Commande d'une GADA par un onduleur de tension à cinq niveaux à structure NPC

F. Merahi et E.M. Berkouk,

Département de Génie Electrique Ecole Nationale Polytechnique Laboratoire de Commande de Processus E.N.P 10, Rue Hassen Badi, El Harrach, Alger. Fax : (021) 52-29-73. Email : <u>merahi f@yahoo.fr</u>, Email : <u>emberkouk@yahoo.fr</u>

Abstract— Currently, the industry requires e quipment of increasingly h igh p ower, order of t he m egawatt. Fast developments in t he t echnologies of m anufacture of the transistors and or ientation of the or iginators towards the technology of the hybrid components s uch as the IG BT allowed the development of new structures of converters of a great p erformance c ompared t o t he t raditional structures, they is the 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 five levels inverter with structure NPC (Neutral Point Clamping) applied to a doubly field induction machine used like generator.

Keywords: DFIG, Multilevel converters, Field o riented control, Active power, Reactive power.

Résumé — Actuellement, l'industrie exige des équipements de puissance de plus en pl us é levée, de 1 'ordre du mégawatt. L'évolution rapide de st echniques de fabrication des d ispositifs à semi-conducteurs et l'orientation d es concepteurs ve rs l a technologie d es composants hyb rides t els que l'IGBT on t pe rmis l e développement d e n ouvelles s tructures de convertisseurs d'une grande pe rformance par r apport au x s tructures classiques, c' est les convertisseurs à structure multiniveaux. L'application d e ce t ype de convertisseur permet d'améliorer la qualité de la puissance mise en jeu, ainsi que le rendement du système com mandé. L'objectif de cet ar ticle es t d'exploiter l es avan tages de l'onduleur tension à cinq niveaux à structure NPC appliqué sur une machine as ynchrone à r otor b obiné e mployée comme génératrice.

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

I. INTRODUCTION

E secteur industriel fait largement appel aux dentraînements électriques à vitesse variable qui exigent de plus en plus de hautes performances, une fiabilité accrue et un coût réduit [9]. 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 semiconducteurs [1], [5], [6].

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 cinq 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 pilotée par un onduleur à cinq niveaux à structure NPC à travers les grandeurs rotoriques.

II. DESCRIPTION DU MONTAGE

La structure du montage qui sera étudié est illustrée sur la figure (1).

La structure de la figure (1) est constituée d'un onduleur à cinq niveaux qui est composé de 24 interrupteurs



Fig.1 Structure d'une GADA pilotée par un onduleur de tension à cinq niveaux à structure NPC

L'alimentation de l'onduleur est assurée par quatre condensateurs identiques. L'onduleur à cinq niveaux est connecté au rotor de la GADA à travers les contacts glissants du collecteur, il permet de commander la génératrice à partir du rotor [2].

III. MODELISATTION DU FONCTIONNEMENT DE L'ONDULEUR DE TENSION Á CINQ NIVEAUX Á STRUCTURE NPC

La figure(2) montre la structure d'un onduleur de tension triphasé à cinq niveaux à structure NPC.

A. Les Différentes Configurations d'un Bras d'Onduleur Triphasé à Cinq Niveaux à Structure NPC

Sept configurations possibles pour un onduleur triphasé à cinq niveaux à structure NPC [10]. Le tableau I donne les grandeurs électriques caractérisant chacune de ces configurations (avec M origine des potentiels et V_{kM} le potentiel du nœud k du bras k).



Fig.2 Structure d'un onduleur de tension à cinq niveaux à structure NPC

Les réceptivités de transition entre les différentes configurations d'un bras dépendent :

- D'une commande externe B_{ks} (l'ordre d'amorçage ou de blocage du semi-conducteur bidirectionnel T_{ks});

- Et d'autre part, d'une commande interne définie par les signes du courant du bras et des tensions aux bornes du semiconducteur.

Configurations	Grandeurs électriques						
E_0	$i_k = 0$						
E_1	$V_{kM} = U_{c1} + U_{c2} = 2U_c$						
E_2	$V_{kM} = U_{c1} = U_c$						
E_3	$V_{kM} = 0$						
E_4	$V_{kM} = -U_{c3} = -U_c$						
E_5	$V_{kM} = -U_{c3} - U_{c4} = -2U_c$						
E_6	$V_{kM} = 0$						

TABLEAU I

Grandeurs électriques pour chacune des configurations d'un bras k

On considère que l'alimentation en tension de l'onduleur est parfaite. En pratique, cela se traduit par le fait que, quelque soit le courant i_k délivré par l'alimentation, la tension à ses bornes reste constante ($U_{c1} = U_{c2} = U_{c3} = U_{c4} = U_c$).

B. Fonction de Connexion

Chaque interrupteur TD_{ks} introduit une fonction de connexion F_{ks} qui décrit son état ouvert ou fermé, tel que [1]:

 $F_{ks} = 1$ Si l'interrupt eur est fermé ;

 $F_{ks} = 0$ Si l'interrupt eur est ouvert.

C. Commande Complémentaire

On adapte une commande complémentaire pour éviter les courts-circuits des sources de tension par conducteur de plusieurs interrupteurs, et pour que le convertisseur soit totalement commandé. Plusieurs commandes complémentaires sont possibles pour un bras k de l'onduleur triphasé à cinq niveaux à structure NPC, la commande optimale est définie comme suit [10] :

$$\begin{cases}
B_{k4} = B_{k2} \\
B_{k5} = \overline{B_{k1}} \\
B_{k6} = \overline{B_{k3}}
\end{cases}$$
(1)

Avec B_{ks} , commande de base du transistor T_{ks} d'un bras k. Ainsi, avec cette commande complémentaire, les fonctions de connexion des interrupteurs du bras sont liées par les relations suivantes :

$$\begin{cases} F_{k4} = 1 - F_{k2} \\ F_{k5} = 1 - F_{k1} \\ F_{k6} = 1 - F_{k3} \end{cases}$$
(2)

En plus, on définit une fonction de connexion du demi - bras, qu'on notera F_{km}^{b} avec :

k: Numéro du bras;

m = 1: Pour le demi-bras du haut, et m = 0 pour le demi-bras du bas.

Pour un bras k, les fonctions de connexion des demi-bras s'expriment au moyen des fonctions de connexion des interrupteurs comme suit :

$$\begin{cases} F_{k1}^{b} = F_{k1}.F_{k2}.F_{k3} \\ F_{k0}^{b} = F_{k4}.F_{k5}.F_{k6} \end{cases}$$
(3)

 F_{k1}^{b} : est associée au demi-bras du haut $(TD_{k1}, TD_{k2}, TD_{k3})$, et F_{k0}^{b} au demi-bras du bas $(TD_{k4}, TD_{k5}, TD_{k6})$.

Les tensions simples à la sortie de l'onduleur de tension à cinq niveaux à structure NPC sont données sous la forme matricielle suivante (avec $U_{c1} = U_{c2} = U_{c3} = U_{c4} = U_c$) :

$$\begin{bmatrix} V_{AM} \\ V_{BM} \\ V_{CM} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_{17} + 2F_{11}^b - F_{18} - 2F_{10}^b \\ F_{27} + 2F_{21}^b - F_{28} - 2F_{20}^b \\ F_{37} + 2F_{31}^b - F_{38} - 2F_{30}^b \end{bmatrix} U_c$$

En utilisant les fonctions de connexion des demi-bras, les courants d'entrée de l'onduleur peuvent être exprimés en fonction des courants de la charge i_1 , i_2 et i_3 comme suit :

$$\begin{cases} i_{d1} = F_{17}i_1 + F_{27}i_2 + F_{37}i_3 \\ i_{d2} = F_{11}^bi_1 + F_{21}^bi_2 + F_{31}^bi_3 \\ i_{d3} = F_{18}i_1 + F_{28}i_2 + F_{38}i_3 \\ i_{d4} = F_{10}^bi_1 + F_{20}^bi_2 + F_{30}^bi_3 \end{cases}$$
(4)

Le courant i_{d0} s'exprime en fonction des courants de charge par la relation :

$$i_{d0} = (i_1 + i_2 + i_3) - (F_{17} + F_{18} + F_{11}^b + F_{10}^b)i_1 - (F_{27} + F_{28} + F_{21}^b (5) + F_{20}^b)i_2 - (F_{37} + F_{38} + F_{31}^b + F_{30}^b)i_3$$

D. Relation de Conversion

Cette relation est définie comme suit :

$$\begin{bmatrix} V_A \\ V_B \\ V_C \\ i_{d1} \\ i_{d2} \\ i_{d3} \\ i_{d4} \\ i_{d0} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N(t) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_{c1} \\ U_{c2} \\ U_{c3} \\ U_{c4} \\ i_1 \\ i_2 \\ i_3 \end{bmatrix}$$
(6)

On appelle [N(T)] matrice de conversion simple, elle est donnée par :

$$[N(t)] = \begin{bmatrix} n_{11} & n_{12} & n_{13} & n_{14} & 0 & 0 & 0 \\ n_{21} & n_{22} & n_{23} & n_{24} & 0 & 0 & 0 \\ n_{31} & n_{32} & n_{33} & n_{34} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & F_{17} & F_{27} & F_{37} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & F_{11} & F_{21}^{b} & F_{31}^{b} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & F_{18} & F_{28} & F_{38} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & R_{5}^{b} & R_{20}^{b} & F_{30}^{b} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & n_{85} & n_{86} & n_{87} \end{bmatrix}$$
Avec :
$$n_{11} = \frac{1}{3} \Big[2(F_{17} + F_{11}^{b}) - (F_{27} + F_{21}^{b}) - (F_{37} + F_{31}^{b}) \Big]$$

$$n_{12} = \frac{1}{3} (2F_{11}^{b} - F_{21}^{b} - F_{31}^{b})$$
(7)

$$\begin{split} n_{13} &= \frac{1}{3} \left[2(F_{18} + F_{10}^b) - (F_{28} + F_{20}^b) - (F_{38} + F_{30}^b) \right] \\ n_{14} &= \frac{1}{3} (2F_{10}^b - F_{20}^b - F_{30}^b) \\ n_{21} &= \frac{1}{3} \left[-(F_{17} + F_{11}^b) + 2(F_{27} + F_{21}^b) - (F_{37} + F_{31}^b) \right] \\ n_{22} &= \frac{1}{3} (-F_{11}^b + 2F_{21}^b - F_{31}^b) \\ n_{23} &= \frac{1}{3} \left[-(F_{18} + F_{10}^b) + 2(F_{28} + F_{20}^b) - (F_{38} + F_{30}^b) \right] \\ n_{24} &= \frac{1}{3} (-F_{10}^b + 2F_{20}^b - F_{30}^b) \\ n_{31} &= \frac{1}{3} \left[-(F_{17} + F_{11}^b) - (F_{27} + F_{21}^b) + 2(F_{37} + F_{31}^b) \right] \\ n_{32} &= \frac{1}{3} (-F_{11}^b - F_{21}^b + 2F_{31}^b) \\ n_{33} &= \frac{1}{3} \left[-(F_{18} + F_{10}^b) - (F_{28} + F_{20}^b) + 2(F_{38} + F_{30}^b) \right] \\ n_{34} &= \frac{1}{3} (-F_{10}^b - F_{20}^b + 2F_{30}^b) \\ n_{85} &= 1 - (F_{17} + F_{18} + F_{11}^b + F_{10}^b) \\ n_{86} &= 1 - (F_{27} + F_{28} + F_{21}^b + F_{20}^b) \\ n_{87} &= 1 - (F_{37} + F_{38} + F_{31}^b + F_{30}^b) \end{split}$$

E. Stratégie de Commande d'Onduleur de Tension à Cinq Niveaux à Structure NPC

Plusieurs stratégies de commande sont applicables pour l'onduleur de tension à cinq niveaux à structure NPC [4], [13]:

- Commande par hystérésis en courant ;

- Commande triangulo-sinusoïdale à une seule porteuse ;

- Commande triangulo-sinusoïdale à une porteuse avec injection de l'harmonique trois ;

- Commande triangulo-sinusoïdale à quatre porteuses.

Pour la suite de ce travail, on opte pour cette dernière qui présente un taux d'harmonique réduit.

1) Commande Triangulo-Sinusoïdale à Quatre Porteuses :

Différentes porteuses sont possibles, à savoir, porteuse triangulaire unipolaire ou bipolaire, porteuse en dents de scie unipolaire ou bipolaire. Dans le cas d'une référence sinusoïdale, deux paramètres caractérisant la modulation [13]:

- Indice de modulation m égale au rapport de la fréquence f_p de la porteuse à la fréquence f de la référence $m = f_p / f$;

- Taux de modulation, ou coefficient de réglage de tension r : égal au rapport de l'amplitude de la tension de référence V_m à la valeur crête U_{pm} de la porteuse : $m = V_m / U_{pm}$.

2) Algorithme :

Après avoir choisi les quatre signaux de la porteuse, ainsi que les trois tensions de référence, deux étapes caractérisant l'algorithme de commande :

- 1^{ère} étape : Détermination des tensions intermédiaires :

$$\begin{cases} V_{refk} \geq U_{p4} \Rightarrow V_{k4} = 2U_{c} \\ V_{refk} < U_{p4} \Rightarrow V_{k4} = U_{c} \end{cases}; \begin{cases} V_{refk} \geq U_{p3} \Rightarrow V_{k3} = U_{c} \\ V_{refk} < U_{p3} \Rightarrow V_{k3} = 0 \end{cases} \\ \begin{cases} V_{refk} \geq U_{p2} \Rightarrow V_{k2} = 0 \\ V_{refk} < U_{p2} \Rightarrow V_{k2} = -U_{c} \end{cases}; \end{cases} \begin{cases} V_{refk} \geq U_{p1} \Rightarrow V_{k1} = -U_{c} \\ V_{refk} < U_{p1} \Rightarrow V_{k1} = -2U_{c} \end{cases}$$

- 2^{eme} étape : Détermination du signal V_{km} et des ordres de commande B_{ks} des interrupteurs :



IV. MODELE DE LA GENERATRICE ASYNCHRONE A DOUBLE ALIMENTATION

La modélisation d'une machine asynchrone était basée sur l'élaboration de schémas équivalents dérivés de la théorie du champ tournant. Les méthodes matricielles sont développées et sont devenues les bases pour une approche de modélisation, de simulation, d'identification et de commande [3], [7]. On optant pour quelques hypothèses simplificatrices, et on utilisant la transformation de Park, le modèle de la GADA sera [11]:

$$\begin{cases} [v_{ds}] = [R_s][i_{ds}] + \frac{d}{dt} \Phi_{ds} - \omega_s \Phi_{qs} \\ [v_{qs}] = [R_s][i_{qs}] + \frac{d}{dt} \Phi_{qs} + \omega_s \Phi_{ds} \end{cases}$$

$$\begin{cases} [v_{dr}] = [R_r][i_{dr}] + \frac{d}{dt} (\Phi_{dr}) - (\omega_s - \omega) \Phi_{qr} \\ [v_{qr}] = [R_r][i_{qr}] + \frac{d}{dt} (\Phi_{qr}) + (\omega_s - \omega) \Phi_{dr} \end{cases}$$

$$(9)$$

Pour le couple électromagnétique :

$$C_e = p(\Phi_{ds}i_{qs} - \Phi_{qs}i_{ds}) \tag{10}$$

Concernant le choix du référentiel, se fait selon le problème étudié. Dans notre cas, le modèle de simulation est basé sur les équations obtenues avec le référentiel lié au champ tournant [8].

V. COMMANDE VECTORIELLE DE LA GADA

Un contrôle vectoriel de la génératrice asynchrone à double alimentation a été conçu avec orientation du repère (d - q) suivant le flux statorique. En alignant le vecteur flux statorique Φ_s avec l'axe d, nous pouvons écrire [11], [12]:

$$\Phi_{ds} = \Phi_s \,, \, \Phi_{qs} = 0 \tag{11}$$

$$\begin{cases} [v_{ds}] = [R_s][i_{ds}] + \frac{d}{dt} \Phi_{ds} \\ [v_{qs}] = [R_s][i_{qs}] + \omega_s \Phi_{ds} \end{cases}; \begin{cases} [v_{dr}] = [R_r][i_{dr}] + \frac{d}{dt} \Phi_{dr} - \omega_r \Phi_{qr} \\ [v_{qr}] = [R_r][i_{qr}] + \frac{d}{dt} \Phi_{qr} + \omega_r \Phi_{dr} \end{cases}$$
(12)

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

$$i_{qs} = -\frac{M}{L_s}i_{qr}; \quad i_{ds} = \frac{\Phi_{ds} - Mi_{dr}}{L_s}$$
(13)

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

$$\Phi_{dr} = L_r \sigma i_{dr} + \frac{M}{L_s} \Phi_{ds} ; \ \Phi_{qr} = L_r \sigma i_{qr}$$
(14)

Avec:

 σ : est le coefficient de dispersion entre les enroulements d

et q. Il est égal à:
$$\sigma = 1 - \frac{M^2}{L_s L_r};$$

En intégrant les équations des composantes directes et quadrature des courants statorique et celles des tensions statorique, ainsi que celles du rotor, on aura [8], [11]:

$$\begin{cases} [v_{ds}] = \frac{R_s}{L_s} \Phi_{ds} - \frac{R_s}{L_s} M i_{dr} + \frac{d}{dt} \Phi_{ds} \\ [v_{qs}] = -\frac{R_s}{L_s} M i_{qr} + \omega_s \Phi_{ds} \end{cases}$$

$$\begin{cases} v_{dr} = R_r i_{dr} + L_r \sigma \frac{d}{dt} i_{dr} + \frac{M}{L_s} \frac{d}{dt} \Phi_{ds} - L_r \omega_r \sigma i_{qr}; \\ v_{qr} = R_r i_{qr} + L_r \sigma \frac{d}{dt} i_{qr} + \frac{M}{L_s} \omega_r \Phi_{ds} + L_r \omega_r \sigma i_{dr}. \end{cases}$$

$$(15)$$

A partir des équations rotoriques on aura:

$$\begin{cases} \frac{d}{dt}i_{dr} = \frac{1}{L_r\sigma}(v_{dr} - R_r i_{dr} - e_d) \\ \frac{d}{dt}i_{qr} = \frac{1}{L_r\sigma}(v_{qr} - R_r i_{qr} - e_q - e_{\Phi}) \end{cases}$$
(17)

Avec:

$$\begin{cases} e_d = -L_r \omega_r \sigma i_{qr} + \frac{M}{L_s} \frac{d}{dt} \Phi_{ds} \\ e_{\Phi} = \frac{M}{L_s} \omega_r \Phi_{ds} \\ e_q = L_r \omega_r \sigma i_{dr} \end{cases}$$
(18)

L'équation du couple devient alors :

$$C_e = -p(\frac{M}{L_s})\Phi_{ds}i_{qr} \tag{19}$$

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 :

$$\begin{cases} v_{ds} = 0 \\ v_{qs} = v_s = \omega_s \Phi_{ds} \end{cases}$$
(20)

On utilisant les simplifications décrites auparavant, et on remplaçant i_{ds} et i_{qs} par leurs expressions dans les expressions des puissances statoriques, on obtient :

$$\begin{cases} P_s = -\left[\frac{v_s M}{L_s}\right] i_{qr} \\ Q_s = \left[\frac{v_s^2}{\omega_s L_s}\right] - \left[\frac{v_s M}{L_s}\right] i_{dr} \end{cases}$$
(21)

On remarque que le système obtenu lie d'une façon proportionnelle la puissance active au courant rotorique d'axe q et la puissance réactive au courant rotorique d'axe d à la constante ($v_s^2/\omega_s L_s$) près imposée par le réseau [11].



Fig.4 Principe général de la commande vectorielle en puissance active et réactive d'une GADA

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 :

$$\begin{cases} v_{dr} = R_r i_{dr} - g \omega_s [L_r - \left(\frac{M^2}{L_s}\right)] i_{qr} \\ v_{qr} = R_r i_{qr} + g \omega_s [L_r - \left(\frac{M^2}{L_s}\right)] i_{dr} + g \omega_s [\frac{M v_s}{\omega_s L_s}] \end{cases}$$
(22)

Le Principe général de la commande vectorielle de la GADA en puissance active et réactive et montré sur la figure (3).

VI. RESULTATS DE SIMULATION

On abordant l'aspect lié à la simulation, un programme écrit en MATLAB ou autre, permet d'évaluer le comportement de la génératrice asynchrone à double alimentation [13].

La puissance de la génératrice est de 1,5MW, entraînée à une vitesse fixe. En réalisant aussi des échelons de puissance active et réactive dans les conditions suivantes :

- Vitesse d'entraînement : 1350tr/mn ;
- A t = 0.1s, on connecte le stator de la machine à une source de tension triphasée supposée parfaite ;
- A t = 0.6s, on réalise un échelon de puissance active (-1.5MW);
- A t = 0.8s, on réalise un échelon de puissance réactive (-1MVAR).

Les résultats obtenus sont présentés sur les figures cidessous.



On constate qu'au démarrage aucune puissance ne peut être développée et cela est dû à l'absence de l'alimentation du stator de la machine (les deux puissances dépendent de la tension v_s).



L'alimentation du stator par une source de tension est suivie d'un régime transitoire et les grandeurs se stabilisent après un temps égal à 0.5s. Les puissances actives et réactive statoriques suivent bien leurs références, ce qui nous confirme que la génératrice peut produire (contrôler) aussi de l'énergie réactive en cas de besoin. Les courants statoriques et rotoriques se stabilisent et prennent leurs formes sinusoïdales avec des fréquences différentes. Concernant des harmoniques à la sortie de l'onduleur de tension à cinq niveaux, on remarque (sur la figure .4.) l'apparition du fondamental et les autre harmoniques avec des amplitudes très faibles.

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 cinq niveaux à structure NPC commandé par la stratégie triangulo – sinusoïdale à quatre porteuses en dents de scie. La modélisation de l'onduleur à 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 cinq niveaux qui nous a permis de réduire l'amplitude des harmoniques de la tension qui 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 (éolien).

REFERENCES

- A.Talha, M.0.Mahmoudi, D.Beriber and E.M.Berkouk, "Study and control of two two-level PWM rectifiers-clamping bridge-two three-level NPC VSI cascade. Application to double stator induction machine," IEEE Power Electronics Specialists Conference, pp.3894–3899, Aachen Germany, 2004.
- [2] T.Kompa, A.Samour, D.Schulz and R.Hanitsch, "Comparative Power Quality Investigations of Variable Speed Wind Energy Converters with Doubly-fed Induction and Synchronous Generator," PCIM Power Quality Conference Nuremberg. pp. 39-44, May 14-16, 2002.
- [3] F.Poitiers, "Etude et Commande de Génératrice Asynchrones pour l'utilisation de l'Energie Eolienne -Machine asynchrone à cage autonome -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.
- [4] D.J.Adams, F.Z.Peng and J.W.Mckeever, "Cascaded Multilevel Inverter for Utiling Applications," IEEE. 0-7803-3932-0, 2000.
- [5] A.Bendre and G.Venkataramanan, "Reciprocity-Transposition-Based Sinusoidal Plusewidth Modulation for Diode-Clamped," IEEE Transactions on Industrial Electronics. Vol.49, N°5, October, 2002.
- [6] F.Z.Peng, J.Rodriguerz 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] M.Machmoum, "Contribution à l'étude de la commande numérique de l'ensemble Cycloconvertisseur triphasé-Machine Asynchrone à Double Alimentation," Thèse de doctorat. Institut Nationale Polytechnique de Lorraine, 1989.
- [8] O.Motoyoshi and M.Yamamoto, "Active and reactive power control for doubly-fed wound rotor induction generator," IEEE Transactions on Power Electronics. Vol.6, N°.4, pp. 624-629, October, 1991.
- [9] 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.
- [10] S.Boulkhrachef, "Analyse et commande d'un onduleur à cinq niveaux à structure NPC. Application à la machine asynchrone commandée par logique floue," Mémoire de magister en électrotechnique. Ecole Nationale Polytechnique d'alger, 2001.
- [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.
- [13] 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.

Swarm Intelligence Application In Dielectric Materials

T. Barkat*

*Department of Electrical Engineering, Batna University, Email: toufikelt@yahoo.fr

Abstract – This a rticle p resents a classification of dielectric m aterials on e u sing t he al gorithms of multi agents system (ants) who has large capacity to solve a complex problems, this techniques offer high a degree flexibility and robustness in dynamic environments, all t his al gorithms i nspired by t he collective b ehavior of s ocial i nsects an d s warm intelligence, i n t his w ork of classification t he number of class not known before simulation.

Keywords – swarm intelligence, ant colony algorithm, not supervised classification

I. INTRODUCTION

All what surrounds us, ever it is physical or abstract, appears to us in an organized way.

Today, we being interested in the problems resulting from information technologies, we are brought to treat very complex data, by their nature, their size, their source, and their diversity.

This evolution resulted in releasing two strategies of classification:

- Supervised: (In this type of approach, classes are known in advance)

- unsupervised :(to organize objects without knowledge in priori of a classification)

In this work we are interested much more in unsupervised classification

The multi agents systems represent one of the most used models of classification simulation. It should be noted that the reactivity of the agents enables them to be sensitive to the changes of the environment in which they evolve/move, and to react directly consequently, without passing by a phase of reasoning.

It is significant to underline that the ants (agents) are completely autonomous. Each ant behaves according to its local perception in spite of this, from a global significant behavior result from it [1].

All the ants take part in the emergence of a task on a macro scale, on the other hand, none is not essential to total dynamics, which gets a very interesting characteristic with these systems [2].

This work aims to classify dielectric materials by the method of an unsupervised classification based on the simulation of the multi agents (system of the ants) using a software of programming called NET LOGO.

II. ALGORITHMS OF ARTIFICIAL ANTS FOR CLASSIFICATION

The algorithms of automatic classification are another type of algorithms inspired by the collective behaviors observed in the ants. The first works in this field were those of Deneubourg and its team in 1990 [1].[2],being based on a colony of artificial ants which move randomly on a rectangular grid and is able to collect and deposit objects on a grid with an aim of gathering them according to a criterion of similarity. This work thereafter was improved and extended to various applicability.

To gather in heap a standard whole of objects in the same way, the probabilities of collecting and depositing an object are clarified: when an ant does not transport any element, its probability of collecting one of them, met on its way, is given by:

$$p_p = \left(\frac{k_1}{k_1 + f}\right)^2 \tag{1}$$

k1 is a positive constant and f corresponds to the proportion of elements perceived in the neighborhood of the ant.

When there are few objects in the neighborhood of the object coveted by the ant, f << k1 which means that p_p is close to 1 and the object has much chance to be collected.

Conversely, when the neighborhood is dense in elements, f >> kl and then pp is close to 0. When a charged ant by an object moves, its

Probability of depositing the object is given by:

$$p_d = \left(\frac{f}{k_2 + f}\right)^2 \tag{2}$$

III. MODEL OF LUMER AND FAIETA

The algorithm proposed by Deneubourg [1] was taken again and extended by Lumer and Faita for the classification of numerical data. The introduced extensions relate particularly to the following points: - The data are represented by vectors of numerical characteristics.

- The similarity between two data is measured as an Euclidean distance between their vector of characteristics.

- The ant is able to perceive an R_s area of (S * S) boxes around its current position on the grid.

IV. THE GRID OF LUMER AND FAIETA

This grid uses the algorithm of Faieta and Lumer such as the objects are represented by boxes of two forms describing their types and the rectangle in interrupted line is the area perceived by the ant (Fig.1).

Object of class 1 Object of class 2

						\bigcirc			
		\bigcirc							7
	Ж								
							1	*	
\bigcirc						\bigcirc			
					г- 1			\bigcirc	
				甇					
			-	1	\overline{O}				
		۲							
\bigcirc						\bigcirc			

Fig.1 Grid classification of Lumer and Faieta

The probabilities of displacement and deposit of the objects become respectively:

$$p_{p}(i) = \left(\frac{k_{1}}{k_{1} + f(o_{i})}\right)^{2}$$
(3)

$$p_{d}(i) = \begin{cases} 2f(o_{i}) & \text{if } f(o_{i}) < k_{2} \\ 1 & \text{if } f(o_{i}) \ge k_{2} \end{cases}$$
(4)

$$f(o_i) \begin{cases} \frac{1}{s^2} \sum_{o_j \in R(r(o_i))} \frac{d(o_i, o_j)}{\alpha} & \text{if } f > 0 \\ 0 & \text{elseif} \end{cases}$$
(5)

 $r(o_i)$ is the position of i^{th} object on the grid. It is a measurement of average similarity between an object with the objects of its neighborhood.

The factor α controls the consistency of the dissimilarity function between the objects. If α is too high the different objects will be put in the same class. In the contrary case the similar objects will not be gathered together.

Algorithm LF (Lumer and Faieta, 1994)

(1) Place randomly N objects o_1, \ldots, o_N on the grid G

(2) for T=1 to $T \max$ make :

(3) for all $a_J \in \{a_1, \ldots, to a_A\}$ make

(4) **if** the ant a_j does not transport an object

and $r(o_i) = r(a_j)$ then

```
(5) Calculate f(o_i) and p_p(o_i)
```

(6) the ant a_J collects the object o_i following the probability $p_P(o_i)$

(7) **if not**

(8) **if** the ant a_i transports the object o_i

and the box $r(a_J)$ is empty **then**

(9) Calculate $f(o_i)$ and $p_d(o_i)$

(10) the ant a_j deposes the object o_i on the box $r(a_j)$ with a probability $p_d(o_i)$

- (11) **end if**
- (12) **end if**

(13) Displace the ant a_1 on a close box non occupied by another ant

- (14) **end for**
- (15) end for

(16) **Turn over** the placement of the objects on the grid

Our classification algorithm is not made in a numerical way but in a symbolic way.

In modeling we have for example a set of 3 insulating materials, for each type we associate properties (name, form, color, size..... etc) (Fig.2).

V. RESULTS

We present first classification of dielectric materials and then we carry out the variation of some parameters having an influence on the ants and their capacities to classify. In this part, the properties of insulating are (the name, the form, the color) (Fig.2-3) And we use originally 3 kinds of dielectrics.







Fig.2 symbolic classification system (the color is taken as a criterion here)



T=0

T = 142



T= 1651

Fig.3 Phases of classification

VI. VARIATION OF THE DETECTION RADIUS

The phases of classification with a variation of the radius of detection show that the ants never end the goal to classify materials if it does not have a detection radius which does not exceed the limits of the grid, and which is very small regarding the dimensions of the grid even if the time of classification is some days (Fig.4).





T= 1234

Fig.4 phases of classification with a variation of the detection radius R=12

VII. VARIATION OF THE NUMBER OF ANTS

We vary the number of ants agents from 3 to 30 by fixing the displacement space size of the ants agents and the number of the objects is 20 for all insulations.

Let us note that the time of classification decreases with the increase of the number of ants, that implies that the more the number of ants is large the more the classification of materials is easier and fast (Fig.5).



Fig.5 Classification time according to the number of the ants

VIII. VARIATION OF THE NUMBER OF OBJECTS

In this part, we fix the number of agents to 10 ants and we vary the number of objects (insulating) from 10 to 30 and by fixing the displacement space of the ants agents.

The obtained results are presented on the figure below (Fig.6). In this figure we note that there is a relation between the classification time and the number of materials, when the number increases the classification time automatically increases too.



Fig.6 Classification time according to the number of objects

IX. INCREASES IN THE NUMBER OF INSULATIONS

We use in this part 5 kinds of insulation presented symbolically by forms and colours (Fig.7).



Instant T=0







T = 4056

Fig.7 classification phases by changing the number of insulation kinds.

X. CONCLUSION

- The presented work is an application of the unsupervised classification of dielectric materials using artificial ants, based on a symbolic data system (name, color, form...etc).

- This work enabled us to grow in the world of the ants, and to familiarize with the algorithms of classification using this technique in the resolution of complex classification problems. The used software in this field (NET LOGO).

- The obtained simulation results by the application of the techniques of artificial ants based on a symbolic data system are satisfactory as well as for the classification quality as for the execution speed.

The principal parameters influencing classifications are:

- ✓ Dimension of the grid, the speed of the ants (presented in another work) and the nature of the data.
- The initial position of ants and objects on the grid.

A natural sequence of this work would be to use the same method of classification with a change of environment and real numerical data by introducing numerical values of dielectrics parameters as physicochemical and electrical parameters, gases concentrations,...).

The classes made by the ants swarm can be:

- The dielectric is:
 - In a good state: let it in service.
 - In a degenerated state: replace it.
 - ✓ Undergoing a degradation which can lead to a failure in equipments: treat it if possible.

V. REFERENCES

[1] E.Bonabeau, M.Dorigo, G.Théraulaz, *swarm intelligence*, oxford university press: 1999.

[2] N.Monmarché, Algorithmes des fourmis artificielles application à la classification et à la l'optimisation, PHD, University of Tours : 2000.