

# Commande d'un Aérogénérateur par un Contrôle Direct du Couple Amélioré par la Logique Floue

Karim Fathi SAYEH, Salah TAMALOUZT

Laboratoire de Technologie Industrielle et de l'Information (LTII), Faculté de Technologie, Université de Bejaia, 06000 Bejaia, Algérie.

**RESUME** – Ce travail présente l'utilité d'utilisation d'un contrôleur à logique floue pour l'amélioration des performances de la DTC appliquée à un aérogénérateur basé sur une génératrice asynchrone à double alimentation (WT-DFIG). Les objectifs visés sont de minimiser au maximum les handicaps de la DTC classique (C-DTC) et de préserver ses avantages, par la proposition d'une DTC améliorée basée sur des contrôleurs à logique floue (FH-DTC). Les résultats de la simulation obtenus sur MATLAB/Simulink ont montré l'efficacité de la technique proposée à minimiser les inconvénients de la C-DTC, d'une manière remarquable, entraînant ainsi de meilleures performances du système WT-DFIG.

**Mots-clés**—Éolienne, DTC, DFIG, Hystérésis, Contrôleur de logique floue.

## 1. INTRODUCTION

L'énergie éolienne est une source d'énergie renouvelable, gagne en popularité en raison de sa capacité à produire de l'énergie propre, tout en réduisant la pollution et le réchauffement climatique. En raison de ses performances élevées, de sa large plage de vitesse et de son contrôle de l'énergie active et réactive, la génératrice asynchrone à double alimentation (DFIG) est le générateur le plus efficace pour les parcs éoliens à vitesse variable [1].

Au milieu des années 1980, la technique de contrôle direct du couple (DTC) a été introduite [2]. Son objectif est de déterminer le meilleur vecteur de tension rotorique en tenant compte des erreurs d'hystérésis, du secteur de flux rotorique et des tables de commutation. La présence de grandes ondulations est le principal défi de la DTC, pour lequel diverses solutions complexes ont été proposées comme [3,4].

L'objectif principal de cette étude est d'étudier la possibilité de réduire les effets d'entraînement causés par la comparaison d'hystérésis en remplaçant le contrôleur de logique floue (FH DTC) dans le système WT-DFIG. Cette recherche sera menée selon trois modes de fonctionnement distincts. Les résultats de cette étude seront présentés sous forme de résultats de simulation complets obtenus à l'aide de MATLAB/Simulink.

L'objectif principal de ce travail est de présenter l'utilité d'utilisation d'un contrôleur à logique floue pour l'amélioration des performances de la DTC appliquée à un WT-DFIG, dans les différents modes de fonctionnement de ce générateur. Les objectifs visés sont de minimiser au maximum les handicaps de la C-DTC, voir même si c'est possible d'éliminer quelques-uns, tout en préservant ses avantages, par la proposition d'une DTC améliorée basée sur des contrôleurs à logique floue (FH-DTC). Pour qu'on puisse mener à terme cette étude des résultats de simulation sous MATLAB/Simulink seront présentés, et des conclusions seront tirées.

## 2. DESCRIPTION DU SYSTEME PROPOSE

Le système WT-DFIG contrôlé par la technique proposée FH-DTC est illustré sur la Fig. 1. Ce système comprend une DFIG, une boîte à vitesses et une turbine éolienne. Alors que le rotor de la DFIG est connecté à deux convertisseurs de puissance (un AC/DC et un DC/AC), le stator est directement connecté au réseau AC. Le premier convertisseur du rotor est connecté au rotor de la DFIG commandé par la technique proposée, l'autre convertisseur est connecté au réseau AC, il délivre un courant sinusoïdal (50 Hz) avec un facteur de puissance unitaire. Puis L'algorithme MPPT permet au système d'extraire le maximum de puissance maximale lorsque la puissance générée est inférieure à la valeur nominale [5].

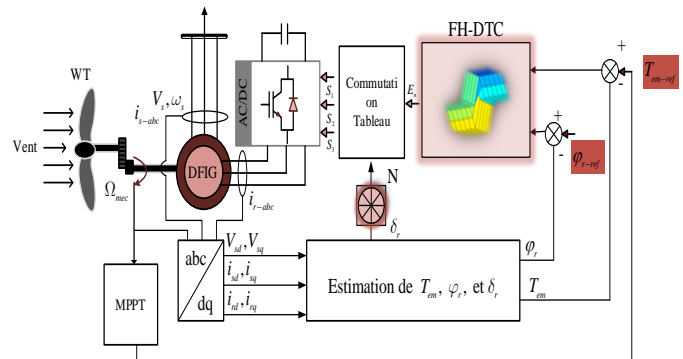


Fig. 1. Contrôle FH-DTC appliqué au WT-DFIG.

## 3. CONTROLE DIRECT DU COUPLE

Pour contrôler la DFIG, l'approche DTC ajuste le couple électromagnétique de la machine et le flux magnétique du rotor. Le principe de la DTC est expliqué dans [6]. Le système à l'étude est illustré sur la Fig. 1.

Les composantes selon les axes  $\alpha$  et  $\beta$  des tensions et des courants rotoriques sont utilisées pour estimer le flux magnétique du rotor, puis les valeurs calculées des courants ( $i_{r\alpha}$ ,  $i_{r\beta}$ ) et les valeurs estimées du flux ( $\phi_{r\alpha}$ ,  $\phi_{r\beta}$ ) sont utilisées pour estimer le couple électromagnétique.

Les sorties des régulateurs à hystérésis (régulateur du couple électromagnétique et du flux rotorique) et la position du vecteur de flux rotorique sont utilisées pour sélectionner le vecteur optimal nécessaire à l'aide d'une table de commutation [6]. Pour minimiser le nombre de commutations dans les bras du convertisseur AC/DC, les vecteurs  $V_0$  et  $V_7$  sont alternés.

## 4. LE CONTROLE DIRECT DU COUPLE PROPOSE

Le contrôle FH-DTC proposé utilise un contrôleur de logique floue, plutôt que deux contrôleurs à hystérésis pour

améliorer les performances du C-DTC. Le processus de conception FH-DTC comprend la fuzzification, la défuzzification et le contrôle de logique floue basé sur des règles. Le processus de fuzzification convertit les variables d'entrée du système en variables linguistiques en définissant des fonctions d'appartenance pour chaque variable d'entrée, voir la fig. 2. Le processus de défuzzification convertit les résultats d'inférence flous en une sortie quantifiable. La méthode de défuzzification choisie est Bi secteur et la sortie est une valeur numérique unique avec 6 fonctions d'appartenance singletons ( $E_1, \dots, E_6$ ), voir la fig. 3.

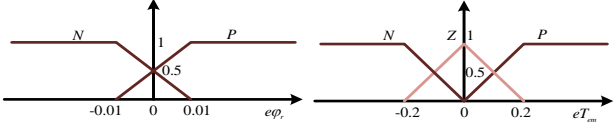


Fig. 2. Fonctions d'appartenance des entrées.

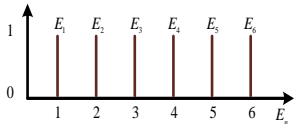


Fig. 3. Fonctions d'appartenance de la sortie.

Enfin, les règles floues sont conçues selon un principe de fonctionnement d'hystérésis et se composent de 6 règles en raison du nombre de fonctions d'appartenance par entrée du tableau 1. La méthode d'inférence utilisée pour exécuter le contrôleur de commutation à logique floue est la méthode Mamdani basée sur la décision Max-Min.

Tableau 1. Les règles floues.

$eT_{em}/e\phi$	P	Z	N
P	$E_1$	$E_2$	$E_3$
N	$E_4$	$E_5$	$E_6$

Pour sélectionner le vecteur de tension du rotor ( $V_n$ ) approprié pour l'onduleur, il sera basé sur la sortie des puissances d'erreur numériques ( $E_n$ ) et le secteur de flux du rotor à l'aide du tableau de commutation 2.

Tableau 2. La tableau de commutation.

$E_n$	N					
	I	II	III	IV	V	VI
$E_1$	$V_2$	$V_3$	$V_4$	$V_5$	$V_6$	$V_1$
$E_2$	$V_7$	$V_0$	$V_7$	$V_0$	$V_7$	$V_0$
$E_3$	$V_6$	$V_1$	$V_2$	$V_3$	$V_4$	$V_5$
$E_4$	$V_3$	$V_4$	$V_5$	$V_6$	$V_1$	$V_2$
$E_5$	$V_0$	$V_7$	$V_0$	$V_7$	$V_0$	$V_7$
$E_6$	$V_5$	$V_6$	$V_1$	$V_2$	$V_3$	$V_4$

## 5. RESULTATS DES SIMULATIONS

L'efficacité de la technique proposée est appliquée pour contrôler un système WT-DFIG, permettant à la DFIG d'opérer dans ses trois modes de fonctionnement. L'étude est effectuée par l'utilisation du MATLAB/Simulink. Où, les paramètres du système sont reportés dans [5].

Chaque mode de fonctionnement de WT-DFIG est caractérisé une vitesse constante du vent, Fig. 4. Celle-ci représente aussi la vitesse mécanique de la DFIG, indiquant que le système est fonctionnant dans trois modes, (hyposynchrone, synchrone et hypersynchrone, respectivement. Le couple électromagnétique avec sa référence et le flux rotorique sont illustrés respectivement sur les figures 5 et 6. Le couple est influencé par la vitesse du vent et suit sa référence. A sa valeur

de référence, le flux rotor reste constant. Le contrôle FH-DTC proposé a prouvé son efficacité et ses avantages comparés à ceux du contrôle conventionnel (C-DTC) illustrés dans la référence [6].

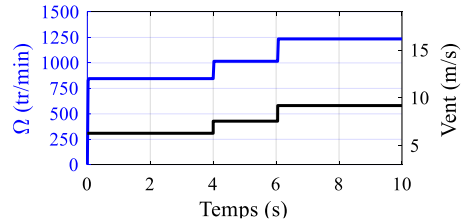


Fig. 4. réponses  $\Omega$  et  $v$ .

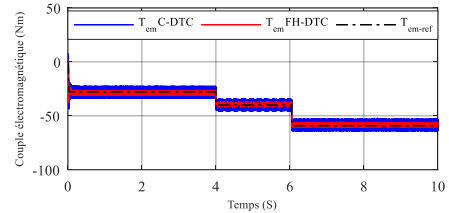


Fig. 5. Le couple électromagnétique.

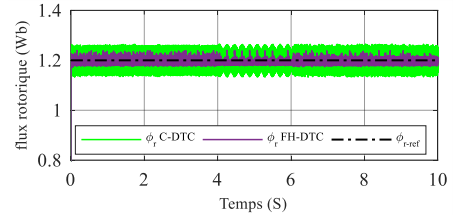


Fig. 6. Le flux du rotor.

## 6. CONCLUSIONS

La FH-DTC représente une méthode efficace pour réduire les handicaps de la C-DTC dans le système WT-DFIG. Les résultats de la simulation ont montré que la mise en œuvre du FH-DTC améliorera les performances du système.

## 7. REFERENCES

- [1] P.D. Singh and S. Gao, "An isolated hydro power generation using parallel asynchronous generators at variable turbine inputs using AC-DC-AC converter," 2018 8th IEEE India International Conference on Power Electronics (IICPE), pp. 1-6, December 2018..
- [2] I. Takahashi and T. Noguchi, "A new quick-response and high efficiency control strategy of an induction motor," IEEE Trans. Ind. Appl., vol. IA-22, no. 5, pp. 820-827, Oct 1986.
- [3] Y. Sahri, S. Tamalouzt, S. Lalouni Belaid, S. Bacha, N. Ullah, A. A. A. Ahamdi, & A. N. Alzaed. "Optimal Power Extraction in Wind Turbine System using Advanced Fuzzy 12 DTC Control of Doubly Fed Induction Generator under Random Wind Conditions," Sustainability, 13(21), 11593, 2021.
- [4] H. Choja, A. Derouich, S. E. Chehaidia, O. Zamzoum, M. Taoussi, H. Benbouhenni, & S. Mahfoud. Enhancement of Direct Power Control by Using Artificial Neural Network for a Doubly Fed Induction Generator-Based WECS: An Experimental Validation. Electronics, 11(24), 4106, 2022.
- [5] S. Tamalouzt, T. Rekioua, R. Abdessemed, "Direct torque and reactive power control of grid connected doubly fed induction generator for the wind energy conversion," Conférence Internationale en Sciences et Technologies Electriques au Maghreb CISTEM'2014, Tunis, Tunisie, p. 1-7, November 2014.
- [6] R. Cardenas, R. Pena, S. Alepuz, G. Asher, "Overview of control systems for the operation of DFIGs in wind energy applications," IEEE Trans Ind Electron, 2013.