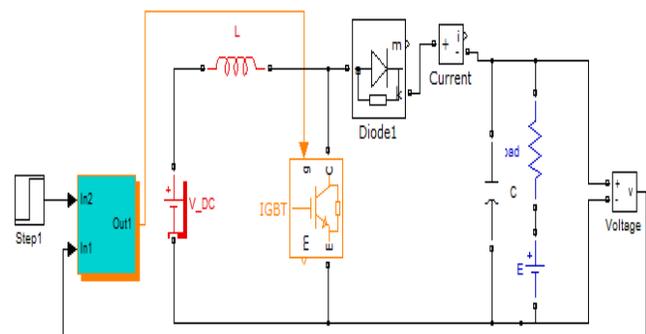


Fig. 1. Convertisseur Boost DC/DC avec régulateur PID

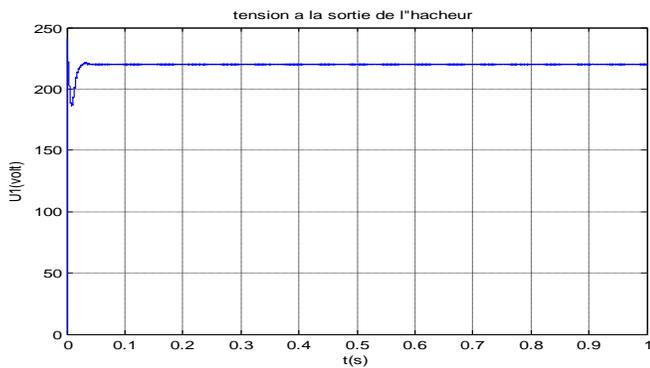


Fig. 2. Tension à la sortie du convertisseur Boost

III. COMMANDE MPPT

Pour éviter les inconvénients liés à l'interruption fréquente de l'exploitation du système, on propose l'utilisation d'une cellule pilote. C'est une cellule photovoltaïque simple qui est électriquement indépendante du reste de la rangée photovoltaïque. Sa tension V_{oc} est constamment mesurée, elle fournit donc l'information implicite du reste des conditions de fonctionnement courantes du panneau. V_{oc} de la cellule pilote est multipliée par un certain facteur constant pour être comparée à la tension de référence de la boucle de contre réaction. Puisque cette méthode emploie toujours un facteur fixe pour estimer la tension optimale V_{mp} d'une valeur mesurée de V_{oc} , le point de puissance maximal n'est toujours pas vraiment obtenu. Cette technique est fondée sur la connaissance des caractéristiques de la rangée photovoltaïque pour estimer le lieu du point de puissance maximale [6].

Le but global est d'augmenter la puissance de sortie dans la rangée solaire. Dans certains travaux on propose de maximiser la puissance fournie à la charge. Pour avoir une conception qui est indépendante du type de charge, il est donc préférable de poursuivre une maximisation de l'énergie solaire à la sortie du panneau.

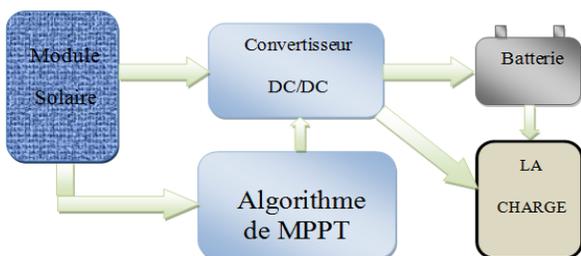


Fig. 3. Schéma de la méthode à contre réaction de puissance

Si la recherche du point de puissance maximal doit être réalisée, il est nécessaire d'obtenir des informations sur la puissance réelle extraite à partir de la rangée photovoltaïque. Ceci peut être fait en mesurant la tension V et le courant I de sortie du panneau et puis en multipliant ces deux paramètres, on obtient la valeur réelle de la puissance de sortie du panneau $P = V.I$. Ces valeurs sont utilisées par diverses méthodes qui recherchent le point de puissance maximale réelle de la rangée photovoltaïque.

La méthode de perturbation et observation (P&O) est une approche largement répandue à MPPT. Elle utilise un microprocesseur avec les valeurs de la tension V et du courant I du panneau comme ses valeurs d'entrée et la tension désirée de fonctionnement V_{ref} en tant que sa valeur de sortie. Ce processus fonctionne par une perturbation du système en augmentant ou en diminuant la tension de fonctionnement du panneau et observer son effet sur la puissance de sortie de la rangée. La figure 4 montre l'organigramme de l'algorithme de P&O tel qu'il doit être implémenté dans le microprocesseur de contrôle [11, 12].

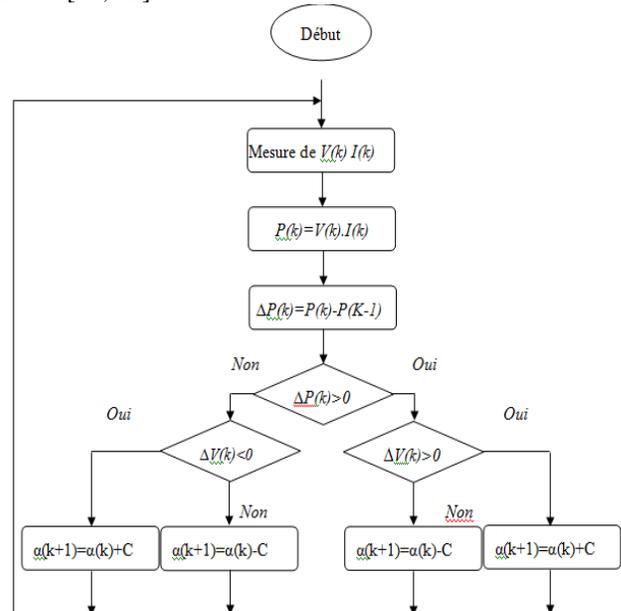


Fig. 4. Organigramme de la méthode à contre réaction de puissance

La fig. 4 montre l'organigramme de l'algorithme de P&O tel qu'il doit être implémenté dans le microprocesseur de contrôle. Le fonctionnement de cet algorithme est comme suit : D'abord la tension V et le courant I sont mesurés pour calculer la puissance $P(k)$. Cette valeur $P(k)$ est comparée à la valeur de la puissance obtenue durant la dernière mesure $P(k-1)$.

- Si la puissance fournie par le panneau a augmenté depuis la dernière mesure, l'incrément ou la d'incrément du rapport cyclique d continuera dans le même sens que lors du dernier cycle et ceci est fait par le test sur dV .

- Si $dV > 0$ cela veut dire qu'on a incrémenté V durant le dernier cycle c'est-à-dire $\alpha(k+1) = \alpha(k) + C$.

- Si $dV < 0$ cela veut dire qu'on a décrémenté V durant le dernier cycle c'est-à-dire qu'on va mettre $\alpha(k+1) = \alpha(k) - C$ donc on termine dans le chemin où P continue a augmenté.

- Si la puissance fournie par le panneau a diminué depuis la dernière mesure, l'incrément ou la d'incrémentations du rapport cyclique α sera en sens inverse par rapport au dernier cycle et ceci est fait aussi par le test sur dV . Avec cet algorithme la tension de fonctionnement V est perturbée avec chaque cycle. Dès que le MPP sera atteint, V oscillera autour du point de fonctionnement idéal (V_{mp}).

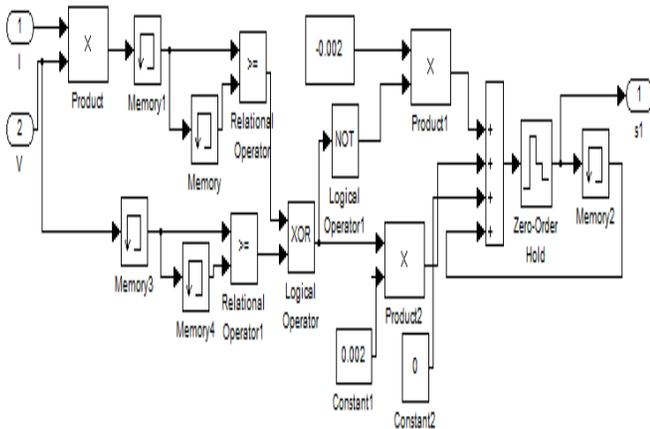


Fig. 5. Méthode de perturbation et observation (P&O) de puissance

IV. STRUCTURE DE L'ONDULEUR SOLAIRE TRIPHASÉ A TROIS NIVEAUX

L'onduleur triphasé à trois niveaux à structure NPC qu'on va étudier, comporte deux sources de tension continue et trois bras symétriques. Chaque bras est constitué de quatre paires (diode-transistor), représentant chacune un interrupteur bidirectionnel et deux diodes médianes, DD_{k0} et DD_{k1} , permettant d'avoir le niveau zéro de la tension de sortie de l'onduleur. Cette structure impose l'utilisation des interrupteurs commandables à l'amorçage et au blocage. La structure NPC utilise deux tensions d'entrée : U_{C1} et U_{C2} . Elle consiste à créer un point milieu sur l'étage de tension continue de valeur E ($U_{C1} + U_{C2} = E$), permettant de générer des créneaux d'amplitude $-E/2$, 0 , $+E/2$ dont la combinaison permet d'avoir une onde plus proche de la sinusoïde qu'avec la structure classique d'onduleur à deux niveaux.

Pour une tension d'entrée E , les interrupteurs d'un onduleur à trois niveaux supportent la moitié de la tension supportée par ceux d'un onduleur à deux niveaux. La figure 6 présente la structure d'un onduleur triphasé à trois niveaux [13-15].

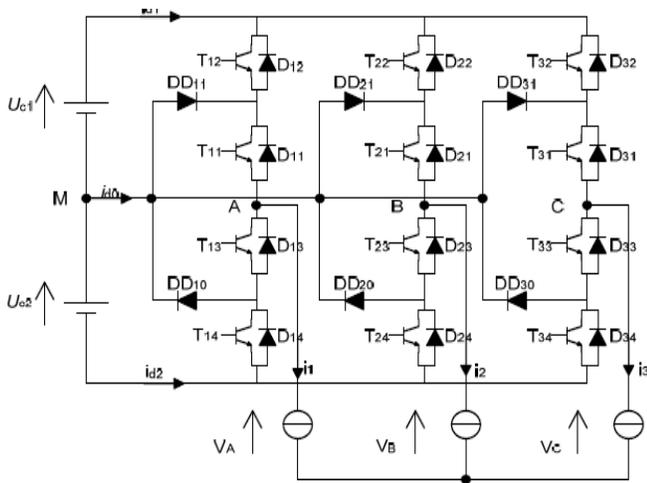


Fig. 6. Schéma d'un onduleur solaire triphasé à trois niveaux à structure NPC

Les figures 7 et 8 présentent la simulation d'un onduleur solaire triphasé à trois niveaux.

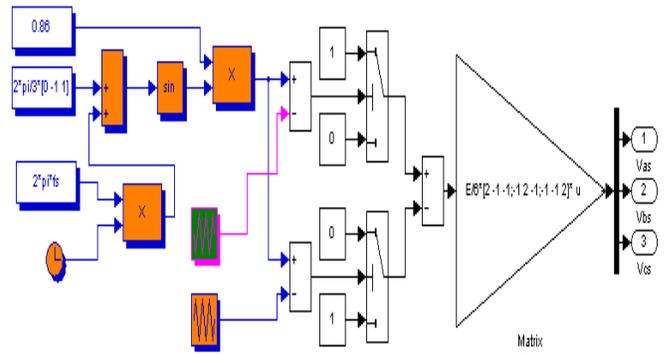


Fig. 7. Schéma simulink de fonctionnement de l'onduleur de tension

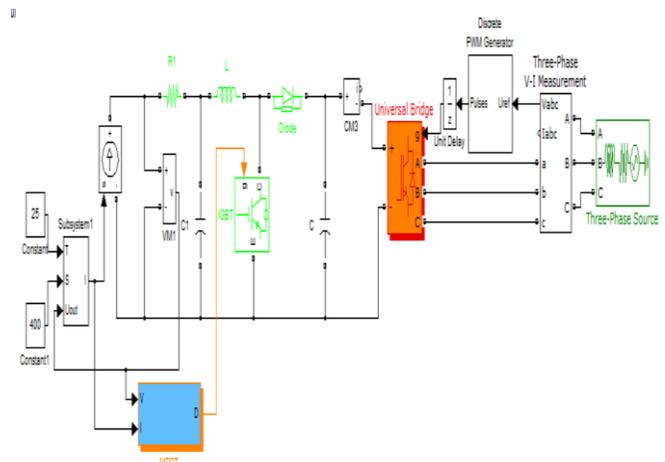


Fig. 8. Schéma globale Hacheur et l'onduleur

Le port parallèle est basé sur une architecture assez ancienne mais très simple à utiliser, ce qui en fait l'interface de prédilection pour tout électronicien amateur. Comme son nom l'indique, il fournit, entre autres, 8 broches de données directement utilisables et ne nécessitant pas de circuits d'interfaces supplémentaires pour réaliser des tâches simples.

Pour la commande d'IGBT on a utilisé les registres à la sortie du port LPT pour sauvegarder l'information. Figure 9 présente un schéma de commande ou l'interface de communication.

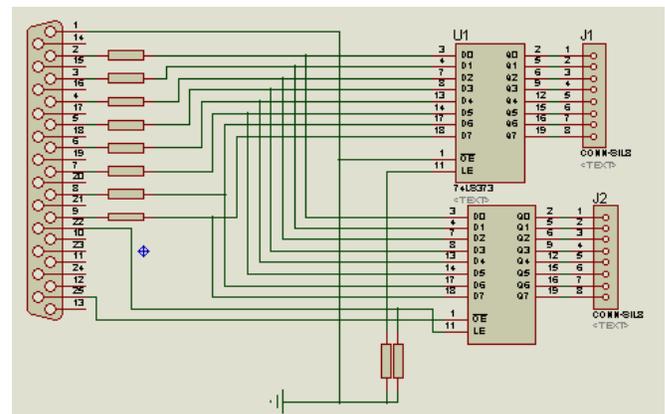


Fig. 9. Interface des sorties digitales

V. RESULTATS

Le choix du transistor IGBT se fait à partir des caractéristiques électriques de la charge. Pour notre cas, il faut choisir un transistor qui supporte au minimum une tension de 600V et un courant de 5A, comme notre commande est basée sur les différentes stratégies de commande du convertisseur, le transistor doit pouvoir commuter à des fréquences supérieures à la fréquence de hachage F_s utilisée.

Le dispositif qui convient à cette application est L'IGBT BUP307D qu'a les caractéristiques: 1200V, 32A. La diode quant à elle est de type RHRP 1540, permet de passer un courant de 15A, et de bloquer une tension de 600V.

Pour la commande des IGBT on utilise plusieurs méthodes, dans cette réalisation on a utilisé un circuit d'un générateur de tension positif et négative, et composé d'un transformateur de tension 220/12V, puis utilise quatre transistors BC545, la figure 10 présente le circuit de commande des IGBT.

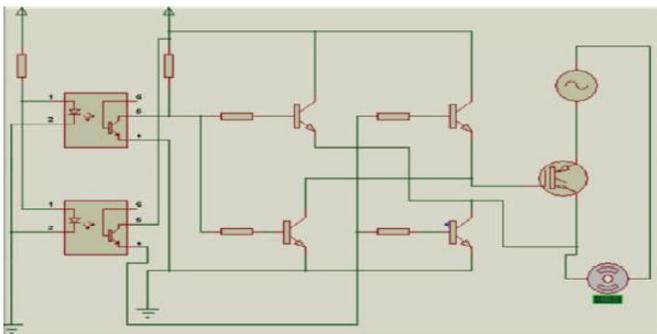


Fig. 10. Circuit de commande d'un IGBT



Fig. 11. Photo du circuit de commande d'un IGBT



Fig. 12. Photo d'un onduleur solaire à trio niveaux triphasé

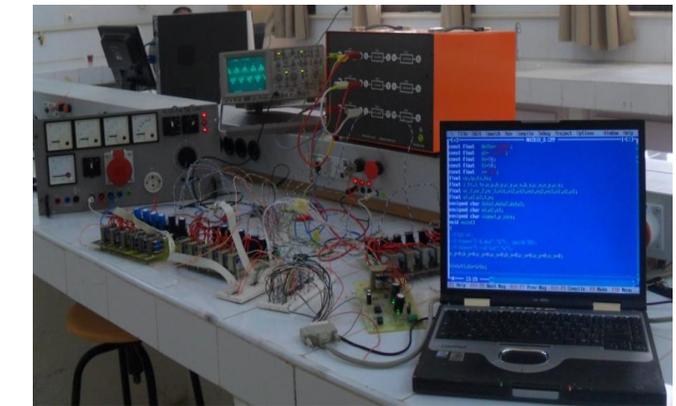
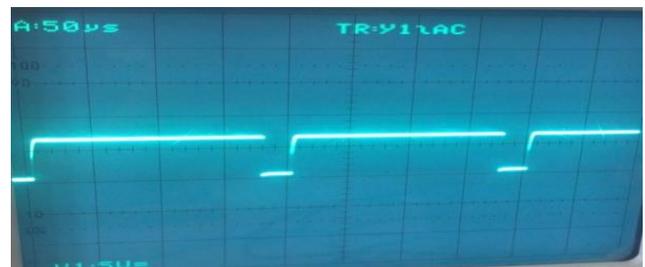


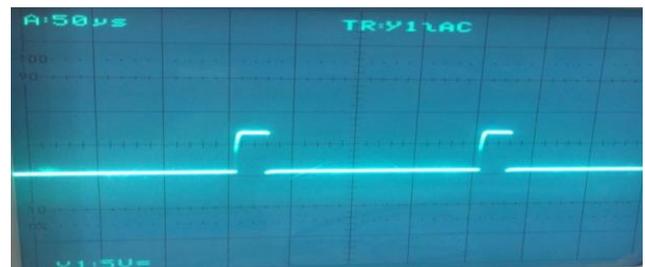
Fig. 13. Photo du banc d'essai expérimental



(a)

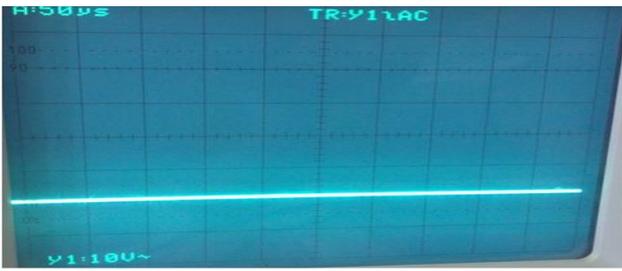


(b)

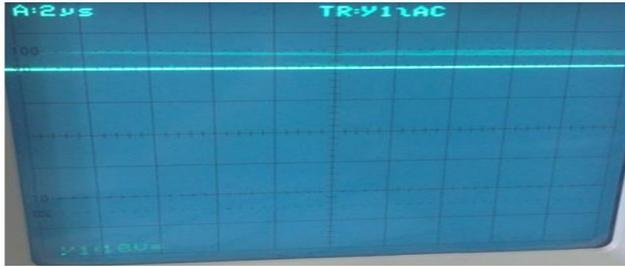


(c)

Fig. 14. Forme du signal aux bornes de l'optocoupleur avec rapports: a) $\alpha = 80\%$, b) $\alpha = 50\%$, c) $\alpha = 20\%$



(a)



(b)

Fig. 15. a) tension d'entrée, b) tension de sortie

Les signaux de commande d'un bras de l'onduleur sont déterminés par la comparaison de deux porteuses triangulaires et d'une référence sinusoïdale (figure 16). Les paramètres proposés sous réalisation: $R = 7\Omega$, $L = 0.011H$, $r = 0.86$, $K = 5Kh$. Les figures 17-20 présentent les tensions aux bornes de la charge.

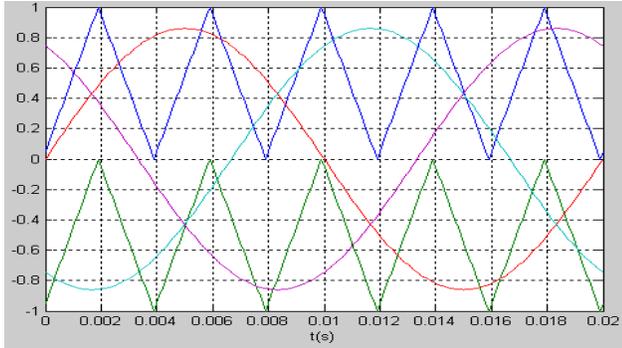


Fig. 16. Principe de la commande PWM



Fig. 17. Tension simple aux bornes de la charge avec $f_r = 10Hz$ et $r = 0.86$

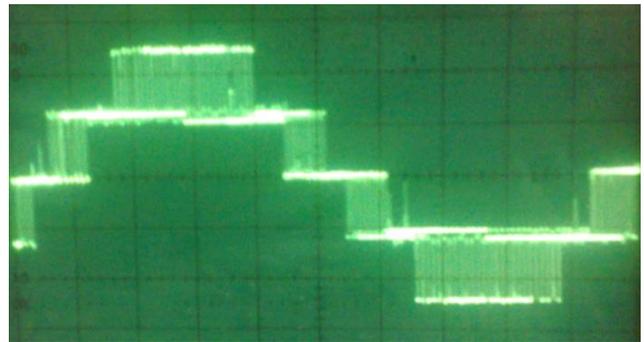


Fig. 18. Tension composée aux bornes de la charge avec $f_r = 10Hz$ et $r = 0.86$

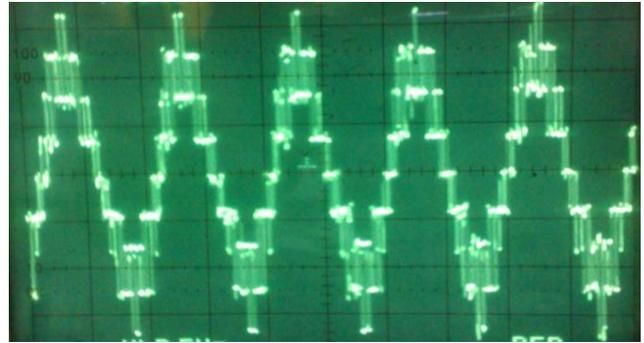


Fig. 19. Tension simple aux bornes de la charge avec $f_r = 50Hz$ et $r = 0.86$

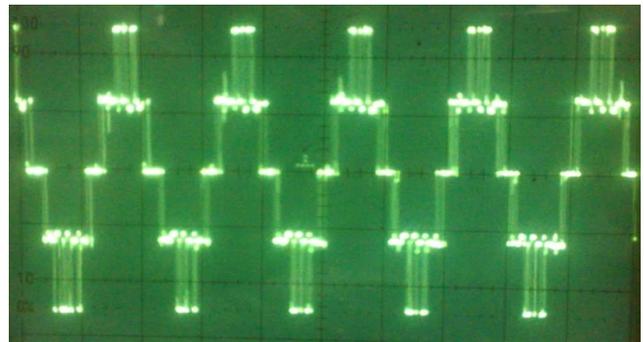


Fig. 20. Tension composée aux bornes de la charge avec $f_r = 50Hz$ et $r = 0.86$

VI. CONCLUSION

Le premier objectif de notre travail est l'étude des convertisseurs de puissance et leurs commandes et le deuxième objectif consiste à l'amélioration de leurs performances statiques et dynamiques. C'est à dire augmenter la performance et la robustesse vis à vis des variations paramétriques, limiter les pertes par commutation et par conduction, simplifier la mise en œuvre des différentes lois de commande. Un système économique de convertisseur pour convertir une tension continue fournie par des panneaux solaires en une tension alternative (onduleur à trio-niveaux) d'une fréquence de 50 hertz pour l'alimentation des charges alternatives. L'utilisation de l'ordinateur PC comme organe de commande a montré les avantages de ce type de commande tels que la possibilité de modifier le fonctionnement sans la modification de la structure hardware.

REFERENCES

- [1] K.K. Prajapat, A. Katariya, A. Kumar, S. Shukla, *Simulation and Testing of Photovoltaic with Grid Connected System*, Proceedings of the International conference on computational intelligence and communication networks, pp. 692-697, 2011.
- [2] A. Soualmia, R. Chenni, *A survey of maximum peak power tracking techniques used in photovoltaic power systems*, Future Technologies Conference (FTC), San Francisco, CA, USA, pp. 430-443, 2016.
- [3] S. Izumi, Y. Karakawa, X. Xin, T. Yamasaki, *Stability analysis of power systems with photovoltaic generators*, IEEE 55th Conference on Decision and Control (CDC), Las Vegas, NV, 2016, pp. 4136-4141, 2016.
- [4] J.E. Salazar-Duque, E.I. Ortiz-Rivera, J. González-Llorente, *Modified perturb and observe MPPT algorithm based on a narrow set of initial conditions*, IEEE ANDESCON, Arequipa, Peru, pp. 1-4, 2016.
- [5] U.U. Khan, M. Raheem, S. Ata, Z.H. Khan, *Design and implementation of a low-cost MPPT controller for solar PV system*, International Conference on Open Source Systems & Technologies (ICOSST), Lahore, Pakistan, pp. 156-163, 2016.
- [6] V.M. Tovar-Olvera, A. Loredó-Flores, E. Bárcenas, *Improved P&O algorithm for distributed MPPT PV configurations*, International Autumn Meeting on Power, Electronics and Computing (ROPEC), Ixtapa, Zihuatanejo, Mexico, pp. 1-6, 2016.
- [7] K.T. K. Teo, P.Y. Lim, B.L. Chua, H.H. Goh, M.K. Tan, *Maximum Power Point Tracking of Partially Shaded Photovoltaic Arrays Using Particle Swarm Optimization*, 4th International Conference on Artificial Intelligence with Applications in Engineering and Technology, Kota Kinabalu, pp. 247-252, 2014.
- [8] P. Mangaiyarkarasi, A. Kavitha, *Dynamics and control of voltage multiplier cells integrated boost converter*, in IET Circuits, Devices & Systems, vol. 11, no. 1, pp. 68-79, 2017.
- [9] C.M. Wang, C.H. Lin, C.C. Wu, C.W. Chuang, *A soft-switching interleaved boost DC/DC converter*, 9th International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS), Chiba, Japan, pp. 1-5, 2016.
- [10] R.K. Panda, A. Mohapatra, S.C. Srivastava, *A Lyapunov based controller for boost converter to integrate solar photovoltaic source*, IEEE Innovative Smart Grid Technologies-Asia (ISGT-Asia), Melbourne, VIC, pp. 599-604, 2016.
- [11] K. Sundareswaran, V. Vigneshkumar, S.P. Simon, P.S.R. Nayak, *Gravitational search algorithm combined with P&O method for MPPT in PV systems*, IEEE Annual India Conference (INDICON), Bangalore, India, pp. 1-5, 2016.
- [12] A. Saidi, C. Benachaiba, *Comparison of IC and P&O algorithms in MPPT for grid connected PV module*, 8th International Conference on Modelling, Identification and Control (ICMIC), Algiers, pp. 213-218, 2016.
- [13] X. G. Wang, Y. Zhao, X.H. Li, W. Xu, *Improved finite-control-set model predictive control algorithm for disc coreless permanent magnet synchronous motor based three-level NPC inverter*, IEEE International Conference on Applied Superconductivity and Electromagnetic Devices (ASEMD), Shanghai, pp. 211-212, 2015.
- [14] Z. Weifeng, C. Yanbo, G. Leijiao, T. Wen, *Study on double modulation wave carrier-based PWM for three-level neutral-point-clamped inverters*, 5th International Conference on Power Electronics Systems and Applications (PESA), Hong Kong, pp. 1-5, 2013.
- [15] S. Das, G. Narayanan, M. Pandey, *Space-Vector-Based Hybrid Pulsewidth Modulation Techniques for a Three-Level Inverter*, in IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 29, no. 9, pp. 4580-4591, 2014.