

Article 5. Onduleur triphasé nouveau modèle, économique, à faible taux d'harmoniques de sortie

Maharo RAKOTOARIMANANA¹, Mirantsoa Volana RANDRIAMANDIMBISOA¹, Fanajanirina RAZAFISON¹, Harlin ADRIATSIHOARANA², Georgette RAMANANTSIZEHENA³

¹Institut Supérieur de Technologie d'Antananarivo, ²Ecole Supérieure polytechnique d'Antananarivo, ³Faculté des Sciences Université d'Antananarivo

Correspondant : rakotoarimanamaharo@gmail.com

Résumé :

L'efficacité énergétique, l'industrie et l'énergie propre sont des piliers du développement durable. L'électronique qui permet la manipulation des signaux électriques est incontournable dans les installations industrielles et énergétiques. Les onduleurs qui convertissent les tensions continues en tensions alternatives sont parmi les montages les plus utilisés dans les domaines de l'automatisation et des énergies renouvelables. Outre le prix des composants et la difficulté de mise en œuvre de ce convertisseur, des harmoniques qui sont des signaux de fréquences multiples à celle de la fondamentale sont présentes à la sortie, ce qui réduit la durée de vie de toute l'installation, de l'onduleur aux charges utiles. L'objectif des travaux est de concevoir un onduleur triphasé économique dont la valeur efficace de la tension de sortie est fixe avec de faibles taux d'harmoniques de rang 3, 5 et 7, 9 et 11 (les plus dangereuses) tout en facilitant la mise en œuvre de la commande. Un nouveau modèle de montage d'onduleur à sortie triphasée, économique, est alors utilisé. Une stratégie de commande réfléchie nécessitant vitesse et précision est adoptée, la modulation de largeur d'impulsions. Les cartes électroniques Arduino Nano, programmable et abordable, et Field Programmable Gate Array Cyclone III, semi-programmable et facile à implémenter, sont mises en œuvre pour générer ces signaux de commandes. L'efficacité de l'ensemble est vérifiée à travers la simulation avec les logiciels ISIS Proteus et Matlab Simulink. L'onduleur ainsi conçu est efficace, performant car à faible taux d'harmoniques, économique et surtout réalisable et maintenable à Madagascar.

Mots clés : Electronique, Onduleur triphasé, Nouveau modèle, Harmonique, Modulation de Largeur d'Impulsions

Introduction

Dans le contexte actuel de la concurrence mondialisée, les outils de production font quotidiennement l'objet d'évolutions technologiques pour le développement de l'industrie ainsi que la maîtrise et l'efficacité énergétique. L'électronique est l'un des piliers de ces technologies, ceci à travers l'automatisation et les convertisseurs. En effet, les convertisseurs électroniques permettent la maîtrise de l'énergie électrique pour une utilisation plus souple, quelle que soit la source, surtout avec l'avènement des énergies renouvelable.

Un onduleur convertit une tension continue en une tension alternative. Il nécessite un montage d'interrupteurs électroniques, une stratégie et un circuit de commande précise et murement réfléchi pour être performant et compétitif. De plus, les harmoniques de rang impair faible, de tensions de sortie, doivent être éliminées, car elles sont néfastes aux installations. Et enfin, il faut faciliter la mise en œuvre du circuit de commande pour une conception sûre et efficiente.

L'objectif des travaux est de concevoir un onduleur triphasé économique dont la valeur efficace de la tension de sortie est fixe avec de faibles taux d'harmoniques de rang 3, 5 et 7, 9 et 11 tout en facilitant la mise en œuvre de la commande.

L'atteinte de cet objectif est conditionnée par la disponibilité et l'efficacité des technologies et des ressources de mise en œuvre.

La méthodologie consiste à commander l'onduleur par MLI précalculées, générées par un circuit programmé ou semi-programmé, ceci en adoptant un nouveau modèle de montage à 12 transistors.

On s'attend à obtenir un montage dont l'effectivité est prouvée par les allures et les spectres des signaux de puissance de sortie avec le programme et les signaux de commande correspondants. Sur le long terme est prévue la maîtrise de la technologie à travers sa mise en application industrielle.

Matériel et méthodes

Les travaux sont essentiellement effectués à l'aide de l'outil informatique dans le laboratoire de physique de l'Institut Supérieur de Technologie d'Antananarivo. Les logiciels utilisés étant Quartus II, Modelsim, ISIS Proteus, Arduino et Matlab Simulink ; les matériels l'outil FPGA Starter Kit d'Altera et Arduino Nano.

La méthodologie adoptée consiste à l'étude des circuits, la conception et mise en œuvre et enfin la simulation informatique pour validation des résultats.

Cadre théorique :

Montage de puissance d'un onduleur monophasé nouveau modèle :

Sur la Figure 16, quand le courant dans la charge est positif, il passe à travers T1, la charge (R, L) en série et l'alimentation E1.

Quand T1 est bloqué, T4 est commandé pour assurer la circulation du courant dans la charge. Le courant passe à travers T4, D3. Il a une allure exponentielle décroissante.

Dans la première demi-période, T1 et T4 sont commandés alternativement.

Pour assurer la circulation dans le sens négatif, T1 est bloqué et T2 est allumé.

Durant la deuxième moitié de la période, T2 et T3 sont commandés alternativement.

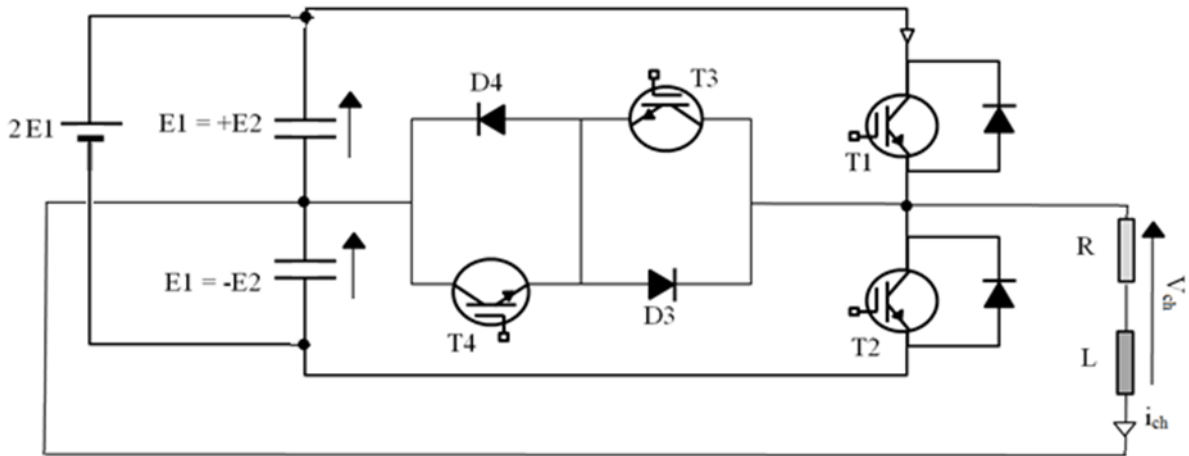


Figure 16 Montage de puissance d'un onduleur monophasé nouveau modèle

Stratégie de commande :

L'élimination des harmoniques est obtenue par l'introduction de « fentes » dans une forme d'onde rectangulaire. Les mathématiciens ont alors précalculé les valeurs

$$\beta_1 = 18,17^\circ ; \beta_2 = 26,64^\circ ; \beta_3 = 36,87^\circ ; \beta_4 = 52,9^\circ ; \beta_5 = 56,69^\circ$$

qui permettraient d'éliminer les harmoniques de rang 3, 5, 7, 9 et 11 comme le montre la Figure 17:

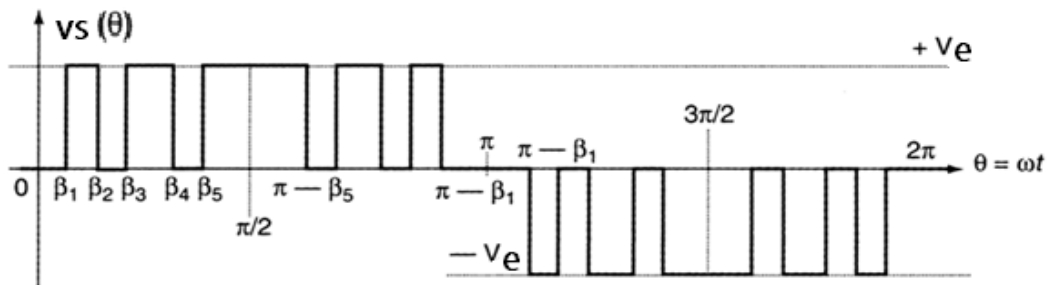


Figure 17 Allures de la tension de sortie d'un onduleur commandé par MLI précalculés à 5 angles

Cadre pratique :

Circuit de puissance :

Le montage de la Figure 16 est répété trois fois pour réaliser un onduleur triphasé :

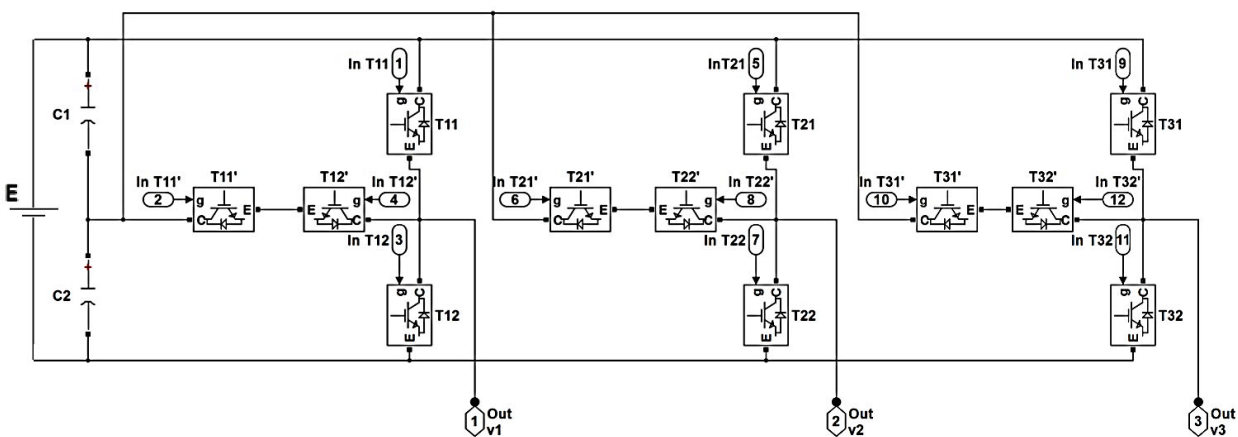


Figure 18 Montages de puissance d'un onduleur triphasé

Circuit de commande :

Les signaux de commande seront générés par le FPGA Cyclone III d'Altera, caractérisé surtout par sa facilité de mise en œuvre, ou la carte Arduino qui est très économique :

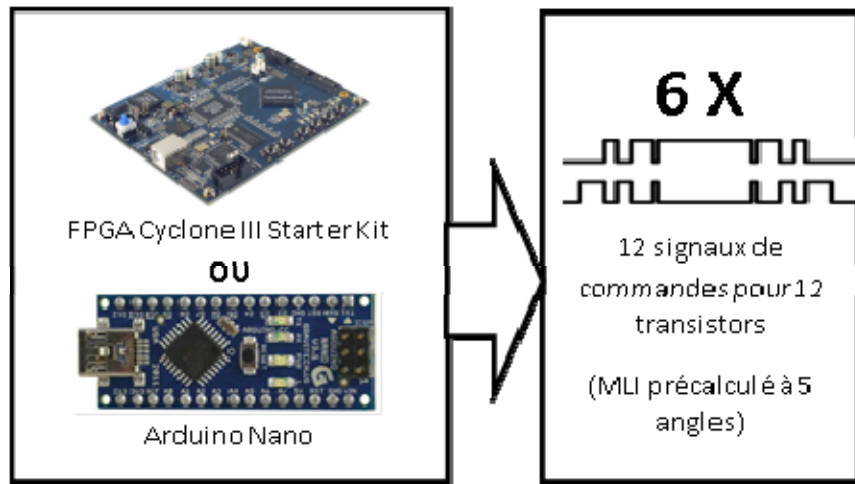


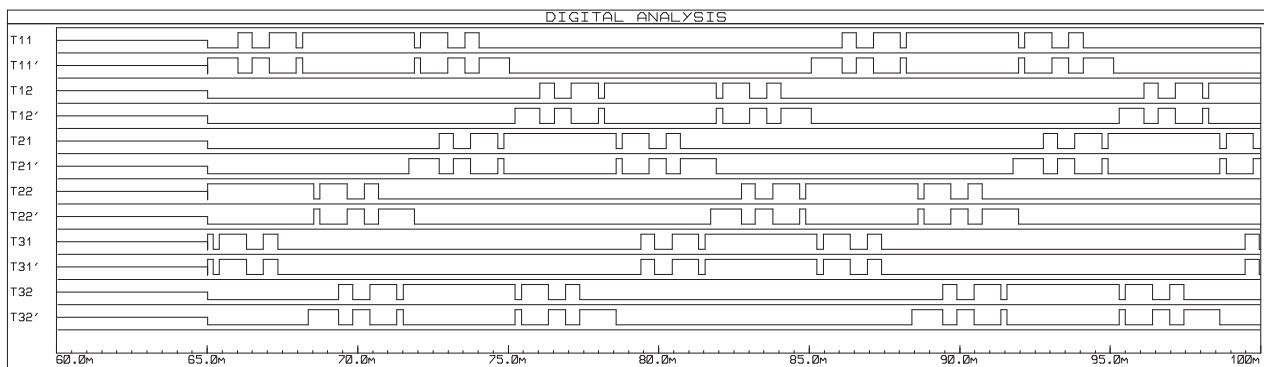
Figure 19 Circuits de commande

Résultats

Signaux de commande (f=50Hz) :

- Signaux de commande générés par Arduino Nano

Après programmation sur l'outil Arduino, le fonctionnement de la carte Nano peut être simulé sur le logiciel ISIS Proteus :



Après programmation puis téléversement du programme dans la carte Arduino Nano, les signaux de commandes ont été visualisés sur oscilloscope. La Figure 20 montre successivement T11 et T11', T21 et T22, T31 et T12'.

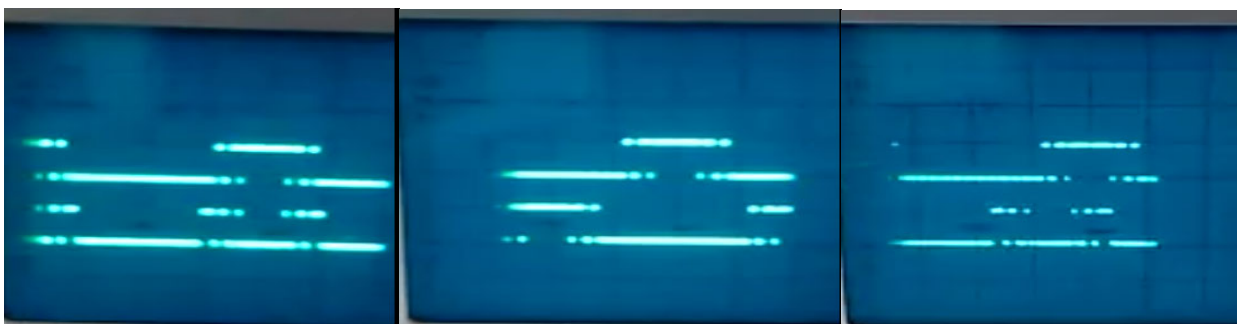


Figure 20 Allures des signaux de commande à la sortie de la carte Arduino sur oscilloscope

- Signaux de commande générés par le FPGA cyclone III

Après la programmation avec l'outil Quartus II, le FPGA peut être simulé informatiquement par la module « co-simulation Matlab-Modelsim ». Les signaux de commande obtenus sont :

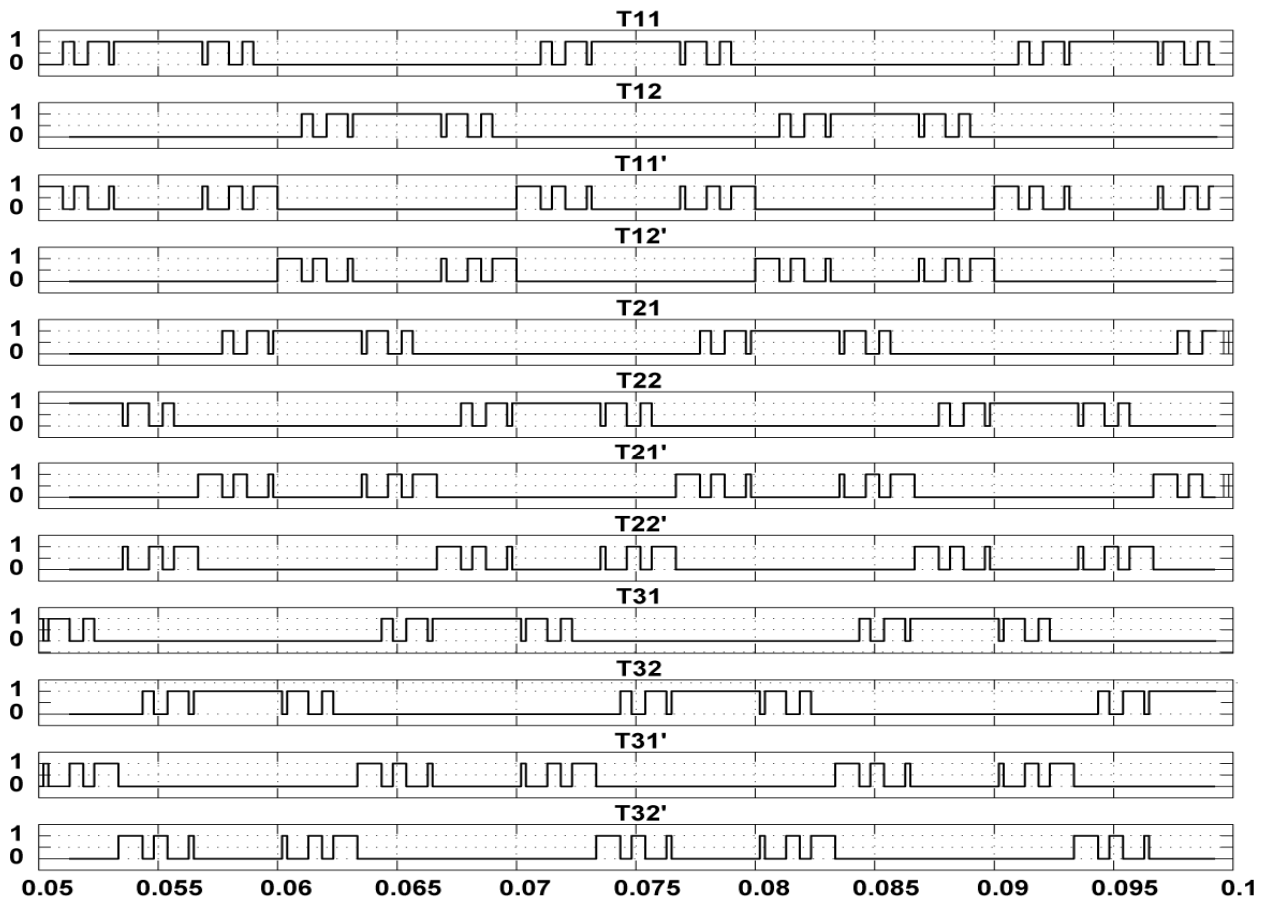


Figure 21 Signaux de commande à la sortie du FPGA sur Matlab Simulink

Les signaux de commande générés sont compatibles avec la théorie. Le FPGA et la carte Arduino sont donc suffisamment précis et rapides pour les générer. De plus les signaux sont identiques pour les deux circuits électroniques.

Signaux de puissance : tensions simples (E=500V, f=50Hz) :

Sous Matlab Simulink, les trois tensions simples de sortie de l'onduleur prennent les allures montrées sur la Figure 22 :

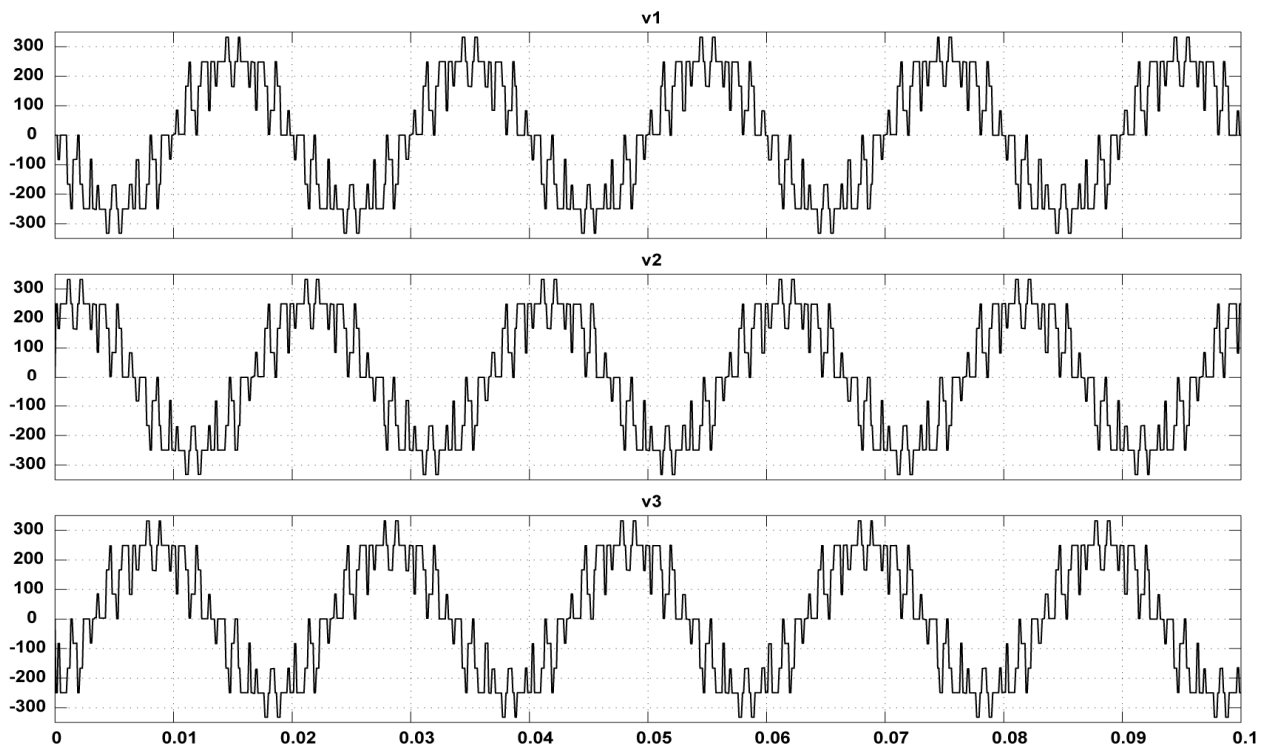


Figure 22 Allure des trois tensions simples de sortie de l'Onduleur sous Matlab Simulink

Sous ISIS Proteus, les trois tensions simples de sortie de l'onduleur prennent les allures montrées sur la Figure 23.

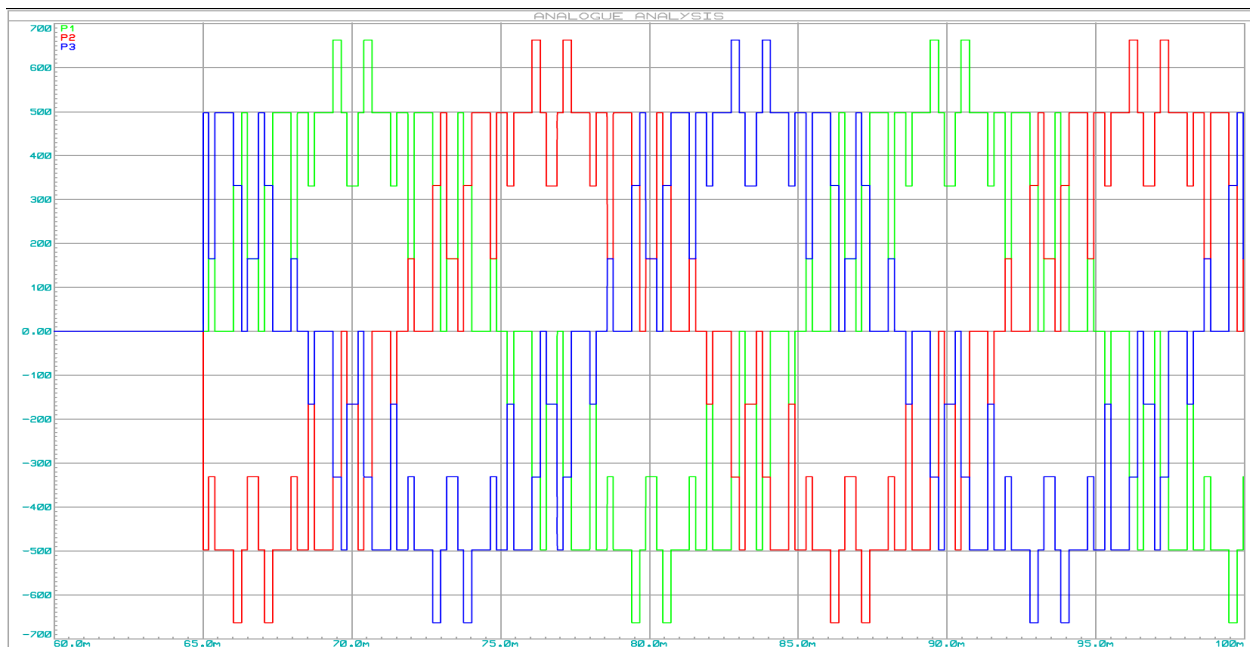


Figure 23 Allure des trois tensions simples de sortie de l'Onduleur sous ISIS Proteus

Les allures des trois tensions simples sont identiques pour les deux logiciels Matlab et ISIS.

Amplitudes des harmoniques de tensions simples de sortie :

Sous Matlab Simulink, les amplitudes de la fondamentale à 50 [Hz] et des harmoniques de rang 2 à 11 sont montrées sur la Figure 24.

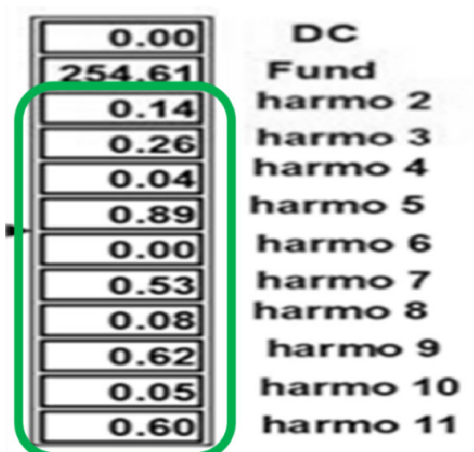


Figure 24 Amplitudes de la fondamentale et des harmoniques des tensions simples de sorties de l'onduleur sous Matlab Simulink

sous ISIS Proteus, les amplitudes de la fondamentale à 50 [Hz] et des harmoniques de rang 2 à 11 sont montrées sur la **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**

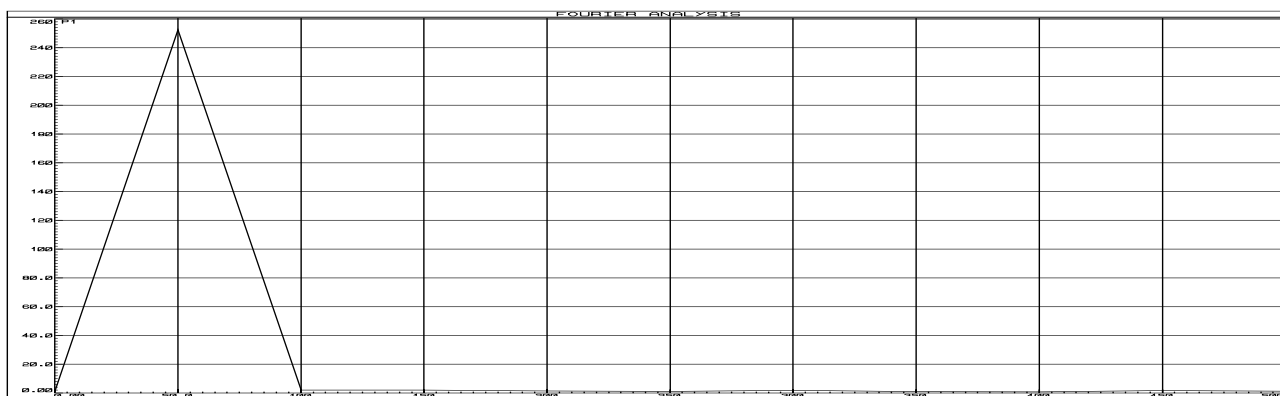


Figure 25 Amplitudes de la fondamentale et des harmoniques des tensions simples de sortie de l'onduleur sous ISIS Proteus

Les valeurs des amplitudes de la fondamentale et des harmoniques sont pareilles pour les deux logiciels Matlab Simulink et ISIS Proteus.

Exemple d'application :

Dans la pratique, un tel montage serait surtout utilisé pour l'alimentation d'un réseau ou d'une localité industrielle dont la source d'énergie électrique disponible fournit une tension continue : des accumulateurs chargés par des sources d'énergie renouvelable par exemple.

Dans le cas où le montage servirait à alimenter des moteurs asynchrones triphasés en partant d'une source continue, le montage pourrait être installé à l'aval d'un hacheur qui permettrait de varier la tension d'entrée E pour modifier la valeur efficace de sortie.

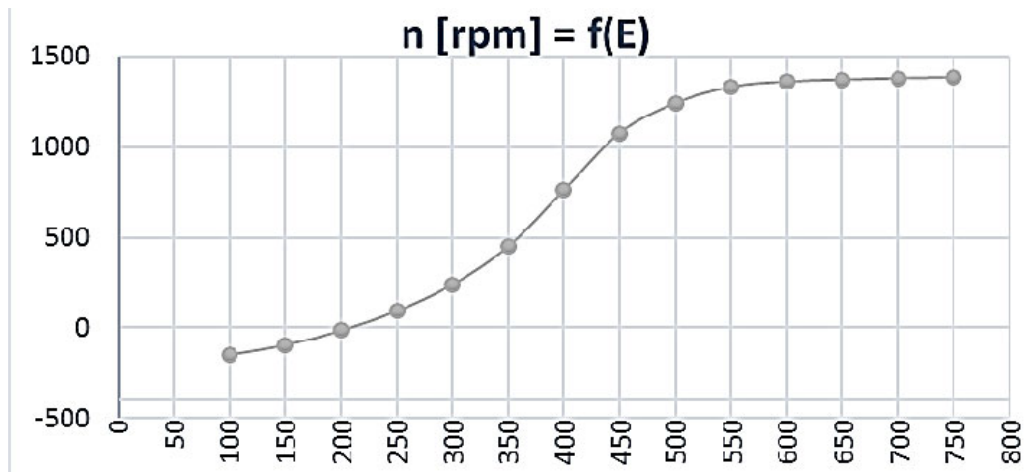


Figure 26 Variations de vitesse d'une Machine asynchrone triphasée alimentée par l'onduleur en variant la tension d'entrée E

Le moteur tourne, l'alimentation est efficace et les harmoniques sont faibles. La vitesse de rotation du moteur varie en fonction de la tension d'entrée E.

Discussions

- Le programme de commande et le montage électronique sont obtenus et utilisables pour réalisation ;
- Les valeurs des amplitudes des harmoniques de rang 3, 5, 7, 9 et 11 sont effectivement très faibles par rapport à celle de la fondamentale ;
- La mise en œuvre du circuit FPGA est relativement très rapide et facile, mais la carte elle-même est coûteuse ;
- La mise en œuvre de la carte Arduino Nano est difficile, surtout la programmation, mais le prix de la carte est très bas ;
- Les signaux de commande et de puissance sont obtenus et conformes à la théorie (formes, valeurs efficaces...) pour les deux logiciels de simulation ;
- Les résultats sont cohérents et identiques entre les différents logiciels de simulation ;
- les potentiels du FPGA sont très peu utilisés contrairement à ceux de la carte à Microcontrôleur Arduino Nano ;
- dans la pratique, pour obtenir une tension de sortie variable, on a besoin d'un autre convertisseur en amont du montage pour faire varier E ;
- l'onduleur est effectif avec différents types de charge, les harmoniques sont presque annulées et les coûts, amoindris grâce à l'utilisation de l'Arduino.

Conclusion

L'onduleur étudié est :

- effectif dans la conversion de tension continue en tension alternative triphasée à faible harmonique de rang 3, 5, 7, 9 et 11 ;
- efficace car économique en composant ;
- précis, sûr et surtout très rapide et facile à mettre en œuvre grâce à la commande par MLI générée par le FPGA ou Arduino ;
- réalisable et utilisable à Madagascar.

Les circuits et les outils de mises en œuvre sont disponibles et efficaces.

Le FPGA dont les potentiels sont très peu utilisés est idéal pour la commande de tout un système de production, la carte Arduino Nano est juste suffisante pour une telle application.

La technologie est maîtrisable et les savoirs accumulés pourront être partagés et développés à travers l'application dans d'autres travaux de conception et de réalisation.

Ceux-ci pour le développement des systèmes de production, de l'industrie et du pays, ainsi que la maîtrise de l'énergie électrique dans le contexte actuel de mondialisation et le cadre des Objectifs de Développement durable.