



Mitigation of the Voltage Imbalance of a Three Phase System by Power Injection from a Décentralisés Source

Tsobze Kenfack, Serge Raoul Dzonde Naoussi,
Wulfran Fendzi Basso and Jean Jacques Moluh Reagan

EasyChair preprints are intended for rapid
dissemination of research results and are
integrated with the rest of EasyChair.

March 17, 2022

Atténuation du Déséquilibre de tension d'un système triphasé par injection de puissance à partir d'une source décentralisée

S. Kenfack Tsobzé^{1,2}, S. R. Dzondé Naoussi¹, W. Fenzi Basso¹, R. Moluh¹

1: Laboratoire des Technologies et Sciences Appliquées, I.U.T. de Douala, P.O. Box 8689 – Douala, University of Douala, Cameroon.

2: Unité de Recherche d'Automatique et d'Informatique Appliquée, I.U.T. Fotso Victor, P.O. Box 134 – Bandjoun, University of Dschang, Cameroon.

* Corresponding author: serge.dzonde@univ-douala.com

Resumé

Dans un système triphasé 4 fils déséquilibré en tension, des composantes homopolaires négatives naissent, augmentant significativement la puissance apparente totale délivrée par le réseau. Cela augmente également les pertes. La compensation de la charge élimine ces causes, mais elle ne peut être que localisée. Ce travail présente une technique de commande de sources décentralisées triphasées (de type photovoltaïque) connectées au réseau en vue de réduire instantanément les déséquilibres des tensions. L'approche de commande proposée dépend uniquement de la connaissance de la tension au point commun de connexion (PCC) entre la source photovoltaïque (SPV) et le réseau. La capacité d'atténuation est liée à la puissance dont dispose la SPV. Pour montrer l'efficacité de la méthode proposée, un cas d'étude est présenté, où un onduleur à 4 bras interagit sur une ligne où des charges monophasées en amont et en aval varient. Les résultats ont été obtenus par simulations avec MATLAB/SIMULINK.

Mots clés: Onduleur triphasé, déséquilibre de tension, puissance instantanée.

I- INTRODUCTION

Les réseaux de distribution basse tension (BT) desservent en général des charges monophasées. Sur le terrain, les techniciens les répartissent de façon aussi équilibrée que possible sur les trois phases, mais la variabilité de la consommation génère un phénomène de déséquilibre du réseau [1]. Ajouté à cela, l'injection des sources décentralisées de petites puissances accentue ce phénomène. [2] présente une technique de compensation du déséquilibre des tensions à travers une commande dynamique de puissance réactive d'un onduleur. La technique distingue le déséquilibre en amplitude - qu'elle limite - et le déséquilibre des phases. Le rééquilibrage des phases, tout comme la compensation des courants réactifs, nécessite la connaissance des courants dans la charge [3-5]. [6] présente une approche de contrôle qui concourt à l'équilibrage des phases, dépendant de la puissance instantanée et utilisant un canal auto-adaptatif. La compensation du déséquilibre dans tous ces cas de figure ne peut être envisagée qu'à l'origine d'un départ de ligne. Dans cet article, nous allons étudier ce phénomène à un nœud quelconque d'une ligne (au secondaire d'un transformateur HTA/BT), où l'on peut connecter une source décentralisée (SD). En réalité, la consommation domestique en amont ou en aval de cette dernière est un paramètre variant considérablement, tout comme le sens d'écoulement de l'énergie le long de la ligne. Ainsi, au PCC de la SD la puissance injectée comme les charges font varier l'amplitude des tensions du réseau. La solution proposée consiste en une pondération de la puissance injectée sur chaque ligne via

l'onduleur triphasé d'une source photovoltaïque (SPV). L'unique paramètre qui encadre cette pondération est la tension au PCC du SPV et du réseau.

Dans le prochain paragraphe nous présentons la configuration sous investigation. Le suivant détaille la technique de rééquilibrage proposée, suivi des résultats de simulations effectuées. La conclusion sera l'objet du dernier.

II- SYSTEME ETUDIE

La configuration d'une ligne courte dans le contexte de notre étude est représentée à la figure 1 ; ΔV y représente la chute de tension entre l'entrée de la ligne et le premier nœud d'interconnexion ou la chute de tension entre deux nœuds d'interconnexion. C'est le modèle équivalent monophasé en π couramment utilisée pour des lignes courtes ou moyennes [7]. P et Q désignent les puissances active et réactive transitant dans le réseau au point considéré. Si l'on connaît V_{b1} ainsi que les puissances active et réactive transitées dans la ligne, on peut alors calculer la chute de tension :

$$\Delta \vec{V} = \vec{V}_{res} - \vec{V}_{N1} = \frac{RP+XQ}{\vec{V}_{N1}} + j \frac{XP-RQ}{\vec{V}_{N1}} \quad (1)$$

En négligeant le déphasage entre les deux tensions (hypothèse de Kapp ou cas d'un réseau peu chargé), la chute de tension est égale à sa projection ΔV sur \vec{V}_{N1} :

$$|\Delta \vec{V}| \approx \Delta V = \frac{RP+XQ}{\vec{V}_{N1}} \quad (2)$$

$$\Delta V = \frac{R(P_G - P_{ch}) + X(\pm Q_G - Q_{ch})}{\vec{V}_{N1}} = RI \cdot \cos\varphi + L\omega I \cdot \sin\varphi \quad (3)$$

- R, X et L sont la résistance, la réactance et l'inductance totale de ligne ;
- V_{Ni} la tension au nœud 'i' et I le courant circulant dans le tronçon de ligne ;
- G et ch en indice désignent respectivement la puissance du générateur décentralisé et celle de la charge ;
- φ est le déphasage entre tension et courant au nœud considéré.

La chute de tension sur une ligne est donc liée à la fois à la puissance transmise, surtout à la puissance réactive, puisque la valeur des réactances dans les réseaux est plus élevée que celle des résistances [8]. Ces chutes de tension deviennent perceptibles et donc problématiques dans les réseaux de distribution, où la tension nominale est très basse.

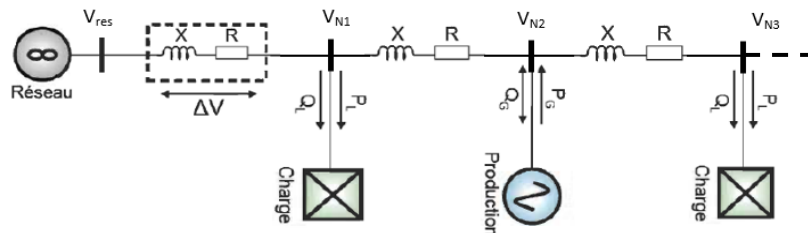


Figure 1 : Modèle d'une ligne comprenant un SPV au 2^{ème} nœud

III- EQUILIBRAGE DES TENSIONS

3-1- Principe de la technique proposée

Ici l'objectif est de produire des itérations dans le but de minimiser l'écart Δ_i entre chaque tension de ligne et la moyenne des trois tensions. L'équation (2) montre que la variation de tension est fonction des puissances (P et Q) injectées au réseau. L'on pondère les courants de référence de l'onduleur triphasé à 4 bras de la figure 2, par des coefficients auto-adaptatifs ζ_i , obtenus grâce à la boucle ci-dessous :

Entrer Δ_{min}

Tant que $\Delta_{moy} > \Delta_{seuil}$

Lire V_i ;

Calculer $V = \sum V_i / 3$; $d_i = V_i / V$; $\Delta_i = V - V_i$; $\Delta_{moy} = \frac{\sum_{i=1}^3 \Delta_i}{3}$;

$\zeta_i = k \cdot \Delta_i + d_i$; /* Update V_i par action de la SPV sur le réseau

Attendre ΔT ;

Les coefficients $\zeta_i = nk \cdot \Delta_i + d_i$ permettent de pondérer la puissance produite par la SPV, en multipliant les courants de référence en entrée de la boucle de courant de l'onduleur. Le pas de progression $k \cdot \Delta_i$ est le produit d'un coefficient de réduction 'k' et de la différence Δ_i . ΔT est permet d'ajuster la vitesse de convergence du processus d'équilibrage. Un seuil maximal et un seuil minimal de ces coefficients est fixé pour augmenter la plage de tension à compenser. Il faut en tout temps, pour assurer le transfert total de la puissance présente sur le bus continu, satisfaire à la condition : $\sum_{i=1}^3 \zeta_i = 3$ [9,10].

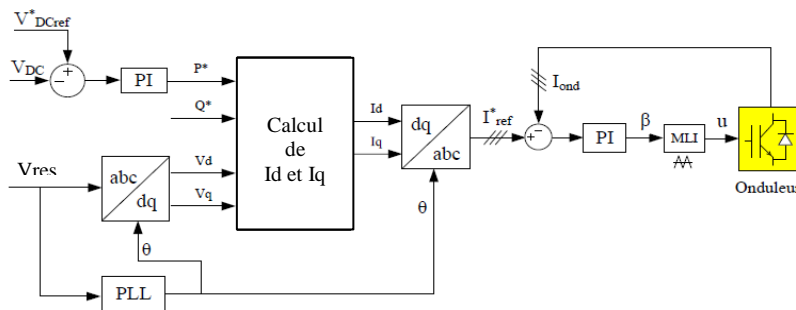


Figure 2 : Commande d'un onduleur triphasé [11].

3-2- Application à un déséquilibre provoqué par les charges

L'algorithme proposé a été utilisée sur la portion de réseau de la figure 3, caractérisée par :

- des lignes d'impédance $Z_L = (0.927 + j0.082)\Omega/\text{km}$, soit $R = 0,927\Omega/\text{km}$ et $L = 261\mu\text{H}/\text{km}$
- une source de tension triphasée d'impédance interne $Z_S = Z_L$
- des charges triphasées réparties de façon à obtenir le profil de tension de la figure 4.

La figure 4 montre l'évolution des tensions de ligne et des coefficients ζ_i pondérant les courants de référence de l'onduleur. La figure 5 donne l'allure de ces courants. On procède à des délestages sur la phase2 à $t = 1,5\text{s}$ et à $t = 3,5\text{s}$, sur la phase1 à $t = 2,5\text{s}$, et à une perte de la phase2 aux bornes d'une charge triphasée à $t = 5\text{s}$. A chaque fois, le déséquilibre d'amplitudes causé est résorbé.

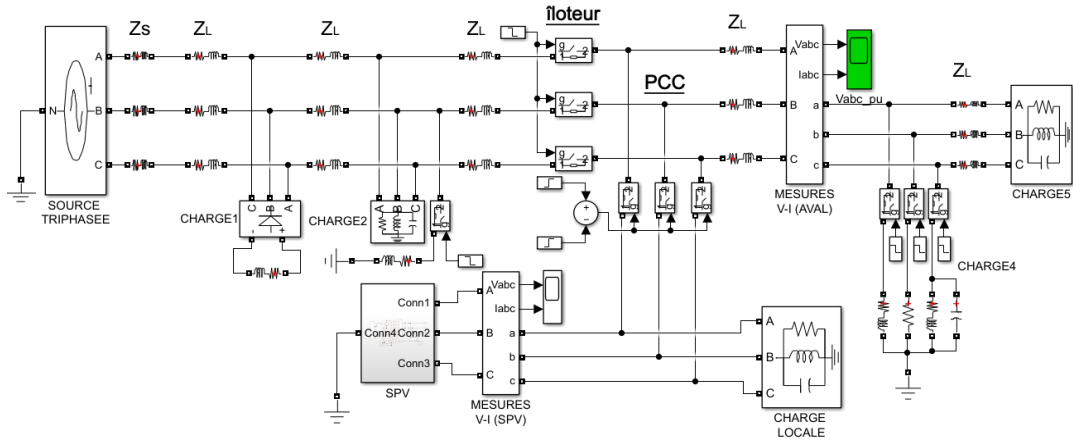


Figure 3 : Modèle de réseau utilisé pour le rééquilibrage des tensions

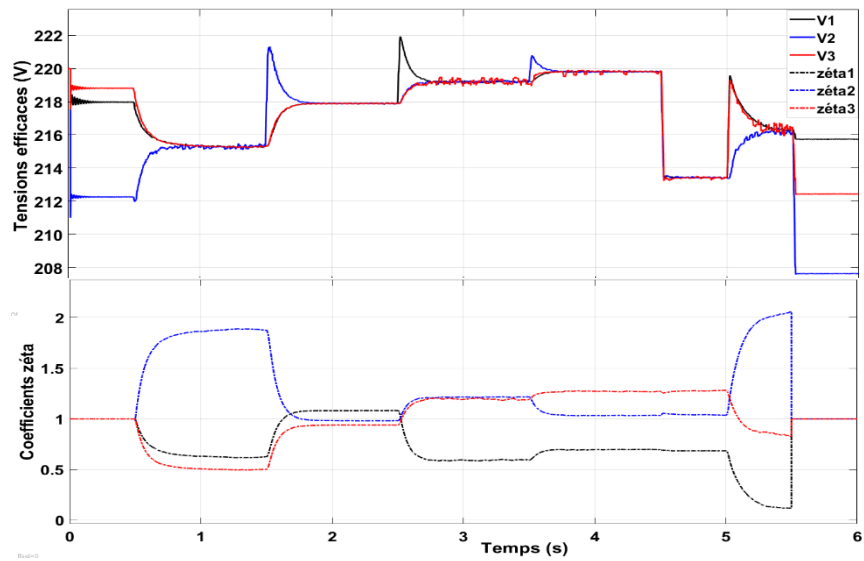


Figure 4 : Valeurs efficaces des tensions au PCC et évolution des coefficients ζ_i

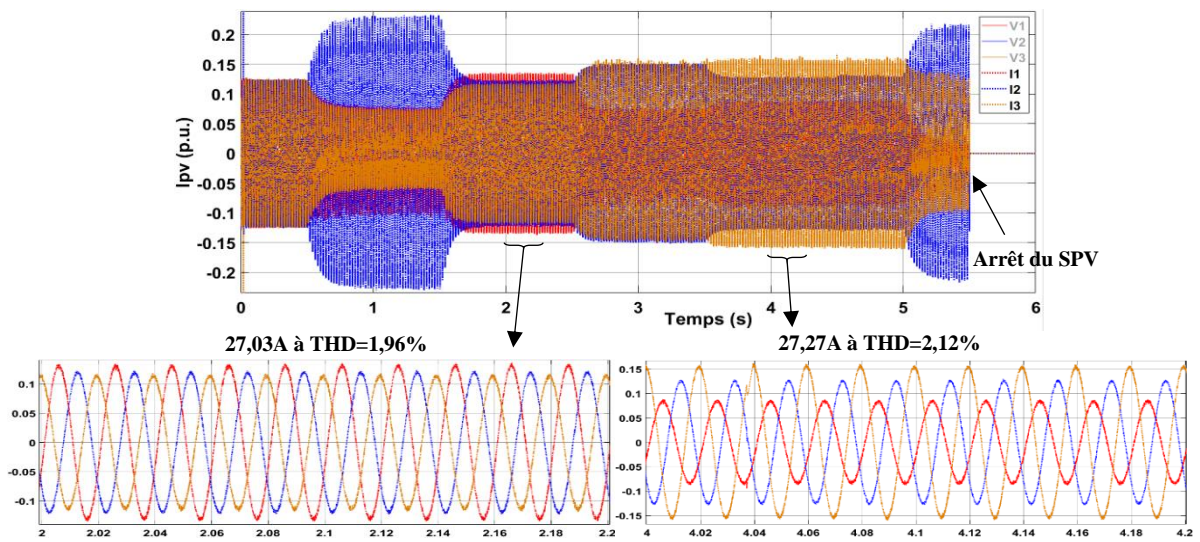


Figure 5 : Allure du courant débité sur chaque phase du SPV

Une charge continue est mise en marche à $t=4,5s$, et la production du SPV est interrompue à $t=5,5s$. Ici, Δ_{min} est fixé à $0,01V$. Le temps de convergence est réglable à partir de la période des itérations ($\Delta T=10^{-4}$ pour le cas de la figure 4), le pas de progression étant fixé à $25\Delta_i/10^{-5}s$. L'équilibre des amplitudes des trois phases est réalisé en moins d'un dixième de seconde, pour une différence entre phases (phases 1 et 2) de $8V$, soit $3,6\%Un$. La figure 5 prouve que le rééquilibrage est effectif, même avec un réseau fortement pollué. En effet, dès $4,5s$ on a des taux de distorsion harmonique $TDH_v=2,54\%$ et $TDH_i = 16,32\%$ à gauche du PCC, causé par la mise en service de la charge non linéaire (identifiable sur la figure 3 par "Charge1"). La production de puissance du SPV est caractérisée par $TDH_v=2,54\%$ et $TDH_i = 3,75\%$.

IV- CONCLUSION

Notre approche permet d'équilibrer, ou de contribuer à atténuer le déséquilibre des phases le long d'une ligne de distribution BT, en répartissant les puissances injectées sur les phases en fonction du niveau de tension au PCC. L'un des avantages de notre méthode, en plus de sa simplicité, est l'utilisation uniquement de la tension au PCC du PVS. Nous avons ainsi montré qu'il est possible de s'engager à rééquilibrer le réseau sans connaissance des charges en cause, et ce en tout point de la ligne. Les travaux futurs porteront sur la compensation du déséquilibre en phase sur une ligne triphasée, c'est-à-dire juguler les déphasages sans connaissance des courants en amont comme en aval du PCC.

Références bibliographiques:

- [1] El-Hawary, M.E." Definitions of Voltage Unbalance". *IEEE Power Eng. Rev.* 2001, 21, 49–51.
- [2] RyutoShigenobu. "Optimization of Voltage Unbalance Compensation by Smart Inverter". doi:10.3390/en13184623. 2020
- [3] Wei-Neng Chang, Ching-Huan Liao, and Po-Li Wang. "Unbalanced Load Compensation In Three-Phase Power System With A Current-Regulated Dstatcom Based On Multilevel Converter". *Journal of Marine Science and Technology*, Vol. 24, No. 3, pp. 484-492 (2016). DOI: 10.6119/JMST-015-1013-1
- [4] L.S. Czarnecki, P. D. Bhattarai, "Reactive Compensation of LTI Loads in Three-Wire Systems at Asymmetrical Voltage", *Przegląd Elektrotechniczny*, (2015), R. 91 NR 12/2015, pp 7-11
- [5] Nour, A.M. "Review on voltage-violation mitigation techniques of distribution networks with distributed rooftop PV systems". *IET Gener. Transm. Distrib.* 2020, 14, 349–361.
- [6] Gaddam Sivaa, Prabodh Kumar Khampariya. "Instantaneous Power Theory For Unbalanced Voltage Compensation Of 3-Phase Power Systems". *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education Vol.12 No.2 (2021), 1319-1325*
- [7] Chateigner G, Bouix D, Boës M, Vaillant J, Verkindère D. (2006). "Manuel de Génie Electrique". Dunod, Paris.
- [8] El Makrini A., (2018). Amélioration De L'intégration De L'énergie Éolienne Au Réseau Électrique De Transport Marocain, *thèse de doctorat en Génie Electrique, Université Sidi Mohamed, Maroc.*
- [9] R. Erickson and D. Maksimovic, "Fundamentals of Power Electronics", *Springer Science & Business Media*, 2007.
- [10] N. Petit and P. Rouchon, "Automatique: Dynamique et contrôle des systèmes," in Notes de cours, École d'Ingénieur, pp. 178-179, MINES Paris Tech, 2013.
- [11] Nguyen Van-Linh. (2014). "Couplage des systèmes photovoltaïques et des véhicules électriques au réseau : problèmes et solutions". *Thèse de Doctorat en Energie électrique, Université de Grenoble.*