



COMMUNICATION SCIENCE ET TECHNOLOGIE

Vol 01, N°27, pp01,12

ENPO – Maurice AUDIN

ASJP/ ESSN 2773-3483



## Commande SPWM d'un onduleur de tension à trois niveaux dédiés à une éolienne à vitesse variable

B.Belkacem , A. Bouadi, A.Koridak Lahouari et M. Rahli

Université des Sciences et de la Technologie d'Oran - Mohamed Boudiaf-

Faculté de Génie Electrique, Département d'Electrotechnique

Laboratoire d'Optimisation des Réseaux Electriques (LORE)

B.P 1505 El Mnaouer USTO -Oran

Tel & Fax: 00.213-41-62 71 63

E-Mail: [kacem\\_imsi@yahoo.fr](mailto:kacem_imsi@yahoo.fr) ; [abed.bouadi@univ-usto.dz](mailto:abed.bouadi@univ-usto.dz); [hkoridak@yahoo.fr](mailto:hkoridak@yahoo.fr); [rahlim@yahoo.fr](mailto:rahlim@yahoo.fr)

**Abstract**— Currently, the industry requires equipment of increasingly high power, order of the megawatt. Fast developments in the technologies of manufacture of the transistors and orientation of the manufacturing towards the technology of the hybrid components such as the IGBT, allowed the development of new structures of converters of a great performance compared to the traditional structures, who are converters with multilevel structure. The application of this type of converter makes it possible to improve quality of the power brought into play, as well as the output of the controlled system. The objective of this article is to exploit the advantages of the three levels inverter with structure NPC (Neutral Point Clamping) applied to a doubly field induction machine DFIG used like generator.

**Keywords:** DFIG, three level inverters, Field oriented control, Active power, Reactive power.

**Résumé** - Actuellement, l'industrie exige des équipements de puissance de plus en plus élevée, de l'ordre du mégawatt. L'évolution rapide des techniques de fabrication des dispositifs à semi-conducteurs et l'orientation des concepteurs vers la technologie des composants hybrides tels que l'IGBT ont permis le développement de nouvelles structures de convertisseurs d'une grande performance par rapport aux structures classiques, c'est les convertisseurs à structure multi niveaux. L'application de ce type de convertisseur permet d'améliorer la qualité de la puissance mise en jeu, ainsi que le rendement du système commandé. L'objectif de cet article est d'exploiter les avantages de l'onduleur tension à trois niveaux à structure NPC appliqué sur une génératrice asynchrone à double alimentation GADA

**Mots Clés :** GADA, Convertisseurs multiniveaux, Commande vectorielle, Puissance active, Puissance réactive.

## I. INTRODUCTION

Le secteur industriel fait largement appel aux entraînements électriques à vitesse variable qui exigent de plus en plus de hautes performances, une fiabilité accrue et un coût réduit [1]. Les besoins actuels, en termes de filtrage de puissance et de contrôle des transferts d'énergie, nécessitent le développement des recherches sur des convertisseurs de grande puissance fonctionnant sous haute tension. Les recherches entreprises, ces dernières années, ont permis de développer de nouvelles structures d'onduleurs multiniveaux. Le principe fondamental des techniques de conversion multiniveaux est essentiellement basé sur une association série/parallèle des composants de puissance, permettant de contourner le problème lié à la limite maximale de la tension de blocage des principaux semi-conducteurs de puissance. Ces structures assurent une alimentation haute tension des actionneurs électriques de moyenne et forte puissance. De plus, Ils permettent d'obtenir une très bonne résolution de la tension de sortie et d'augmenter la tension de sortie des convertisseurs au delà des limites des semi-conducteurs [2], [3], [4]. La génératrice asynchrone à double alimentation qui sera présentée est une machine à rotor bobiné, où le stator est relié directement au réseau électrique et le rotor est connecté à un onduleur à trois niveaux à structure NPC (Neutral Point Clamping). Ce dernier doit être alors dimensionné pour transiter seulement la puissance disponible au niveau du rotor. Dans ce travail, nous allons présenter une Génératrice Asynchrone à Double Alimentation commandée par un onduleur à trois niveaux à structure NPC à travers les grandeurs rotoriques.

## II. THEORIE DE L'ONDULEUR DE TENSION TROIS NIVEAUX

### 2.1. Structure de l'onduleur trois niveaux

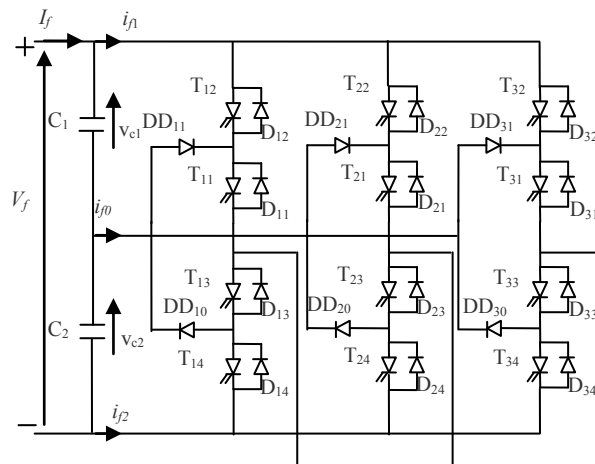


Fig 2.1. Structure de l'onduleur trois niveaux

L'onduleur à trois niveaux, se compose en trois bras et deux sources de tension Continu. Chaque bras de l'onduleur est constitué de quatre paires diode-interrupteur bidirectionnel et deux diodes médianes permettent d'avoir le niveau zéro de la tension de sortie de l'onduleur. Le point milieu de chaque bras est relié à une alimentation continue .la figure 2.1 donne une représentation Schématique de cet onduleur [5].

### 2.2. Modélisation du fonctionnement d'un bras d'onduleur trois niveaux

La symétrie de la structure de l'onduleur trois niveaux permettent leur modélisation pour un seul bras (fig. 2.2). On définit en premier lieu le modèle global d'un bras sans a priori sur la commande, ensuite on déduit celui de l'onduleur complet.

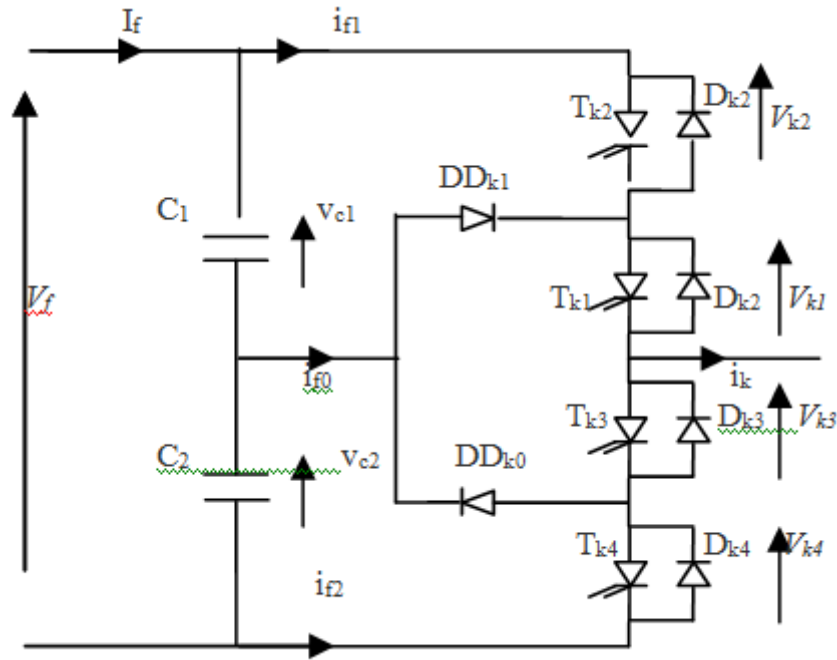


Fig.2.2. Structure d'un bras de l'onduleur

### 2.3. Commandabilité des convertisseurs statiques

Un convertisseur est dit mode commandable si les transitions entre ses différentes configurations dépendent uniquement de la commande externe et non plus des commandes internes

Pour éviter des courts-circuits des sources de tension par conduction, et pour délivrer les trois niveaux de tensions désirées on doit le faire fonctionner en son mode commandable.

Trois commandes complémentaires peuvent être appliquées sur un bras d'onduleur à trois niveaux.

$$\begin{cases} G_{k3} = \overline{G_{k1}} \\ G_{k4} = G_{k2} \end{cases} \begin{cases} G_{k2} = \overline{G_{k1}} \\ G_{k4} = \overline{G_{k3}} \end{cases} \begin{cases} G_{k4} = G_{k1} \\ G_{k3} = G_{k2} \end{cases}$$

$G_{k1}$	$G_{k2}$	$G_{k3}$	$G_{k4}$	$V_{ko}$
0	0	1	1	$V_{c2}$
0	1	0	1	inconnue
1	0	1	0	0
1	1	0	0	$V_{c1}$

TABLEAU.2.1. Excitation des interrupters

Avec :  $G_{ks}$  la commande de la gâchette de l'interrupteur  $T_{ks}$  du bras k.

Afin d'avoir la Commandabilité totale de l'onduleur à trois niveaux, on doit éliminer le cas qui donne une réponse inconnue.

En traduisant cette commande complémentaire par les fonctions de connexion des interrupters du

bras  $k$ , on trouve :

$$\begin{cases} F_{k1} = 1 - F_{k4} \\ F_{k2} = 1 - F_{k3} \end{cases} \quad (2.1)$$

On définit la fonction de connexion d'un demi-bras, on la notera  $F_{km}^b$  avec :

$$m = \begin{cases} 1 & \text{pour le demi-bras du haut constitué de } TD_{k1} \text{ et } TD_{k2} \\ 0 & \text{pour le demi-bras du bas constitué de } TD_{k3} \text{ et } TD_{k4} \end{cases}$$

Les fonctions de connexion des demi-bras s'expriment au moyen des fonctions de connexion des interrupteurs comme suit :

$$\begin{cases} F_{k1}^b = F_{k1} F_{k2} \\ F_{k0}^b = F_{k3} F_{k4} \end{cases} \quad (2.2)$$

#### 2.4. Modélisation aux valeurs instantanées

Les potentiels des nœuds a, b, c de l'onduleur triphasé à trois niveaux par rapport au point milieu 0, sont donnés par le système suivant:

$$\begin{cases} v_{ao} = F_{11} F_{12} v_{c1} - F_{13} F_{14} v_{c2} \\ v_{bo} = F_{21} F_{22} v_{c1} - F_{23} F_{24} v_{c2} \\ v_{co} = F_{31} F_{32} v_{c1} - F_{33} F_{34} v_{c2} \end{cases} \quad (2.3)$$

En introduisant les fonctions de connexion des demi-bras, on aura :

$$\begin{cases} v_{ao} = F_{11}^b v_{c1} - F_{10}^b v_{c2} \\ v_{bo} = F_{21}^b v_{c1} - F_{20}^b v_{c2} \\ v_{co} = F_{30}^b v_{c1} - F_{30}^b v_{c2} \end{cases} \quad (2.4)$$

Les tensions simples de sortie de l'onduleur se déduisent en fonction des potentiels des nœuds par rapport au point milieu par la relation suivante :

$$\begin{cases} v_a = \frac{1}{3}(2v_{ao} - v_{bo} - v_{co}) \\ v_b = \frac{1}{3}(-v_{ao} + 2v_{bo} - v_{co}) \\ v_c = \frac{1}{3}(-v_{ao} - v_{bo} + 2v_{co}) \end{cases} \quad (2.5)$$

A partir des relations (2.4) et (2.5), on obtient le système matriciel liant les fonctions des demi-bras de l'onduleur aux tensions simples aux bornes de la charge :

$$\begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix} \left\{ \begin{bmatrix} F_{11}^b \\ F_{21}^b \\ F_{31}^b \end{bmatrix} v_{c1} - \begin{bmatrix} F_{10}^b \\ F_{20}^b \\ F_{30}^b \end{bmatrix} v_{c2} \right\} \quad (2.6)$$

Dans le cas où  $v_{c1} = v_{c2} = \frac{V_f}{2}$ , la relation (2.5) se réduit à :

$$\begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_{11}^b - F_{10}^b \\ F_{21}^b - F_{20}^b \\ F_{31}^b - F_{30}^b \end{bmatrix} \frac{V_f}{2} \quad (2.7)$$

## 2.5. Stratégie de commande de l'onduleur trois niveaux [6] :

### 2.5.1. Principes de la commande triangulo-sinusoïdale

Pour déterminer en temps réel les instants de fermeture et d'ouverture des interrupteurs, on fait appel à l'électronique de commande analogique ou numérique.

La modulation de largeur d'impulsion (Pulse Width Modulation :PWM) nous permet cette détermination.

Le principe consiste à utiliser les intersections d'une onde référence ou modulante (qui est l'image de l'onde de sortie qu'on veut obtenir) généralement sinusoïdale, avec une onde de modulation ou porteuse, généralement triangulaire, d'où l'appellation triangulo- sinusoïdale.

### 2.5.2. Caractéristiques de cette technique

Si la référence est un signal sinusoïdal, deux paramètres caractérisant la commande :

- L'indice de modulation (m) : égale au rapport  $F_p/F_r$  des fréquences de la porteuse et de la référentiel ; (on appel aussi rapport de fréquences) ;
- Le taux de modulation (r) : est définie par le rapport des amplitudes de la tension de référence et de la porteuse  $V_{rm}/V_{pm}$ , (appelé aussi rapport d'amplitudes).

Pour avoir le maximum de point d'intersections entre les deux signaux (porteuse et référence), le taux de modulation doit être inférieur à 1 ( $r < 1$ ) ; lorsque r est supérieur à 1 ( $r > 1$ ) on obtient une sur modulation, c'est-à-dire la disparition de certaines intersections entre l'onde sinusoïdale et l'onde triangulaire [7].

## III. MODELE DE LA GENERATRICE ASYNCHRONE A DOUBLE ALIMENTATION

Les équations électriques de la MADA dans le repère  $dq$

Peuvent s'écrire [8] [9]:

$$\begin{aligned} V_{sd} &= R_s I_{sd} + \frac{d\Phi_{sd}}{dt} - \omega_s \Phi_{sq} \\ V_{sq} &= R_s I_{sq} + \frac{d\Phi_{sq}}{dt} + \omega_s \Phi_{sd} \\ V_{rd} &= R_r I_{rd} + \frac{d\Phi_{rd}}{dt} - (\omega_s - \omega_r) \Phi_{rq} \\ V_{rq} &= R_r I_{rq} + \frac{d\Phi_{rq}}{dt} + (\omega_s - \omega_r) \Phi_{rd} \end{aligned} \quad (3.1)$$

Les composantes des flux statoriques et rotoriques seront données par :

$$\begin{aligned} \Phi_{sd} &= L_s I_{sd} + L_m I_{rd} \\ \Phi_{sq} &= L_s I_{sq} + L_m I_{rq} \\ \Phi_{rd} &= L_r I_{rd} + L_m I_{sd} \\ \Phi_{rq} &= L_r I_{rq} + L_m I_{sq} \end{aligned} \quad (3.2)$$

Afin d'obtenir le modèle complet de la GADA, il faut qu'on tienne compte de l'équation mécanique ; ainsi l'équation du couple électromagnétique est donnée

$$C_{em} = p(\Phi_{sd}I_{sq} - \Phi_{sq}I_{sd}) \quad (3.3)$$

#### IV. COMMANDE VECTORIELLE DE LA GADA

Un contrôle vectoriel de la GADA a été conçu avec orientation du repère (d - q) suivant le flux statorique. En alignant le vecteur flux statorique  $\Phi_s$  vers l'axe d, nous pouvons écrire [10] :

$$\Phi_{sd} = \Phi_s, \Phi_{sq} = 0 \quad (4.1)$$

$$\begin{cases} V_{sd} = R_s I_{sd} + \frac{d\Phi_{sd}}{dt} \\ V_{sq} = R_s I_{sq} + \omega_s \Phi_{sd} \end{cases}; \begin{cases} V_{rd} = R_r I_{rd} + \frac{d\Phi_{rd}}{dt} - \omega_r \Phi_{rq} \\ V_{rq} = R_r I_{rq} + \frac{d\Phi_{rq}}{dt} + \omega_r \Phi_{rd} \end{cases}$$

A partir des équations des composantes directes et quadrature du flux statorique, on obtient :

$$I_{sq} = -\frac{M}{L_s} I_{rq}; I_{sd} = \frac{\Phi_{sd} - M I_{rd}}{L_s} \quad (4.2)$$

En remplaçant dans les expressions des composantes directes et quadrature du flux rotorique, on obtient :

$$\Phi_{rd} = L_r \sigma I_{rd} + \frac{M}{L_s} \Phi_{sd}; \Phi_{rq} = L_r \sigma I_{rq} \quad (4.3)$$

avec :

$\sigma$  : le coefficient de dispersion entre les enroulements d et q. Ce coefficient vaut :

$$\sigma = 1 - \frac{M^2}{L_s L_r} \quad (4.4)$$

En intégrant les équations des composantes directes et quadrature des courants statoriques et celles des tensions

statoriques, ainsi que celles du rotor, on aura [8], [11]:

$$\begin{cases} V_{sd} = \frac{R_s}{L_s} \Phi_{sd} - \frac{R_s}{L_s} M I_{rd} + \frac{d\Phi_{sd}}{dt} \\ V_{sq} = \frac{-R_s}{L_s} M I_{rq} + \omega_s \Phi_{sd} \end{cases} \quad (4.5)$$

$$\begin{cases} V_{rd} = R_r I_{rd} + L_r \sigma \frac{dI_{rd}}{dt} + \frac{M}{L_s} \frac{d\Phi_{sd}}{dt} - L_r \omega_r I_{rq} \\ V_{rq} = R_r I_{rq} + L_r \sigma \frac{dI_{rq}}{dt} + \frac{M}{L_s} \Phi_{sd} + L_r \omega_r I_{rd} \end{cases} \quad (4.6)$$

A partir des équations rotoriques on aura:

$$\begin{cases} \frac{dI_{rd}}{dt} = \frac{1}{L_r \sigma} (V_{rd} - R_r I_{rd} - e_d) \\ \frac{dI_{rq}}{dt} = \frac{1}{L_r \sigma} (V_{rq} - R_r I_{rq} - e_q - e_\phi) \end{cases} \quad \text{avec :} \quad (4.7)$$

$$\begin{cases} e_d = -L_r \omega_r \sigma I_{rq} + \frac{M}{L_s} \frac{d\Phi_{sd}}{dt} \\ e_\phi = \frac{M}{L_s} \omega_r \Phi_{sd} \\ e_q = L_r \omega_r \sigma I_{rd} \end{cases} \quad (4.8)$$

L'équation du couple devient alors :

$$C_{em} = -p \frac{M}{L_s} \Phi_{sd} I_{rq} \quad (4.9)$$

Le choix de ce repère rend la puissance active uniquement dépendante du courant rotorique d'axe  $q$ .

### **A. Puissance Statorique**

Si l'on néglige la résistance statorique  $R_s$ , on aura :

$$\begin{cases} V_{sd} = 0 \\ V_{sq} = V_s = \omega_s \Phi_{sd} \end{cases} \quad (4.10)$$

En utilisant les simplifications décrites auparavant, et en remplaçant  $I_{sd}$  et  $I_{sq}$  par leurs expressions dans les expressions des puissances statoriques, on obtient :

$$\begin{cases} P_s = -\frac{MV_s}{L_s} I_{rq} \\ Q_s = \frac{V_s^2}{\omega_s L_s} - \frac{MV_s}{L_s} I_{rd} \end{cases} \quad (4.11)$$

On remarque que le système obtenu lie d'une façon proportionnelle la puissance active au courant rotorique d'axe  $q$  et les puissances réactives au courant rotorique d'axe  $d$  à la constante  $\frac{V_s^2}{\omega_s L_s}$  près imposée par le réseau [11].

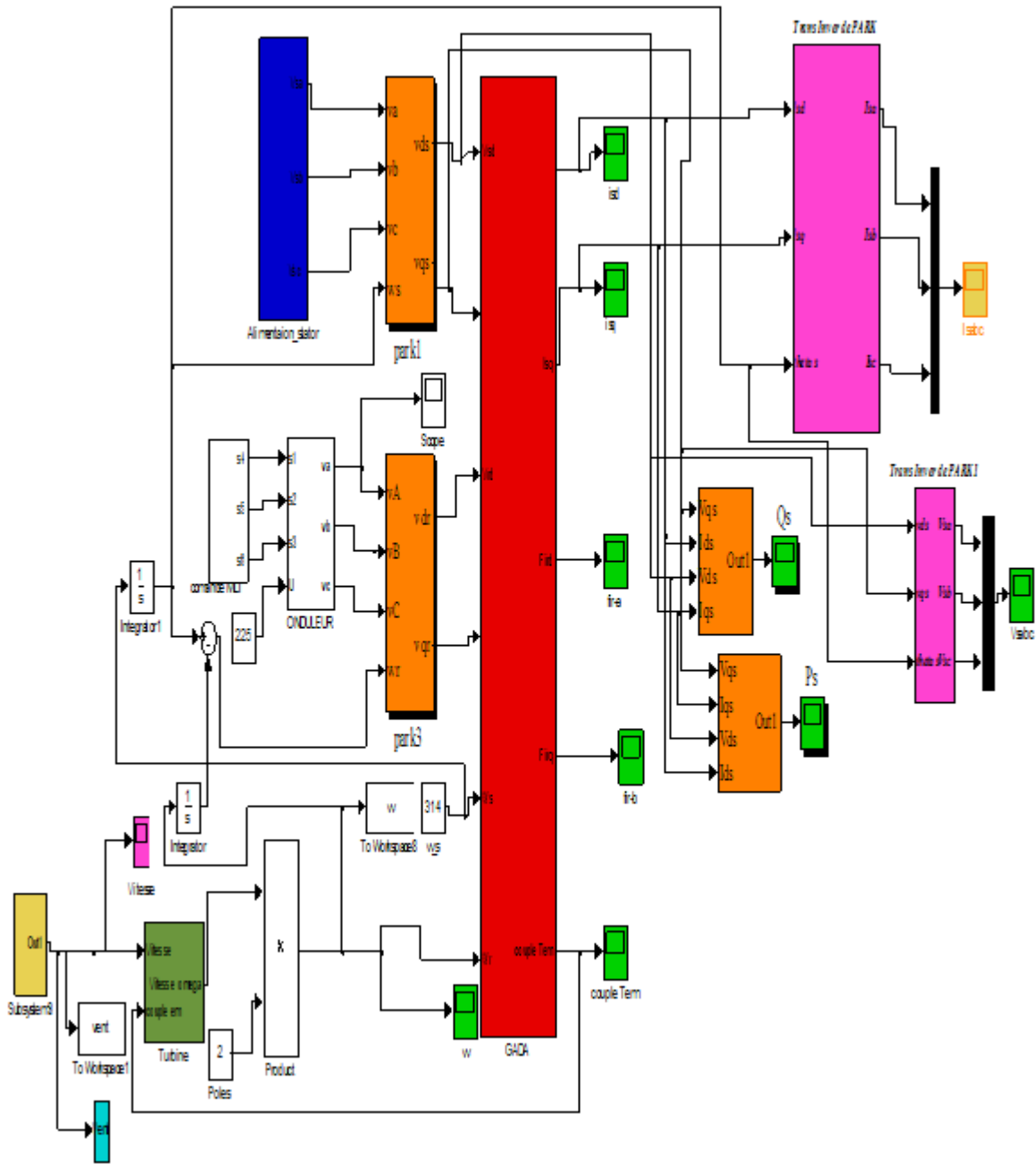
### **B. Tensions Rotoriques**

On intègre les équations des flux rotoriques d'axe  $d$  et  $q$  en régime permanent et on remplaçant les courants statoriques par leurs expressions dans les équations des tensions rotoriques, on aura :

$$\begin{cases} V_{rd} = R_r I_{rd} - g \omega_s (L_r - \frac{M^2}{L_s}) I_{rq} \\ V_{rq} = R_r I_{rq} + g \omega_s (L_r - \frac{M^2}{L_s}) I_{rd} + g \omega_s \frac{MV_s}{L_s} \end{cases} \quad (4.12)$$

## **V. RESULTATS DE SIMULATION**

Le schéma bloc global du système étudié sous MATLAB/SIMULINK est donné à la figure (V.1). La turbine éolienne couplée avec la génératrice asynchrone à double alimentation (GADA) ; Le stator de la machine est connecté directement au réseau triphasé, le rotor alimenté par un onduleur triphasé à trois niveaux commandés par MLI.



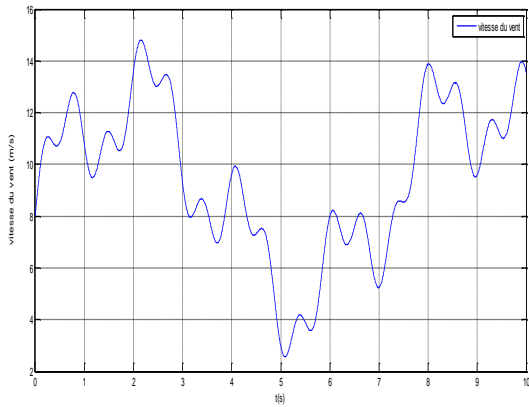
**Figure V.1:** Structure globale de la chaine de conversion

Les paramètres de la MADA sont donnés en annexe. Un profil de vent aléatoire (Figure V.1) est appliqué au système. La figure V.2 montre l'évolution chronologique de la vitesse mécanique de la turbine en fonction de la vitesse du vent, ainsi que celle du couple electromagnétique (figure V.3). Les courants statoriques direct  $I_{ds}$ , et en quadrature  $I_{qs}$  sont représentés respectivement sur les figures V.4 et 5.

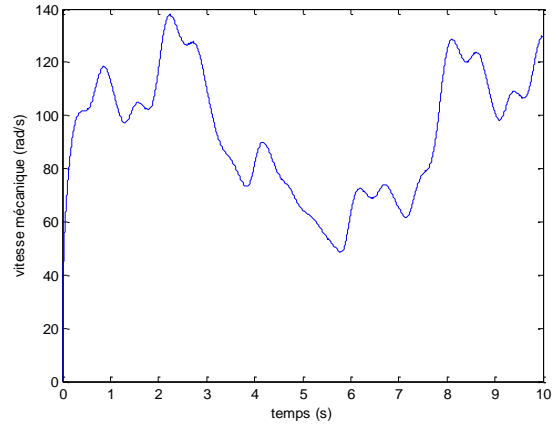
La figure V.6 représente le système triphasé des courants statoriques, avec un zoom. La figure V.7, représente les formes d'onde de la tension et du courant statorique. Ces formes d'onde dépendent de la vitesse du vent. La fréquence de la tension et du courant statorique dépend du glissement de la machine. Pour un glissement nul (mode synchrone), la tension et le courant statorique sont constants. En réalisant un zoom sur la tension et le courant statoriques, on remarque un déphasage entre ces derniers. Ceci s'explique par la fourniture et/ou l'absorption de la puissance réactive statorique (selon le déphasage). La figure.8 représente le système triphasé des tensions statoriques,

avec un zoom.

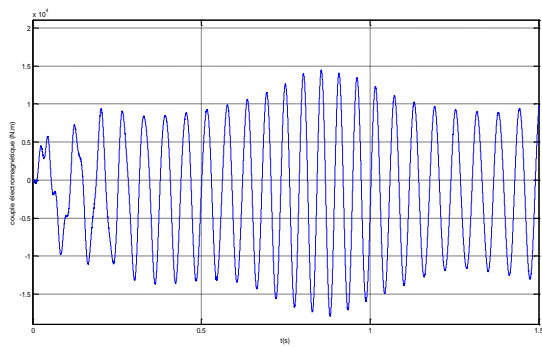
Les figures. 9, et 10 montrent la puissance active renvoyée au réseau en extrayant le maximum d'énergie du vent, ainsi que la puissance réactive imposée nulle au point de connexion de l'éolienne (une puissance négative représente une puissance générée).



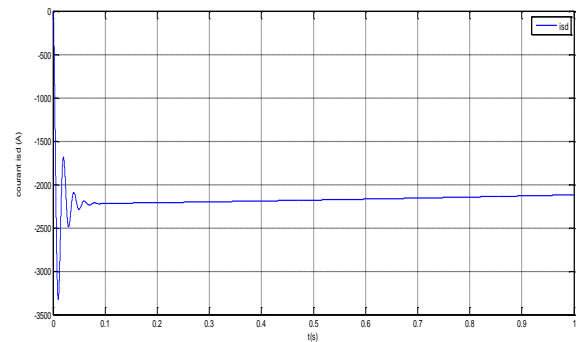
**Figure V.1 : Vitesse du vent**



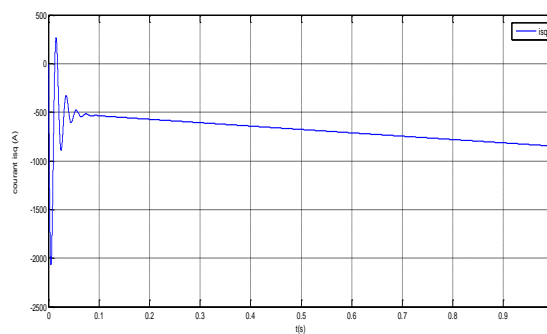
**Figure V.2 : Vitesse mécanique de la turbine**



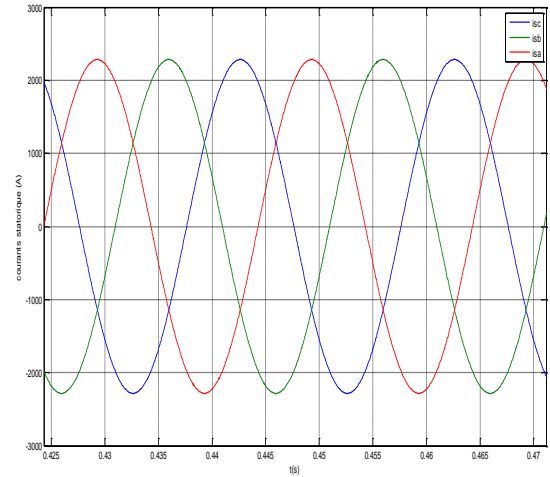
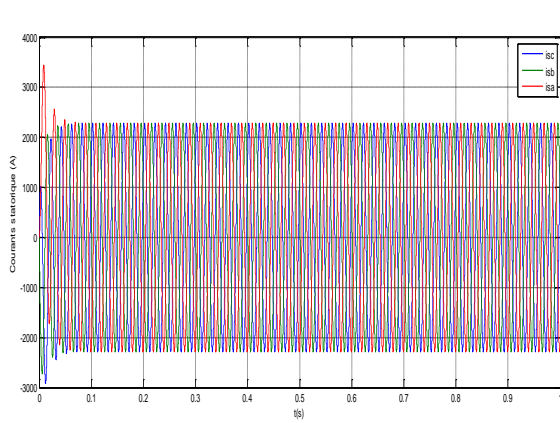
**Figure V.3 : Couple électromagnétique de la GADA**



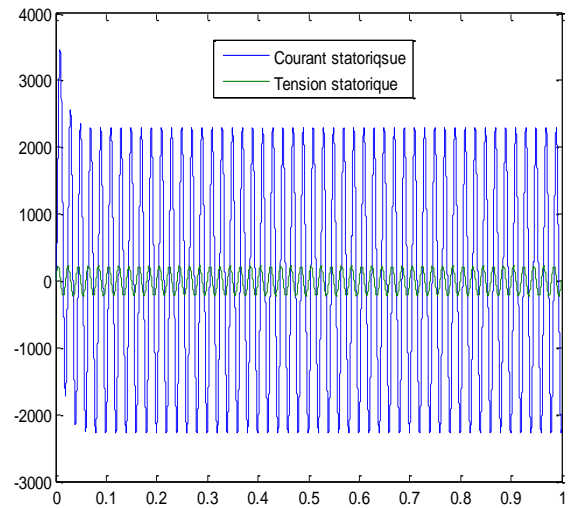
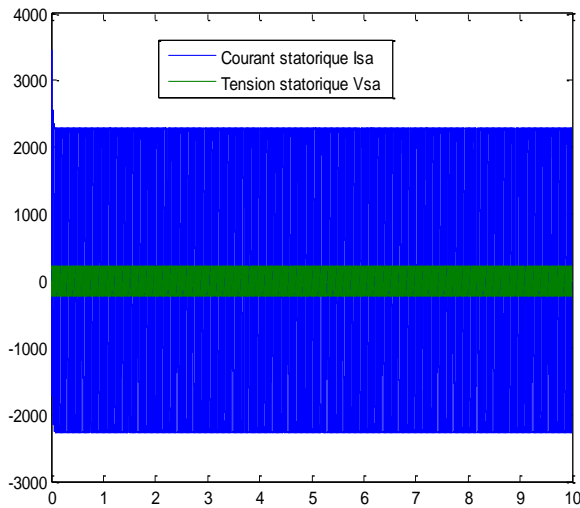
**Figure V.4 : Courant statorique Isd**



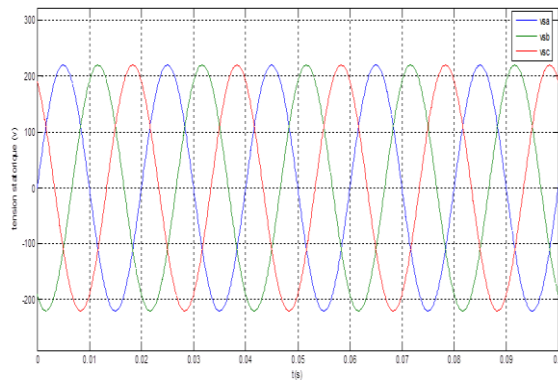
**Figure V.5 : Courant statorique Isq.**



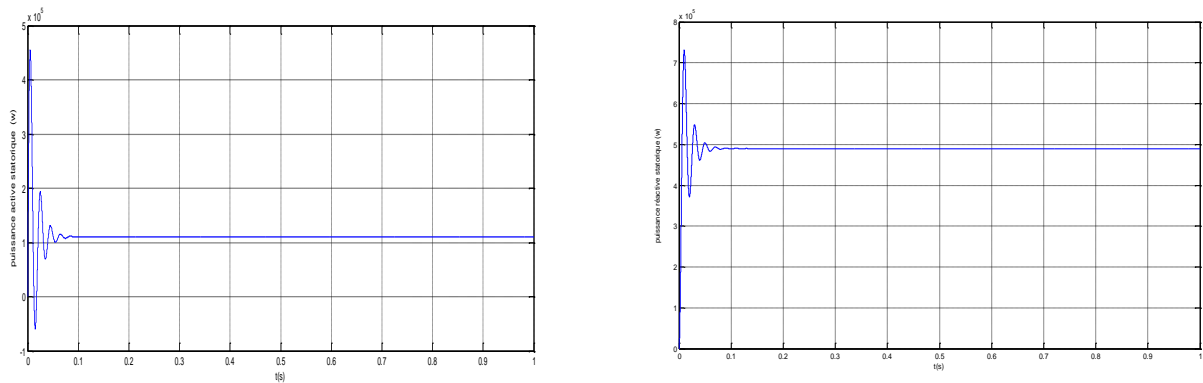
**Figure V.6 :** Trois phases des courants statoriques (zoom en bas)



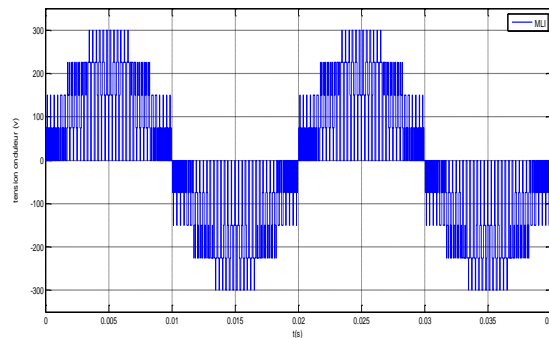
**Figure V. 7 :** Formes d'ondes du courant et de la tension statoriques (Zoom en bas)



**Figure V.8 :** Tensions statoriques (zoom)



**Figure V.9** : Puissance active statorique



**Figure IV.10** : Puissance réactive statorique

## VII. CONCLUSION

Le travail mené dans cet article consiste à la commande en puissance d'une génératrice asynchrone à double alimentation par un onduleur de tension à trois niveaux à structure NPC commandé par la stratégie triangulo – sinusoïdale à deux porteuses en dents de scie. La modélisation de l'onduleur a été détaillée, ainsi que le modèle de la GADA. La commande vectorielle appliquée nous a permis de contrôler la puissance active et réactive statoriques de la GADA en utilisant un onduleur à trois niveaux. Ceci nous a permis de réduire l'amplitude des harmoniques de la tension qui nocifs pour le réseau électrique (pollution harmonique) car cette tension alimente le rotor de la génératrice. Le système étudié dans cet article est une partie d'un système complet qui peut être intéressant dans un système de production d'électricité comme par exemple les fermes éoliennes.

## REFERENCES

- [1]. O. Bouhali, "Contribution des convertisseurs multiniveaux au raccordement de la production d'origine éolienne sur un réseau électrique," Thèse de doctorat. Ecole Nationale Polytechnique, Ecole Centrale de Lille, 2007.
- [2].R. Melício, V.M.F. Mendes, J.P.S. Catalao; Power converter topologies for wind energy conversion systems: Integrated modeling, control strategy and performance simulation. Renewable Energy 35 (2010) Pages 2165à 2174.
- [3].Bachir Ghalem, A.Bendiabdallah
- [4].la Conversion Ac/ac par convertisseur matriciel et onduleur trois niveaux ; Conférence nationale GEAR'09 UHB Chlef, 27-28 Janvier, 2010.
- [5].F.Z.Peng, J.Rodriguez and J.S.Lai, "Multilevel Inverters: A Survey of Topologies, Controls, and

- Applications,” IEEE Transactions on Industrial Electronics. Vol.49, N°.4, August, 2002.
- [7].BEN ZEMAMOUCHE HOURIA, Application de la MLI Vectorielle aux Onduleurs Multiniveaux à base de GTO et d’IGBT ; mémoire de magister Année 2010 ; université Badji Mokhtar Annaba, Faculté des Sciences de l’ingénieur, Département D’Electromécanique.
- [8].The Dung NGUYEN, Etude de stratégies de modulation pour onduleur triphasé dédiées à la réduction des perturbations du bus continu en environnement embarqué Thèse de doctorat 2011 ; Université de Technologie de Compiègne.
- [9].F.Merahi, “Alimentation et commande d’une machine asynchrone à double alimentation (application à l’énergie éolienne),” Mémoire de magister en automatique. Ecole Nationale Polytechnique d’alger, 2007.
- [10]. F.Poitiers, “Etude et Commande de Génératrice Asynchrones pour l’utilisation de l’Energie Eolienne -Machine asynchrone à cage autonome et Machine asynchrone à double alimentation reliée au réseau,” Thèse de Doctorat d’Etat en Electronique et Génie Electrique. Ecole Polytechnique de l’Université de Nantes, 2003.
- [11]. S.EL-Aimani, “Modélisation de Différentes Technologies d’Eoliennes Intégrées dans un Réseau de Moyenne Tension,” Thèse de Doctorat d’Etat en Electronique et Génie Electrique. Ecole Centrale de Lille (ECL), 2005.
- [12]. A.Tilli, S.Peresada and A.Tonielli, “Indirect Stator Flux-Oriented Output Feedback Control of a Doubly Fed Induction Machine,” IEEE Transactions On Control Systems Technology. Vol.11, N°.6, pp. 25-33, November, 2003.

#### Annexe: Paramètres du système éolien étudié

PARAMETRES DE LA TURBINE	
Rayon de turbine R.	35.25 m
Surface de balayage de pale	$\pi R^2$
Nombres des pales	3
Masse volumique d’air mv	1.225 Kg/
Coefficient de visqueux f	0.0024 N.m s
Gain de multiplicateur de vitesse G	90

PARAMETRES DE LA GADA	
Inertie de l’arbre J	1000 Kg/
Tension nominale statorique Vs	398/690 v
Fréquence nominale statorique f1	50 HZ
Tension nominale rotorique Vr	225/389 V
Fréquence nominale rotorique f2	14 HZ
Résistance statorique Rs	0.012 W
Résistance rotorique Rr	0.021 W
Inductance statorique Ls	0.0137 H
Inductance rotorique Lr	0.0136 H
Inductance mutuelle Lm	0.0135 H
Nombre de paires de pôles p	2
Glissement g	0.03