

Étude de Méthodes de Protection d'un Système Photovoltaïque Connecté au Réseau électrique.

Abdelhak BOUCHAKOUR[#], MN BRAHAMI^{*}, Idriss HADJ MHAMED[#], Mustafa BRAHAMI^{*}

[#]Mini Centrale Solaire/ Unité de Recherche Appliquée en Energie Renouvelable/EPST /CDER, Algérie

^{*}Intelligent Control and Electrical Power Systemes (ICEPS). 22000, Sidi-Bel-Abbès, Algérie

abdelhak.bouchakour@yahoo.fr, hmidriss65@yahoo.fr, mbrahami@yahoo.com

Résumé : Le travail présenté ci-dessous décrit les différentes méthodes qui ont été développées pour détecter l'îlotage des systèmes photovoltaïques connectés au réseau public de distribution électrique. Après avoir rappelés la définition de l'îlotage et la réglementation en vigueur, on va présenter les principales caractéristiques et différentes méthodes de détection d'îlotage existantes pouvant être mise en œuvre dans les onduleurs tel que :

- Les méthodes passives basées sur l'analyse des variations de paramètres du signal électrique.
- Les méthodes actives basées sur l'observation des efforts d'une perturbation créée intentionnellement sur le réseau.
- Les méthodes de communications entre le réseau principal et l'onduleur photovoltaïque.

Ces méthodes ont été intégrées dans la commande d'un onduleur pour la détection de sur-tension, sous-tension et la détection de variation de fréquence. La détection de ces variations se fait lors de dépassement de seuils préalablement fixés.

Mots clés : Générateur photovoltaïque, réseau électrique, onduleur, méthodes passives et actives

1. Introduction :

Le risque d'îlotage des installations photovoltaïques est un sujet ancien et polémique qui a fait l'objet de nombreuses études internationales souvent contradictoires. On dit qu'il y a îlotage quand une partie de réseau électrique comprenant des moyens de production et des charges est déconnectée du réseau principal (séparer du réseau en amont) et que les charges de cet îlot sont entièrement alimentées par le générateur photovoltaïque du même îlot ou la tension et la fréquence sont maintenues à des valeurs autour de leurs valeurs nominales (marche en réseau séparé). On note que la notion d'îlotage est associée à une durée. Les règles qui définissent le fonctionnement d'une installation PV considèrent qu'une situation d'îlotage est définie comme telle dès lors que l'onduleur détecte un fonctionnement en réseau séparé pendant un certain temps, l'onduleur devra se découpler du réseau principal.

L'objectif de cette étude est de développer une méthode de protection efficace contre l'îlotage et d'évaluer ses propriétés.

2. Description du système

La structure de la topologie d'interconnexion proposée est montrée dans la figure 1. Cette topologie est constituée des blocs principaux: générateur photovoltaïque, hacheur survolteur et sa commande, onduleur MLI triphasé et sa commande, bloc de détection d'îlotage.

Le hacheur survolteur élève la tension du générateur photovoltaïque, typiquement de 180 Volts, à une tension au-dessus de 460V qui est le potentiel maintenu au bus continu par l'onduleur MLI triphasé. Le hacheur survolteur force également la circulation du courant dans le bus continu pour remplir la fonction du contrôleur de point de puissance maximale. La structure de commande pour le hacheur survolteur qui utilise l'algorithme de perturbation et d'observation. Le courant de sortie du hacheur est injecté dans l'onduleur triphasé dont la charge est une inductance de filtrage placée en série avec le réseau. Chaque interrupteur de l'onduleur est composé d'un IGBT monté en parallèle avec une diode afin de former un interrupteur bipolaire en courant et unidirectionnel en tension.

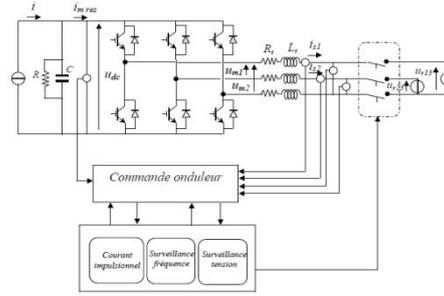


Figure 1 : Schéma de principe de l'interconnexion

3. Modélisation du système

3.1 Modélisation du générateur photovoltaïque

Dans la littérature, une cellule photovoltaïque est souvent présentée comme un générateur de courant électrique dont le comportement est équivalent à une source de courant shuntée par une diode. Pour déterminer la caractéristique de cette cellule solaire, on part de la caractéristique connue d'une diode au silicium dans l'obscurité. Sous illumination, la relation devient : [1][2]

$$I = I_{sc} \left(\frac{\varphi}{1000} \right) - I_0 \left(e^{\frac{(V+R_s I)}{V_T}} \right) - \frac{V+R_s I}{R_{sh}} \quad (1)$$

Avec $I_{ph} = I_{sc} \left(\frac{\varphi}{1000} \right)$: Photo-courant de cellule proportionnel à l'éclairement φ .

I_0 : Courant de saturation inverse de la diode.

$I_r = \frac{V+R_s I}{R_{sh}}$ Est le courant dérivé par la résistance shunt.

3.2. L'onduleur MLI triphasé

L'onduleur utilisé pour la connexion au réseau diffère de celui du système autonome parce qu'il peut fonctionner seulement si le réseau de distribution est en service. En effet, il arrange l'interface entre le générateur photovoltaïque et le réseau. La commande reçoit toutes les mesures : les courants réseaux i_{s1} et i_{s2} , les tensions du réseau U_{r13} et U_{r23} ainsi que la tension du bus continu U_{dc} . Cette commande envoie certaines informations, provenant de la PLL SVF étendue, traitées par la suite par le bloc "surveillance fréquence". Les mesures des tensions efficaces du réseau sont envoyées au bloc "surveillance tension". Le système anti îlotage envoie le signal d'arrêt de fonctionnement de l'onduleur et de mise en marche du système de coupure ainsi que la création des courants impulsionnelle. [3][4]

4. Méthode de détection d'îlotage

Les méthodes passives consistent en la surveillance des paramètres liés à la tension au point de raccordement au réseau. Ces paramètres sont l'amplitude, fréquence ou phase. Le générateur est reliés via un onduleur de tension est une charge locale RLC. [5] [6]

4.1 Protection à seuil de tension et la protection à seuil de fréquence

Cette méthode passive est basée sur la surveillance des paramètres tension et fréquence. Cette fonction est assurée à l'aide des relais de découplage. La zone de fonctionnement de l'onduleur est imposé par deux plages : l'une concernant l'amplitude de la tension et l'autre la fréquence de cette même tension

L'existence de ces deux plages engendre quatre seuils de détections : [7] [8]

- Un seuil tension maximal admissible
- Un seuil de tension minimal admissible
- Un seuil de fréquence maximal admissible
- Un seuil de fréquence minimal admissible

Tableau 1 : Seuil admissible pour tension et fréquence.

	Tension et fréquence nominale	Dérivation maximale de tension autorisée	Marge de variations de fréquence autorisée
BT	$U_n = 380 V$ $f_n = 50Hz$	+6% -5%	$\pm 0.02Hz$

Si l'amplitude ou la fréquence de la tension du point du raccordement au réseau dépasse l'un de ses seuils, l'onduleur est alors déconnecté. [9]

Le comportement du système îloté en tension et en fréquence (générateur + charge local) dépend de l'équilibre entre la production et la consommation de puissance active et réactive pour ce système au moment de la coupure de réseau. Il est possible d'écrire les équations régissant les échanges de puissance entre le générateur et la charge locale et le réseau (l'interrupteur de la *figure 1*) est fermé.

$$\Delta P = P_{charge} - P \quad (2)$$

$$\Delta Q = Q_{charge} - Q \quad (3)$$

$$\frac{1}{R^2} V_{res}^2 = P_{charge} \quad (4)$$

$$\left(\frac{1}{Lw_{res}} - Cw_{res} \right) V_{res}^2 = Q_{charge} \quad (5)$$

En remplaçant les expressions P_{charge} et Q_{charge} dans les équations, on obtient :

$$\frac{1}{R^2} V_{res}^2 = P + \Delta P \quad (6)$$

$$\left(\frac{1}{Lw_{res}} - Cw_{res} \right) V_{res}^2 = Q + \Delta Q \quad (7)$$

Ses équations montrent que si ΔP et ΔQ sont nuls, l'équilibre entre production et consommation est parfait entre la charge et le générateur PV. Considéré maintenant le fonctionnement en îlot, ce qui traduit par l'ouverture de l'interrupteur sur la *figure (3.16)*. Les équations de la puissance active et réactive deviennent :

$$\frac{1}{R^2} V_{ilot}^2 = P \quad (8)$$

$$\left(\frac{1}{Lw_{ilot}} - Cw_{ilot} \right) V_{ilot}^2 = Q \quad (9)$$

La tension et la pulsation ne sont plus imposées par le réseau mais dépendant du système îloté.

$$\frac{\Delta P}{P} = \frac{V_{res}^2}{V_{ilot}^2} - 1 \quad (10)$$

En effet, si $\Delta P \neq 0$ l'équation (10) indique que l'amplitude de la tension du système îlot V_{ilot} variera.

Le raisonnement est identique pour la puissance réactive. Dans les équations

$$\frac{1}{Lw_{res}} V_{res}^2 = Q + \Delta Q + Cw_{res} V_{res}^2 \quad (11)$$

$$\frac{1}{Lw_{ilot}} V_{ilot}^2 = Q + Cw_{ilot} V_{ilot}^2 \quad (12)$$

Or la puissance réactive fournie par la capacité de la charge RLC avant l'ouverture vaut :

$$Q_c = Cw_{res} V_{res}^2 \quad (13)$$

En remplaçant cette expression dans (11) et (12) et on les divisant, on obtient :

$$\frac{w_{ilot} V_{res}^2}{w_{res} V_{ilot}^2} = \frac{Q + \Delta Q + Q_c}{Q + Q_c + \frac{w_{ilot} V_{res}^2}{w_{res} V_{ilot}^2}} \quad (14)$$

En utilisant l'équation (14), on obtient :

$$\frac{w_{ilot}}{w_{res}} \frac{\Delta P}{P} - \frac{\Delta Q}{Q} = \left(1 - \frac{w_{ilot}^2}{w_{res}^2} \right) \frac{Q_c}{Q} + 1 - \frac{w_{ilot}}{w_{res}} \quad (15)$$

Ce résultat permet de déduire une information très importante. Puisque l'écart entre production et consommation de puissance active génère une variation de l'amplitude de la tension (équation (10)), l'équation (15) montre la différence production-consommation de la puissance réactive entre la charge et le générateur ($\Delta Q \neq 0$) va entraîner une variation de la pulsation w_{ilot} .

La méthode consiste donc à simplement détecter ces variations en tension et en fréquences à l'aide de différents de seuils.

Le principe de fonctionnement du système d'anti-îlotage proposé dans cet article consiste à injecté d'une manière cyclique une augmentation de type impulsion de l'amplitude de courant fourni par l'onduleur. La largeur de l'impulsion est de l'ordre de 0.2 ms. La surveillance de la pulsation est nécessaire puisque la déconnexion doit intervenir en moins de 5s lors d'une variation de 0.2Hz. Une observation de la tension efficace

cotée réseau est nécessaire pour connaître les variations et les comparer aux seuils retenus de 244V comme limite haute et 217V comme limite basse. [10] [11]

5. Résultats de simulation

Dans les simulations suivantes on prend une charge de type RLC. Plusieurs cas d'îlotage peuvent être envisagés tel que îlotage avec variation de la puissance active, îlotage avec variation de la puissance réactive. Les figures montrent les résultats de simulation obtenus de la tension du bus continu, la tension du réseau et le courant injecté pour des conditions de fonctionnement données.

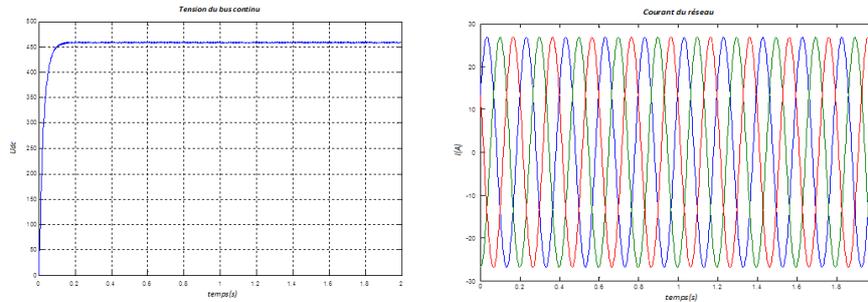


Figure 2 : Tension du bus continu et Courant injecté au réseau

5.1 Le creux de tension monophasé

Ce creux intervient à $t = 0.9s$ comme le montre la figure, Lors d'une diminution d'une tension composée la tension du bus continu augmente comme le montre la figure 3. Cette tension est supportable pour le bus continu puisque ce défaut ne dure que 200 ms.

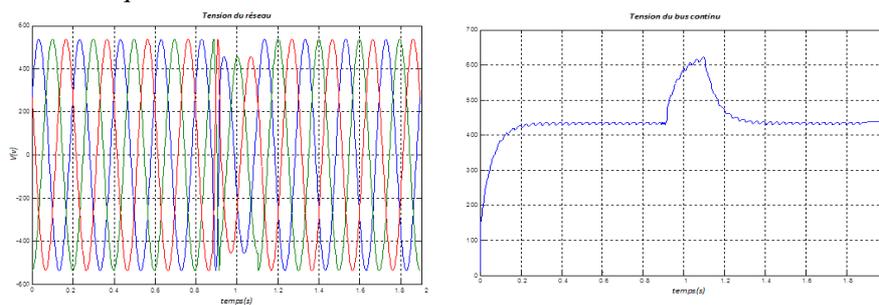


Figure 3 : Tension du réseau et de bus continu

5.2 Simulation d'une sur tension

Le but de cette simulation est de montrer que le système anti îlotage détecte la surtension et isole l'onduleur du réseau.

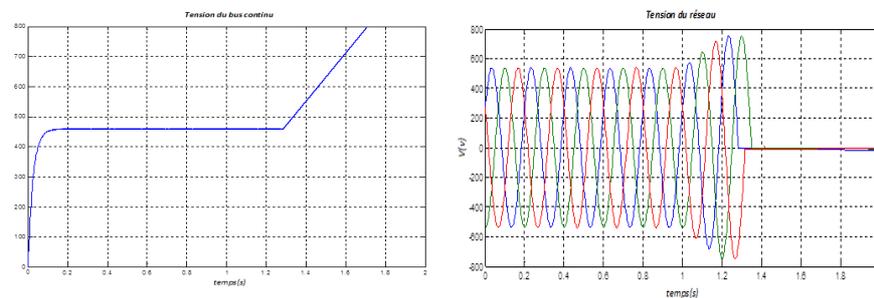


Figure 4 : Tension du réseau lors d'une sur tension et de bus continu

5.3 Simulation d'une sous tension

Le but de cette simulation est de montrer que le système anti îlotage détecte la sous tension et isole l'onduleur du réseau.

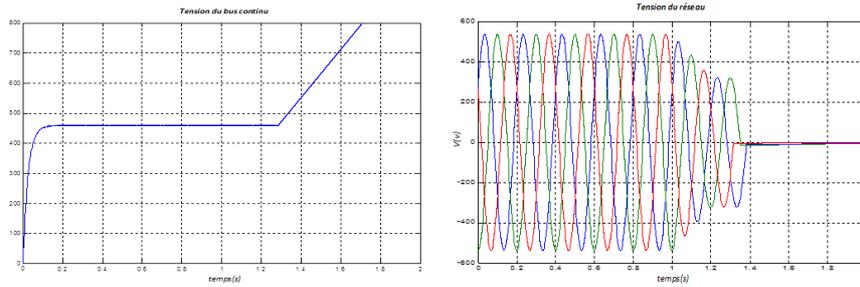


Figure 5 : Tension du réseau lors d'un sous tension et de bus continu

5.4 Simulation d'une variation de fréquence

Dans cette simulation, La fréquence du réseau subit une variation du type rampe, elle varie de 0.3hz en 300ms.

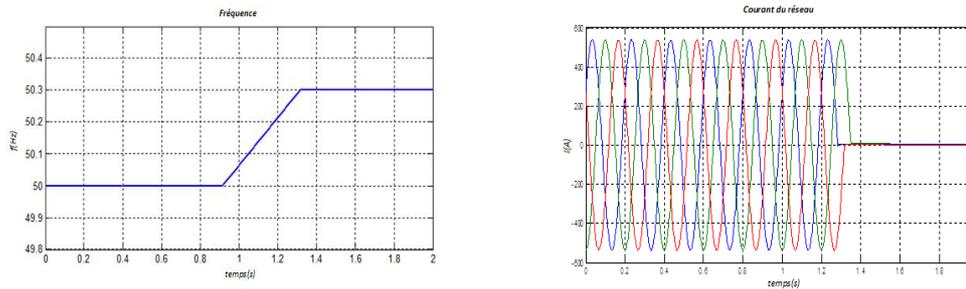


Figure 6 : Variation d'une fréquence

6. Conclusion

Dans cet article, une nouvelle méthode de protection et de contrôle de l'opération de système photovoltaïque connecté au réseau est présentée. Cette méthode, offre une approche efficace de détection d'îlotage. Nous avons repris une partie de fonctionnement de cette méthode pour l'intégrer à la commande d'un onduleur. Ce système anti-îlotage intégré à la commande est basé sur les deux paramètres du réseau. Il surveille la fréquence et la tension efficace. Ce système a été testé en simulation pour un creux de tension, surtension, sous tension et une variation de fréquence.

Ces paramètres ne peuvent dépasser un seuil précédemment fixé pendant une certaine durée. Si le seuil est dépassé un ordre est donné à un organe de coupure pour découpler l'onduleur du réseau et arrêter l'injection de courant. Il est apparu dans chaque simulation que le bus continu devait avoir un système de dissipation adéquat pour éviter la destruction.

7. Références

- [1] N. Saïd, «Influence de la température sur les paramètres électrique, caractéristique des photopiles au silicium poly cristallin», *Thèse de doctorat d'Aix-Marseille 3*, 1986.
- [2] G. Spagnuolo, M. Vitelli, N.Femia, G.Petrone, « Optimization of Perturb and Observe Maximum Power point tracking: an algorithm for rapidly changing atmospheric conditions», *Proceeding Generation method* 20, 59-64, and january1995.
- [3] B. François and J.-P. Hautier. « Commande d'un onduleur triphasé de tension par modulateur de largeur et de position d'impulsions». *Revue Internationale de Génie Electrique*, (3), 1999.
- [4] M. Roppe, M. Begovic, and A. Rohatgi. «Determining the relative effectiveness of islanding prevention techniques using phase criteria and non-detection zones». *IEEE Transactions on Energy Conversion*, Vol. 15(3):290-296, 2000.
- [5] A.Woyte, R.Belmans, and J.Nijs. «Testing the islanding protection function of photovoltaic inverters». *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol 18(1) :157, mars 2003.
- [6] J. Svensson. «Synchronisation methods for grid connected voltage source converter». *IEE Proc.-Gener. Transm. Distrib.*, vol 148(3), 2001.
- [7] V.Salas, «DC injection into the network from PV grid inverters», *IEEE* 2006.
- [8] «DC Injection into Low Voltage AC Networks», *University of Strathclyde*, 2005.
- [9] C. Duvauchelle, B. Tounsi, S. Dennetière, «Behaviour of Photovoltaic Connected To Low Voltage French Grid», *23rd PVSEC, Valence (Espagne)*, September 2008.

- [10] Y. Pankow, «Etude de l'intégration de la production décentralisée dans un réseau Basse Tension. Application au générateur photovoltaïque», *Centre nationale de recherche technologique de Lille*, 10 décembre 2004.
- [11] H.Colin, «Ilotage des installations PV connectée au réseau électrique», *ESPRIT*, décembre 2011.