

Etude et réalisation d'un onduleur à trois niveaux commandé par MLI vectorielle

T. Abdelkrim^{1*}, E.M. Berkouk²,
K. Aliouane³, K. Benamrane¹ et T. Benslimane^{4†}

¹ Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables, 'URAER'
B.P. 88, Z.I. Gaara Taam, Ghardaïa, Algérie

² Laboratoire de Commande des Processus, LCP
Ecole Nationale Polytechnique, 10, Av. Hassen Badi, El Harrach, Alger, Algérie

³ Laboratoire d'Electronique de Puissance, 'LEP'
Ecole M. Polytechnique, B.P. 17, Bordj El Bahri, Alger, Algérie

⁴ Université de M'Sila, B.P. 166, Rue Ichebilila, M'sila, Algérie

(reçu le 23 décembre 2010 – accepté le 25 Juin 2011)

Résumé - Dans cet article, nous proposons de développer une stratégie de commande par Modulation de Largeurs d'Impulsions (MLI) vectorielle de l'onduleur de tension triphasé à trois niveaux à structure NPC. Nous commençons par présenter la structure ainsi que le modèle de ce convertisseur. Par la suite, nous développons les différentes étapes de l'algorithme proposé que nous avons implémentés. Enfin, des résultats expérimentaux justifiant la fidélité du modèle sont présentés.

Abstract - In this paper, a Space Vector Pulse Width Modulation (SVPWM) control of three levels Neutral Point Clamped (NPC) Voltage Source Inverter (VSI) is proposed. In first part, the structure and model of this power converter are presented. After that, a SVPWM control strategy is developed and implemented. Finally, experimental results are presented.

Mots clés: Onduleur à trois niveaux - MLI vectorielle - Commande numérique.

1. INTRODUCTION

Les onduleurs de tension constituent une fonction incontournable de l'électronique de puissance. Ils sont présents dans des domaines d'application les plus variés, dont le plus connu est sans doute celui de la variation de vitesse des machines à courant alternatif. La forte évolution de cette fonction s'est appuyée, d'une part, sur le développement de composants à semi-conducteurs entièrement commandables, puissants, robustes et rapides, et d'autre part, sur l'utilisation quasi-généralisée des techniques dites de modulation de largeurs d'impulsions.

Dans les applications de fortes puissances, la structure des onduleurs à trois niveaux est plus adaptée, par rapport à la structure classique, du fait que les tensions et courants de sortie présentent un taux d'harmoniques nettement inférieur. La tension aux bornes de chaque interrupteur est divisée par deux et la fréquence de hachage est plus basse [1-4].

Dans cet article, nous présentons, dans la première partie, la structure ainsi que le modèle de l'onduleur de tension à trois niveaux à structure NPC.

* tameur2@yahoo.fr

† bens082002@yahoo.fr

Ensuite, dans la deuxième partie, nous présenterons les différentes étapes de l’algorithme de commande par MLI vectorielle en utilisant les 19 vecteurs tensions de l’onduleur, ainsi que les résultats de simulation obtenus. Enfin, nous présenterons quelques résultats expérimentaux de l’application de notre onduleur sur une charge RL.

2. MODELE DE L’ONDULEUR A TROIS NIVEAUX

La figure 1 montre la structure d’un onduleur de tension triphasé à trois niveaux à structure NPC. On commence par définir la fonction de connexion F_{ki} de l’interrupteur. Elle vaut 1 si l’interrupteur est fermé et 0 dans le cas contraire.

En mode commandable, les fonctions de connexion de l’onduleur sont liées par la relation (1).

$$\begin{cases} F_{K1} = 1 - F_{K4} \\ F_{K2} = 1 - F_{K3} \end{cases} \quad (1)$$

Avec, $k = 1, 2$ ou 3 , représente le numéro du bras.

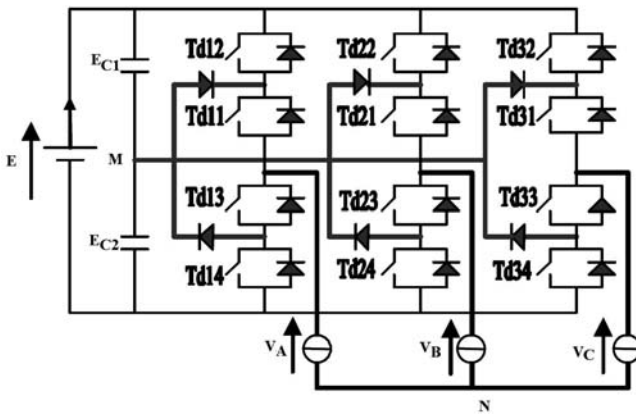


Fig. 1: Onduleur à trois niveaux à structure NPC

On définit la fonction de connexion F_{km}^b du demi-bras comme suit:

$$\begin{cases} F_{K1}^b = F_{K1} \times F_{K2} \\ F_{K0}^b = F_{K3} \times F_{K4} \end{cases} \quad (2)$$

On désigne par: $m = 1$: le demi-bras du haut et $m = 0$: le demi-bras du bas.

Les potentiels des noeuds A, B et C de l’onduleur triphasé à trois niveaux, par rapport au point M s’expriment comme suit:

$$\begin{cases} V_{AM} = F_{11}^b \times U_{c1} - F_{10}^b \times U_{c2} \\ V_{BM} = F_{21}^b \times U_{c1} - F_{20}^b \times U_{c2} \\ V_{CM} = F_{31}^b \times U_{c1} - F_{30}^b \times U_{c2} \end{cases} \quad (3)$$

Les tensions simples de sortie s'écrivent:

$$\begin{bmatrix} V_A \\ V_B \\ V_C \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix} \times \left\{ \begin{bmatrix} F_{11}^b \\ F_{21}^b \\ F_{31}^b \end{bmatrix} U_{c1} - \begin{bmatrix} F_{10}^b \\ F_{30}^b \\ F_{30}^b \end{bmatrix} U_{c2} \right\} \quad (4)$$

3. STRATEGIE DE COMMANDE ET RESULTATS DE SIMULATIONS

La stratégie proposée dans cet article est une MLI vectorielle. Pour chaque pas de calcul, le vecteur de référence est constitué de trois des dix-neuf vecteurs que constitue le diagramme vectoriel de l'onduleur à trois niveaux (Fig. 2).

De ce fait, la forme d'onde de la tension de sortie obtenue est meilleure que celles obtenues par les MLI classiques. Cette stratégie se compose des six étapes schématisées par l'organigramme 1 [5, 6].

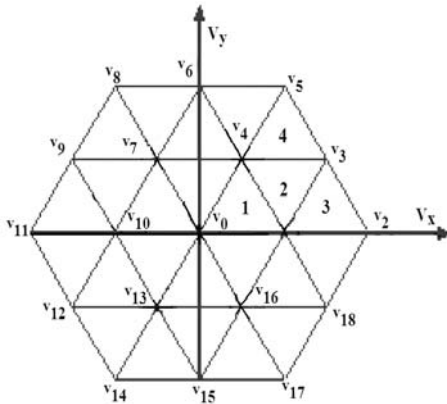


Fig. 2: Diagramme vectoriel de l'onduleur

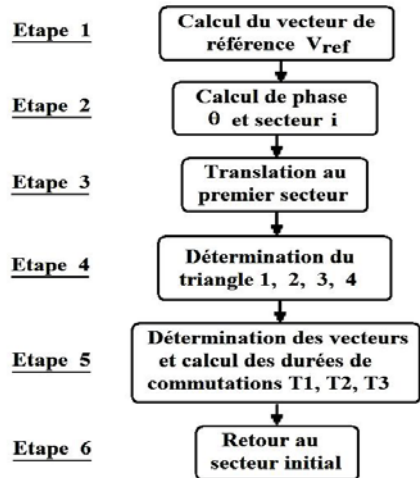


Fig. 3: Etapes de la MLI vectorielle

La figure 4 montre la tension V_{AM} . Elle présente les trois niveaux de tension de sortie d'un bras $U_{c1}, 0, -U_{c2}$.

La figure 5 montre la tension de sortie de la première phase de l'onduleur, ainsi que son analyse spectrale. Le spectre de la tension montre que les harmoniques se regroupent en familles centrées autour des fréquences multiples de la fréquence de commutation.

Les harmoniques les plus importants sont numérotés au nombre 23 et 25.

La figure 6 montre la tension composée U_{AB} . Elle présente les cinq niveaux de tensions $2U_{c1}, U_{c1}, 0, -U_{c2}, -2U_{c2}$.

La figure 7 présente les courants de sortie I_{beta} en fonction de I_{alpha} .

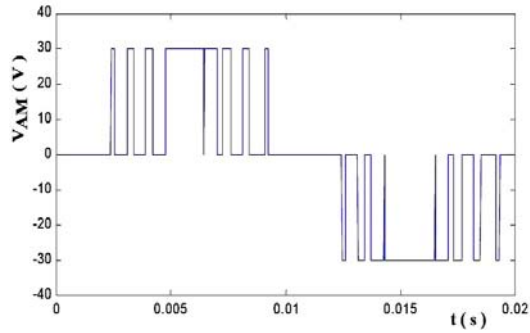


Fig. 4: Tension V_{AM}

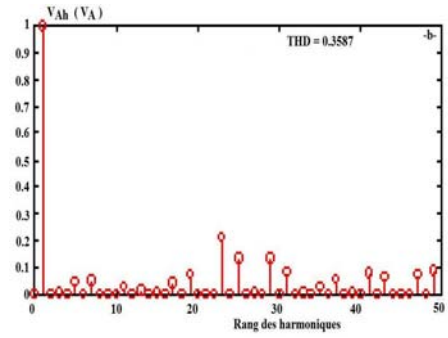
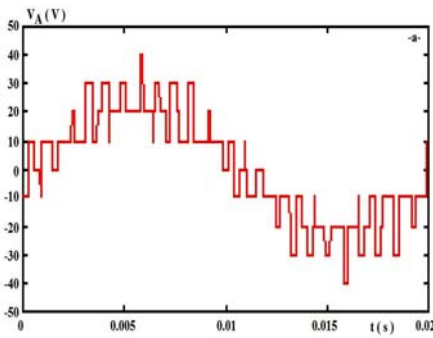


Fig. 5: Tension de sortie de la première phase V_A et son analyse spectrale

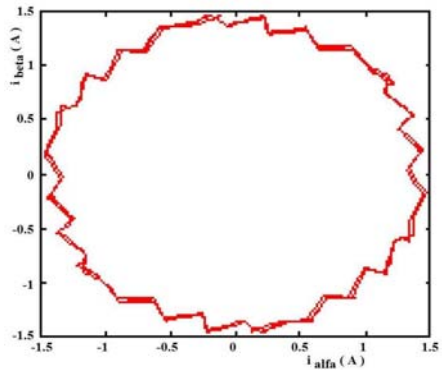
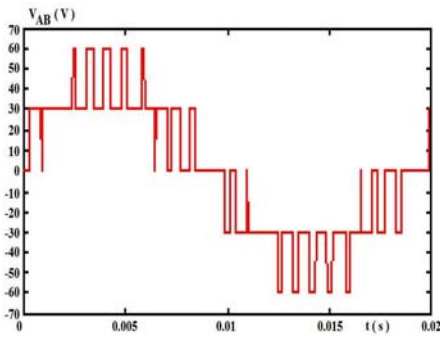


Fig. 6: Tension composée U_{AB}

Fig. 7: I_{beta} en fonction de I_{alpha}

La figure 8 montre l'évolution de l'amplitude du fondamental de la tension de sortie V_A en fonction du taux de réglage r .

On constate que l'amplitude du fondamental est linéaire, jusqu'à $r = 1.15$.

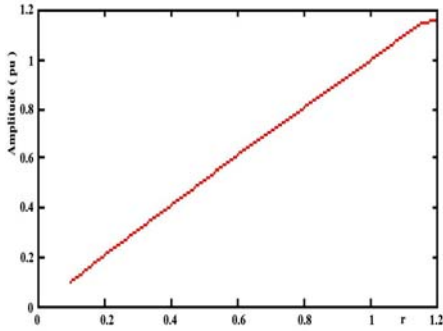


Fig. 8: Evolution du fondamental de la tension V_A

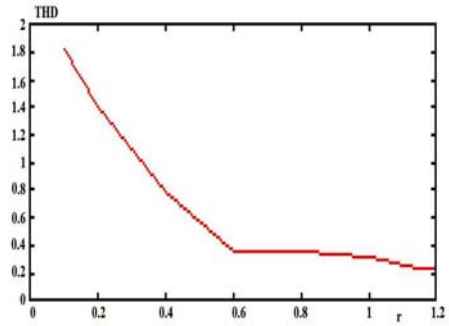


Fig. 9: THD de la tension V_A

La figure 9 montre la courbe du taux d'harmoniques en fonction de r . On remarque que le taux d'harmoniques diminue quand r augmente.

4. REALISATION PRATIQUE ET RESULTATS EXPERIMENTAUX

Le transistor utilisé est un IGBT IRGBC40F de 'International rectifier' avec une gamme de fréquence de travail de l'ordre de 3 kHz à 8 kHz. La diode rapide utilisée est BYT30PI 1000 de 'Thomson'.

Le circuit de commande rapproché de la technique MLI vectorielle proposé dans cet article est composé d'un PC associé à une carte PIA et une carte d'interface. La figure 10 représente le schéma synoptique du dispositif.

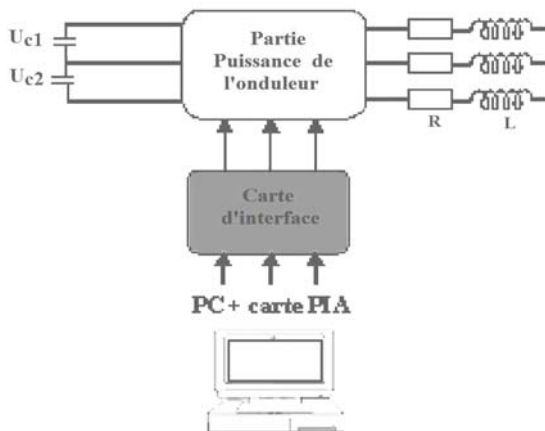


Fig. 10: Schéma synoptique du dispositif technique

La figure 11 présente la variation de la tension V_{AM} . La forme d'onde de la tension obtenue ressemble à celle de la simulation, à la différence du niveau zéro de la tension qui est un peu décalé. Ceci est due au déséquilibre du point milieu.

La figure 12 montre l'évolution de la tension de la première phase V_A , suivie de son analyse spectrale. Le taux d'harmonique obtenu est proche de celui de la simulation.

La tension composée U_{AB} est présentée par la figure 13.

La figure 14 présente les variations du courant de sortie I_{beta} en fonction de I_{alpha} .

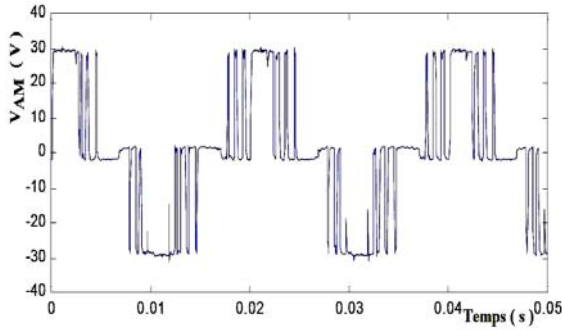


Fig. 11: Tension V_{AM}

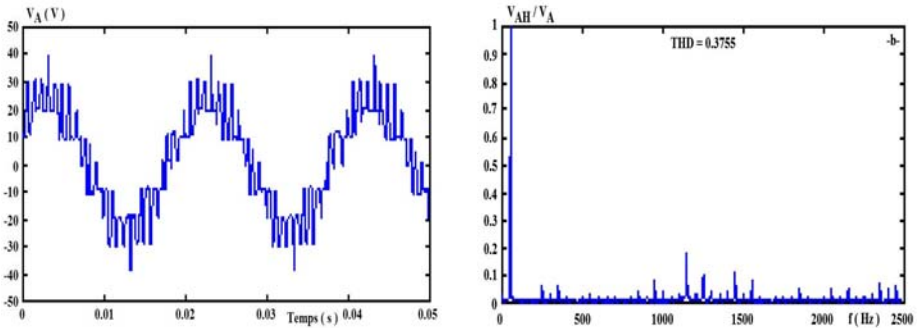


Fig. 12: Tension de sortie de la première phase V_A et son analyse spectrale

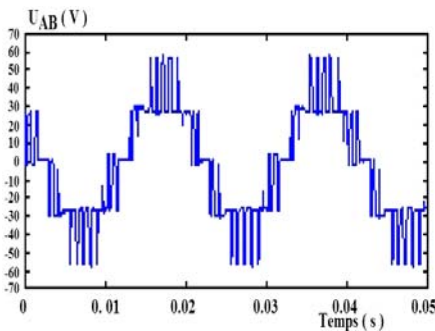


Fig. 13: Tension composée U_{AB}

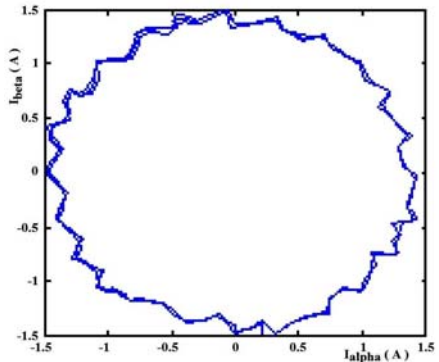


Fig. 14: I_{beta} en fonction de I_{alpha}

Paramètres de montage du dispositif électronique

$R = 22\Omega$, $L = 340\text{mH}$, indice de modulation $m = 24$, taux de réglage $r = 0.8$,
 $U_{cl} = 30\text{V}$, $U_{cl} = 30\text{V}$.

5. CONCLUSION

Dans cet article, nous avons présenté le modèle de l'onduleur de tension à trois niveaux à structure NPC. De ce modèle, on a constaté que l'onduleur à trois niveaux est la mise en série de deux onduleurs à deux niveaux.

Ensuite, nous avons présenté l'organigramme qui résume les six étapes de MLI vectorielle proposée. Les résultats de simulation obtenus nous ont montré que les harmoniques de la tension de sortie V_A se regroupent en familles centrées autour des fréquences multiples de la fréquence de commutation.

Enfin, nous avons présenté le banc expérimental réalisé et les résultats expérimentaux obtenus. Ces derniers présentent une similitude avec ceux de la simulation.

REFERENCES

- [1] G. Segulier and F. Labrique, '*Les Convertisseurs de l'Electronique de Puissance*', Tome 4: La Conversion Continu-Alternatif', Edition Lavoisier, Technologie & Documentation, 1989.
- [2] A. Nabae, I. Takahashi and H. Akagi, '*A New Neutral-Point-Clamped PWM Inverter*', IEEE Transactions on Industry Applications, Vol.1A-17, N°5, pp. 518 – 523, 1981.
- [3] J. Sheng Lai and F.Z. Peng, '*Multivel Converters- A New Breed of Power Converters*', IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 32, N°3, pp. 509 – 517, 1996.
- [4] E.M. Berkouk, '*Contribution à la Conduite des Machines Asynchrones Monophasées et Triphasées Alimentées par des Convertisseurs Directs et Indirects. Application aux Gradateurs et Onduleurs Multiniveaux*', Thèse de Doctorat, C.N.A.M, Paris 1995.
- [5] M. Saeedifard and A.R. Bakhshai, '*Vector Classification and Voltage Control in PWM Three-level Inverters*', Power Electronics Specialists Conference'04, N°35, Aachen, Germany, pp. 4411 – 4417, 20-25 June, 2004
- [6] Lei Hu, Hongyan Wang, Yan Deng and Xiangning He, '*A Simple SVPWM Algorithm for Multilevel Inverters*', Power Electronics Specialists Conference'04, N°35, Aachen, Germany, pp. 3476 – 3480, 20-25 June, 2004.