

Analyse de l'écoulement du flux de puissance dans un système éolien en présence d'un creux de tension

Salima KADRI¹, Mahmoud HABBAB¹, Cherif BENOUDJAFER¹

¹Département de génie électrique, Université Tarhi Mohammed, Béchar, Algérie

kaddrisalima@yahoo.fr

habbabmahmoud@gmail.com

benoudjafer@gmail.com

Abstract— L'objectif de ce travail est l'étude et la simulation d'un UPQC à commande classique connecté à un éolien. Etant donné que l'éolienne participe en qualité d'une production (source de tension) qui alimente avec le réseau les différentes charges connectées, il serait intéressant de voir le comportement de l'ensemble du réseau avec un filtrage actif série -parallèle UPQC pour une perturbation en tension (creux de tension) et voir l'impact sur le comportement de l'ensemble du système.

Keywords— Energie éolienne - UPQC - Qualité d'énergie - Réseau

I. INTRODUCTION

L'électricité est une forme d'énergie, qui doit être fournie sous forme d'un système équilibré de tensions sinusoïdales triphasées, à l'ensemble des divers utilisateurs. Par contre l'augmentation des problèmes de perturbations sur les réseaux électriques, affecte de plus en plus cette qualité d'énergie. Parmi les perturbations les plus prépondérantes, les creux de tension, les harmoniques, qui sont dus à la prolifération des charges non linéaires dans les équipements industriels et domestiques.

Diverses solutions de dépollution harmonique des réseaux électriques ont été déjà proposées dans la littérature. Celles qui répondent le mieux aux contraintes industrielles d'aujourd'hui sont le compensateur actif shunt, série et combinaison shunt - série actifs (aussi appelé UPQC). L'UPQC présente la solution universelle de compensation de tous les types de perturbations de courant et de tension sur un réseau électrique. Il associe les deux structures série et parallèle, le filtre série permet de protéger les charges sensibles et de compenser les perturbations en tensions telles que les harmoniques, creux de tension ou les surtensions alors que le filtre parallèle compense les perturbations en courants telles que les harmoniques et le déséquilibres.

II. MODELE DE SYSTEME EOLIENNE

La structure du système de production d'énergie éolienne est composée d'une aérogénérateur éolien qui est représenté par un générateur asynchrone à cage. Le réseau d'alimentation est un réseau triphasé représenté par une source programmable.

La charge non linéaire est constituée d'un redresseur triphasé en pont de diode alimentant une charge (R, L).

A. Modèle de la Turbine

La puissance cinétique du vent est exprimée par la relation[1] :

$$P_v = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot v^3 \quad (1)$$

La puissance aérodynamique apparaissant au niveau du rotor de la turbine s'écrit alors :

$$P_{aer} = C_p \cdot P_v = \frac{1}{2} \cdot C_p(\lambda, \beta) \cdot \rho \cdot S \cdot v^3 \quad (2)$$

Où ρ La masse volumique de l'air kg/m³, R la longueur d'une pale en m, v la vitesse du vent m/sec et C_p est le coefficient de puissance qui caractérise le rendement aérodynamique de la turbine. Il dépend des caractéristiques de la turbine (les dimensions de la pale, le ratio de la vitesse λ et l'angle d'orientation de la pale β). Le ratio de la vitesse est défini par :

$$\lambda = \frac{\Omega_t R}{v} \quad (3)$$

Ou Ω_t : La vitesse de rotation de la turbine,

Durant ce travail, ce coefficient sera modélisé par l'expression analytique suivante :[2]

$$C_p(\lambda, \beta) = c_1 \cdot \left(c_2 \cdot \frac{1}{A} - c_3 \cdot \beta - c_4 \right) \cdot e^{-\frac{c_5}{A}} + c_6 \cdot \lambda \quad (4)$$

$$\frac{1}{A} = \frac{1}{\lambda + 0.08 \cdot \beta} - \frac{0.035}{1 + \beta^3} \quad (5)$$

Avec: $c_1= 0.5176$, $c_2= 116$, $c_3= 0.4$, $c_4= 5$, $c_5= 21$ et $c_6= 0.0068$.

La figure (2) représente la variation de ce coefficient en fonction du ratio de vitesse λ pour différents angles d'orientation des pales β . On remarque que si, pour un angle constant β_i , on pouvait maintenir le coefficient de vitesse λ constant et égal à λ_{opt} à chaque instant, la puissance captée par l'éolienne serait maximale.

on obtient pour notre cas un coefficient de puissance maximum de 0.48 pour un ratio de vitesse λ optimal qui vaut 8.12 correspondant à un angle d'inclinaison des pales $\beta = 0^\circ$.

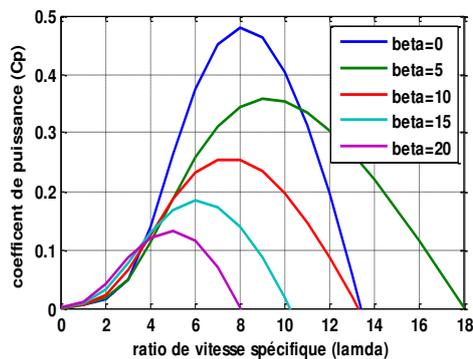


Fig. 1 Coefficient de puissance C_p

Le couple aérodynamique apparaissant au niveau de la turbine est donc en fonction de cette puissance:[3]

$$C_{aer} = \frac{P_{aer}}{\Omega_t} = \frac{\pi}{2\lambda} \rho \cdot R^3 \cdot v^2 \cdot C_p(\lambda, \beta) \quad (6)$$

Le multiplicateur adapte la vitesse de rotation de la turbine à la vitesse de rotation de la génératrice, il est modélisé mathématiquement par les deux équations suivantes :[4]

$$C_m = \frac{C_{aer}}{G} \quad (7)$$

$$\Omega_{mec} = G \cdot \Omega_t \quad (8)$$

L'arbre du générateur est modélisé par l'équation suivante:

$$\left(\frac{J_t}{G^2} + J_m\right) \frac{d\Omega_{mec}}{dt} + f_v \cdot \Omega_{mec} = C_m - C_{em} \quad (9)$$

Ainsi, nous pouvons établir le modèle de la turbine dont le schéma bloc est donné par la figure (3).

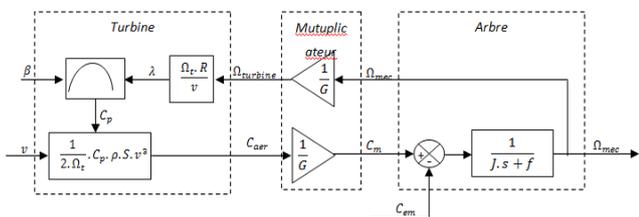


Fig. 2 Modélisation de la partie mécanique de l'éolienne

B. Modèle de la GAS

Les équations des tensions statoriques et rotoriques de la GAS dans le repère de Park sont définies par :[5]

$$\begin{cases} v_{ds} = R_s i_{ds} + \frac{d}{dt} \Phi_{ds} - \omega_s \Phi_{qs} \\ v_{qs} = R_s i_{qs} + \frac{d}{dt} \Phi_{qs} + \omega_s \Phi_{ds} \\ v_{dr} = R_r i_{dr} + \frac{d}{dt} \Phi_{dr} - \omega_r \Phi_{qr} = 0 \\ v_{qr} = R_r i_{qr} + \frac{d}{dt} \Phi_{qr} + \omega_r \Phi_{dr} = 0 \end{cases} \quad (10)$$

III. COMMANDE DE L'UPQC

L'objectif de la commande des onduleurs de l'UPQC est de générer les instants d'ouverture et de fermeture des interrupteurs qui les composent de façon à obtenir une tension (ou courant) de sortie, côté alternatif, qui suit le plus fidèlement possible la consigne (tension ou courant de référence) en minimisant ses harmoniques non désirés (harmoniques de commutation) et ce, en optimisant l'amplitude pour une tension du bus continue donnée.

A. Régulation du courant injecté par le FAP

L'onduleur de tension connecté en parallèle au réseau électrique à travers un filtre passif. Le rôle de ce filtre inductif de sortie est de transformer l'onduleur de tension en une source contrôlée de courant vis-à-vis du réseau.[6]

Le schéma de contrôle de la boucle de régulation du courant par un régulateur PI peut être représenté comme suit dans la figure (4).

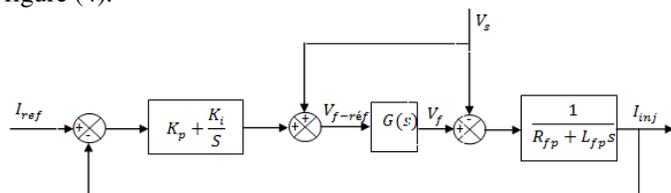


Fig.3 : Schéma de régulation du courant injecté par le filtre actif parallèle

B. Régulation de la tension injectée par le FAS

Le circuit de connexion entre le réseau électrique et le filtre actif série est généralement à travers un filtre passif du deuxième ordre.[6]

Le schéma global de la boucle de régulation de tension du filtre actif série est donné par la Figure (5).

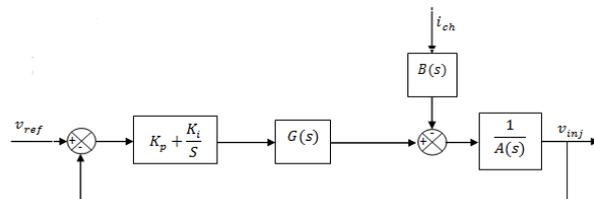


Fig. 4 : Schéma de la régulation de la tension du F.A.S

C. Régulation de la tension du bus continu

La tension moyenne aux bornes du condensateur doit être maintenue à une valeur constante. La cause de variation de cette tension est l'échange de puissance active avec le réseau.[7]

En tenant compte du régulateur (PI), la boucle de régulation de tension continue peut être représentée par la figure (6).

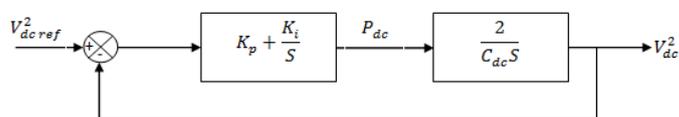


Fig. 5: Boucle de régulation de la tension continue

IV. RESULTATS DE SIMULATION

En utilisant le logiciel MATLAB Simulink et le Toolbox SimPower System afin de voir le comportement de la génératrice vis-à-vis au perturbation engendrée dans un réseau de distribution, dont les paramètres sont donnés dans le tableau

TABLE I
 PARAMETRE DU SYSTEME EOLIONNE

Source triphasé	
Vs, f	220V, 50Hz
Rs, Ls	0.1Ω, 0.2 mH
UPQC	
Vdc	735.8V
Cdc	17.4mF
Charge non linéaire	
P_active	8000W
P_reactive	500Var
GAS	
S _n	100KVA
V _n	380V
f	50HZ
R _S	0.016p.u
L _S	0.06p.u
R _r	0.015p.u
L _r	0.06p.u
L _m	3.5p.u
P	2

Les Figure (6-7-9-11-12) illustre le comportement de l'UPQC lors de la compensation d'un creux de tension triphasé d'une source sinusoïdale équilibrée non polluée. Le filtre actif parallèle assure parfaitement sa fonction et compense bien les courants harmoniques, Il en résulte un courant source sinusoïdal de THD est égal à 3,44% qui est en phase avec la tension source.

Entre les instants t1=0.25 sec et t2=0.35 sec, un creux de tension d'une profondeur de 30% est introduit volontairement. Le filtre série réagit en fournissant la puissance demandée à la charge et cela par l'injection des tensions de compensation qui sont égales à la différence entre la tension de référence de la charge et la tension du réseau. Il en résulte une tension sinusoïdale est égale à la tension désirée aux bornes de la charge même pendant le creux de tension. L'augmentation du courant de source est due à la recharge du bus continu lors de la compensation du creux de tension.

La tension du bus continu Udc suit parfaitement sa référence, d'une façon très rapide avec une légère chute de tension lors de la compensation du creux.

Le comportement de la génératrice vis-à-vis un creux de tension est illustré par l'allure des figures (7.d, 10, 11.b, 12.b).en effet lors d'un creux de tension, la turbine va accélérer, en plus une démagnétisation de la génératrice. On remarque aussi à la fin du défaut, lorsque la tension redevient normale, la génératrice peut se re-magnétiser qui peut provoquer un appel de courant important.

Le comportement de la puissance active et réactive du système est illustré dans la figure (9-10). On note que l'éolienne participe en qualité d'une production (source de tension) qui alimente avec le réseau la charge connectée.

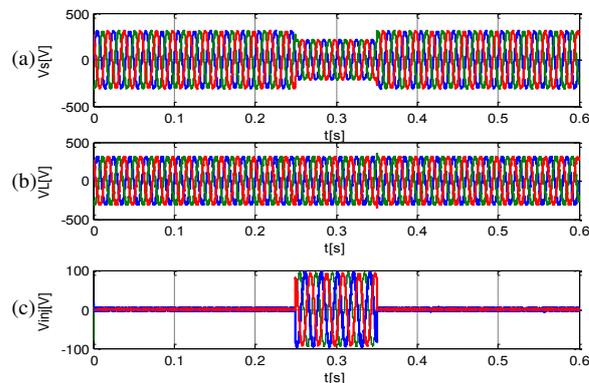


Fig. 6 Tension de: a) Source, b) charge, c) injecté

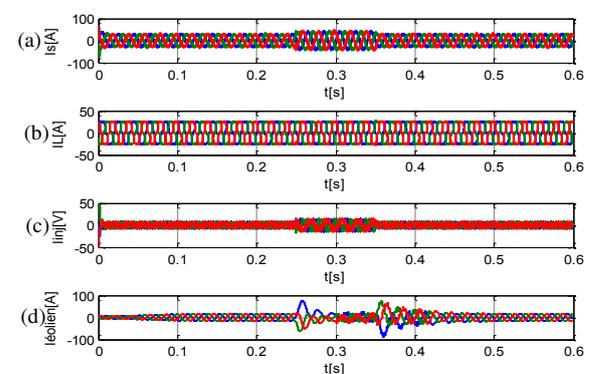


Fig. 7 Courant de: a) Source, b) charge, c) injecté, d) éolien

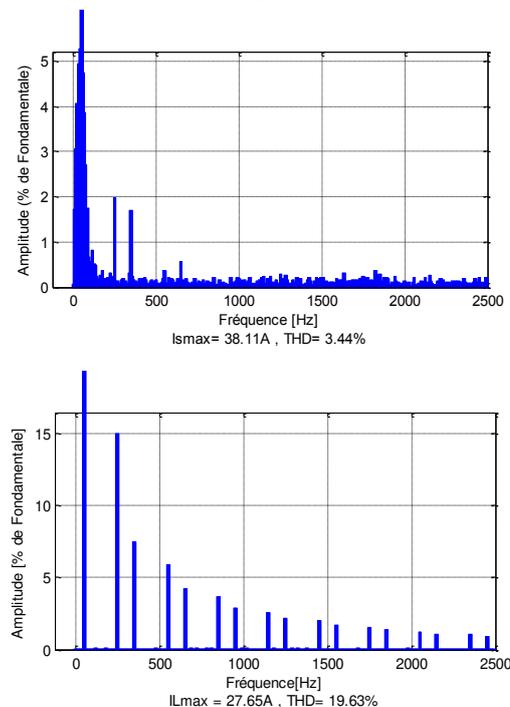


Fig. 8 Spectre des harmoniques du courant source et de charge

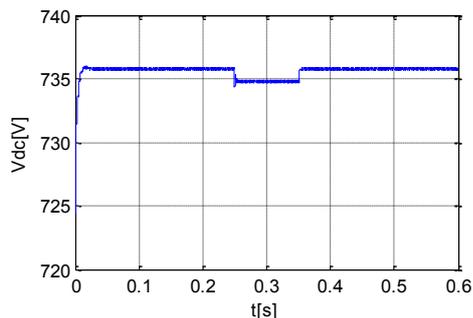


Fig. 9 Tension de bus continue V_{dc}

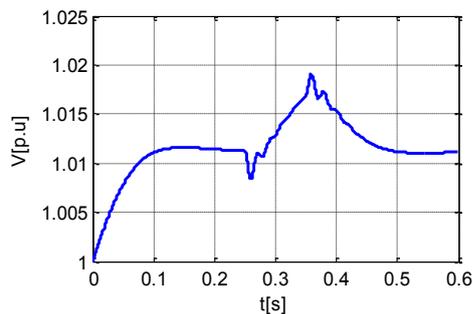


Fig. 10 Vitesse mécanique

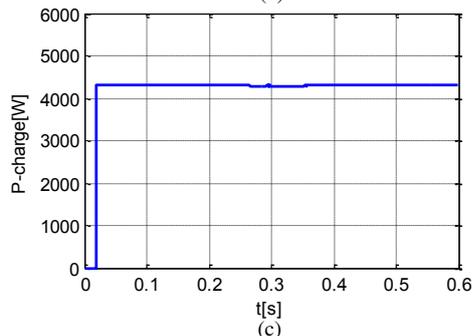
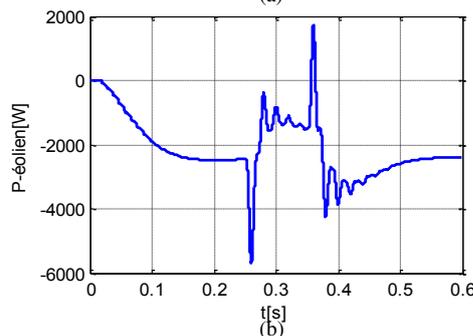
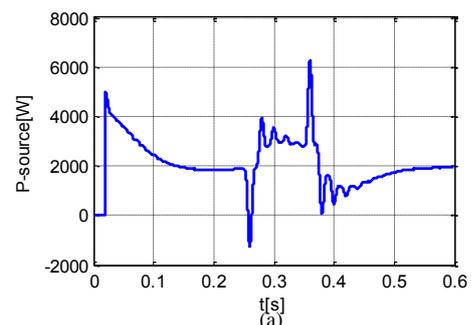


Fig. 11 Puissance active de : a) Source, b) Eolien, c) Charge

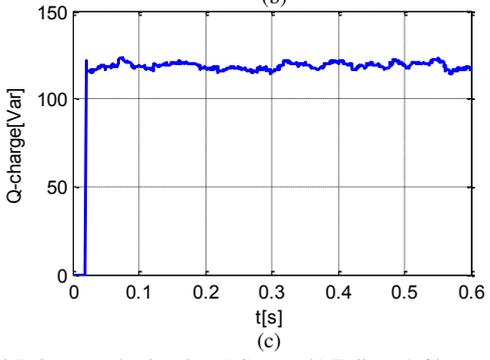
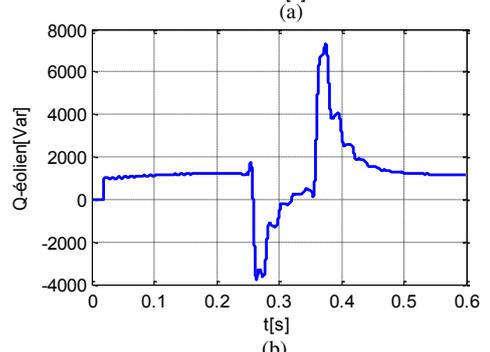
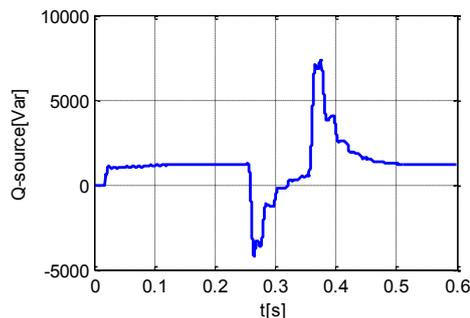


Fig. 12 Puissance réactive de : a) Source, b) Eolien, c) Charge

V. CONCLUSIONS

L'UPQC permet effectivement de compenser à la fois la perturbation harmonique produite par la charge non-linéaire afin d'avoir un courant source moins polluant et de fournir une tension à la charge quasi sinusoïdale de malgré la perturbation coté source. Ceci est dans le but de protéger et rendre la tension de charge parfaitement sinusoïdale.

ACKNOWLEDGMENT

Ce travail a été effectué au Laboratoire Smart Grids Energies renouvelables et l'Université Tahri Mohamed Bechar 08000 ALGERIE, dans le cadre du projet scientifique: «Energies renouvelables»; 2015/2018.

REFERENCES

- [1] S. El Aïmani, "Modélisation de différentes technologies d'éoliennes intégrées dans un réseau de moyenne tension", Thèse de doctorat de l'école centrale de Lille, 2004.
- [2] N. Laverdure, "Sur l'intégration des générateurs éoliens dans les réseaux faibles ou insulaires", Thèses de Doctorat, ENS de Cachan, 2005.

- [3] R. Rouabhi, "Contrôle des puissances générées par un système éolien à vitesse variable basé sur une machine asynchrone double alimentée", Thèse de Doctorat, l'Université de Batna, 2016.
- [4] A. Gaillard, "Système éolien basé sur une MADA : contribution à l'étude de la qualité de l'énergie électrique et de la continuité de service", Thèse de Doctorat, l'Université Henri Poincaré, Nancy-I, 2010.
- [5] S. Bachir "Contribution Au Diagnostic De La Machine Asynchrone Par Estimation Paramétrique", Thèse de Doctorat, Université de Poitiers 2002.
- [6] G.S. Eskander, « Apport de l'UPQC à l'amélioration de la stabilité transitoire des réseaux électriques », Université Henri Poincaré, thèse de doctorat, Nancy-I. 2003.
- [7] R. Tounsi, «Développement d'un contrôle commande pour un compensateur série de creux de tension. Validation par simulation du fonctionnement avec des charges industrielles », Thèse de doctorat de l'INPT 11 Janvier 1999.
- [8]
- [9] M. Boulouiha, "Contribution à l'étude et la commande d'une éolienne pour la production de l'énergie électrique", Thèse de Doctorat, 2013