



## Le convertisseur matriciel et son intégration dans les systèmes éoliens

BENACHOUR Ali  
Ingénieur

Division Energie Eolienne - CDER  
E-mail: a.benachour@cder.dz

### Introduction

Le convertisseur matriciel (MC) a été proposé par Venturini et Ale-sina en 1980 (1). Appelé aussi convertisseur à commutation forcée, il est de type AC-AC direct et utilise une matrice  $n*m$  d'interrupteurs bidirectionnels en puissance, pour connecter directement les  $n$  phases d'entrée au  $m$  phases de sortie. La figure 1 présente un convertisseur matriciel triphasé.

Ce type de convertisseur offre plusieurs avantages si on le compare avec les convertisseurs à cascade classique AC-DC-AC. Parmi ces avantages, nous pouvons citer :

- La possibilité de générer des tensions de sorties avec une fréquence et une amplitude variables.
- Son encombrement réduit et une grande durée de vie (plus fiable) à cause de l'absence de circuit intermédiaire DC (donc pas d'élément de stockage comme les capacités électrolytique) (1, 2).
- Assure le fonctionnement quatre quadrants (bidirectionnel en tension et en courant).
- Le réglage de son facteur de puissance d'entrée indépendamment de la charge
- La production de signaux d'entrée (courant) et de sortie d'une qualité élevée.

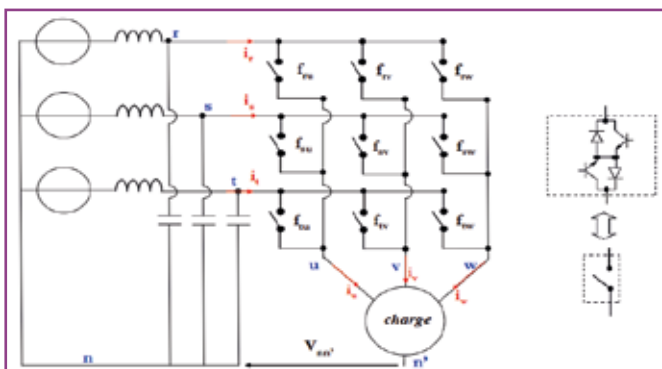


Figure 1: Convertisseur matriciel 3\*3

Par contre il présente des inconvénients qui sont essentiellement :

- L'amplitude de la tension de sortie qui est limitée à 87% de la tension d'entrée (sinon on aura le phénomène de distorsion basse fréquence) (1).
- Le grand nombre de semi-conducteurs dont il est composé complique un peu la commande et la commutation.

Ce convertisseur est le sujet de recherche et de développement depuis son invention (1). En effet plusieurs nouvelles topologies sont proposées tels que le convertisseur matriciel indirect, sparse, very sparse, ultra sparse et multi niveaux. La recherche touche aussi l'aspect commande et commutation. En effet, la majorité des commandes proposées pour la cascade classique sont adaptées au MC. Elle touche aussi les aspects suivants: protection, application et

optimisation (1, 2). Quelques applications industrielles sont proposées par des constructeurs (1).

### Intégration du convertisseur matriciel dans le système éolien

Ces dernières années, l'intérêt de l'utilisation des énergies renouvelables ne cesse d'augmenter surtout avec les nuisances des gaz à effet de serres et la volonté mondiale de les réduire. L'énergie éolienne est l'une des plus importantes solutions. Son intégration ne cesse d'augmenter d'une année à une autre. Ainsi, la puissance totale installée a atteint en 2014 plus de 369 GW (3). L'éolienne à axe horizontal à vitesse variable est la plus utilisée surtout pour la moyenne et la haute puissance (2,3). Les deux configurations suivantes sont les plus appliquées :

- Eolienne couplée à une génératrice asynchrone double alimentation (figure 2)
- Eolienne couplée à une génératrice synchrone à aimants permanents (figure 3)

Dans ces deux configurations, le convertisseur matriciel peut remplacer le convertisseur classique (cas connecté au réseau) avec pour conséquence de diminuer les charges liées à la maintenance des éoliennes et d'augmenter sa durée de vie (pas de capacités électrolytiques) donc de diminuer le prix de maintenance.

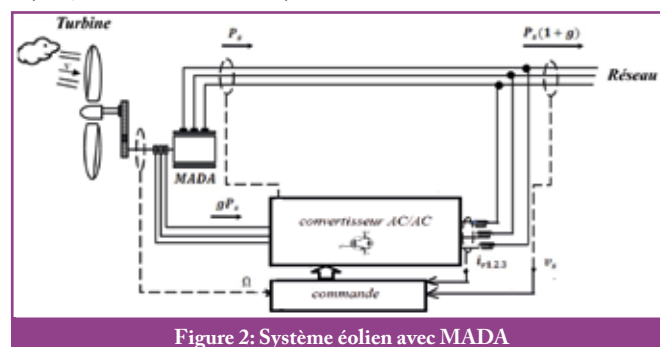


Figure 2: Système éolien avec MADA

Plusieurs travaux de recherche sont consacrés pour remplacer la cascade classique et pour adapter les commandes et régler les problèmes liés à ce convertisseur afin qu'il puisse remplacer le convertisseur classique. On cite quelques références ici :

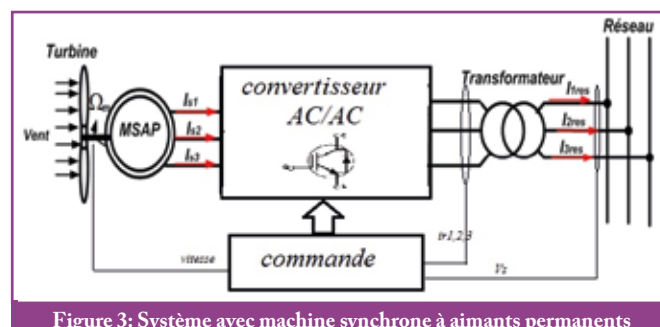


Figure 3: Système avec machine synchrone à aimants permanents



Pena et al. (4), ont proposé et validé expérimentalement une topologie avancée pour un système de type MADA dans laquelle plusieurs éoliennes sont connectées au réseau via un convertisseur matriciel indirect modifié. Nasr El-Khoury et al. (5) ont présenté une revue de l'intégration des différentes topologies du MC pour une chaîne éolienne basée sur une machine à aimant permanent. Plus récemment (2), dans une revue de travaux de recherche consacrés à la modulation et à la commande du même système, ces derniers comme d'autres ont montré que la majorité des commandes appliquées au convertisseur classique sont adaptées au convertisseur matriciel et que l'intégration des MC est faisable.

La recherche pour l'intégration du convertisseur matriciel dans les systèmes éoliens connectés au réseau a atteint un niveau très avancé (1,2). Cependant, le nombre de travaux de recherche dans ce domaine ne cesse d'augmenter. Cette thématique est donc abordée dans le cadre d'une thèse de doctorat\* qui porte sur la réalisation d'un MC indirect. Le dispositif réalisé sera validé expérimentalement au sein de l'équipe systèmes hybrides de la division Energie Eolienne du CDER où un émulateur d'éolienne basé sur machine asynchrone à double alimentation est en cours de montage.

### Conclusion

Le MC est un convertisseur purement semi-conducteur qui peut être totalement intégré dans un module et commandé en temps réel sans retard (comme c'est le cas dans la cascade classique où un retard, lié à la capacité de bus continu, est observé (1)). Avec les

avantages qu'il offre et notamment l'absence du bus continu, l'intégration de ce convertisseur réduit la taille, le prix de production et d'entretien du système éolien. Avec l'avancement technologique (calculateur et circuits d'adaptations) ce type de convertisseur remplacera le convertisseur classique non seulement pour l'éolien mais aussi pour les variateurs de vitesse.

### Références

1. T. Friedli, et J. W. Kolar. 2012: Milestones in matrix converter research, IEEJ Journal of Industry Applications, Vol. 1, n° 1, p. 2-14.
2. C. Nasr El-Khoury, H. Y. Kanaan, et I. Mougharbel. 2014: A review of modulation and control strategies for matrix converters applied to PMSG based wind energy conversion systems, IEEE 23rd International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), p. 2138–2142.
3. GWEC – Global Wind 2014 Report ([www.gwec.net](http://www.gwec.net))
4. R. Peña, R. Cardenas, E. Reyes, J. Clare, et P. Wheeler. 2009: A Topology for Multiple Generation System with Doubly Fed Induction Machines and Indirect Matrix Converter, IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 56, n° 10, p. 4181–4193.
5. C. N. El-Khoury, H. Y. Kanaan, I. Mougharbel, et K. Al-Haddad: A review of matrix converters applied to PMSG based wind energy conversion systems, in IECON 2013 - 39th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, 2013, p. 7784–7789.

(\*) *Sujet inscrit à l'Ecole Nationale Polytechnique d'Alger*

## Emulateur d'éoliennes

Un émulateur d'éoliennes est en cours de réalisation au sein de la Division Energie Eolienne (figure 1). Développé pour la validation de modèles de commandes d'éoliennes, ce banc d'essai de 1.5 kW de puissance est composé des 3 principaux éléments suivants :

- Un moteur asynchrone à cage utilisé pour reproduire les variations de la vitesse du vent. Ce moteur est commandé par un variateur de vitesse Altivar 71 Schneider.
- Une génératrice asynchrone à double alimentation couplée au moteur asynchrone et au réseau à travers une électronique de puissance.
- Des convertisseurs (électronique de puissance) pour la commande de la génératrice et pour le maintien du bus continu à une fréquence de référence.

Cet émulateur permet de reproduire le couple et l'inertie de différentes éoliennes en fonction de la vitesse du vent.



Figure 1: Emulateur d'éoliennes du CDER en cours de montage