

Analyse d'un convertisseur CC-CC à gain élevé pour des systèmes PV connectés à des micro-réseaux bipolaires CC en zones rurales.

Daniel Nicolas MBELE N.^{1,3,*}, Thierry R. BABAN^{1,3}, Aristide TOLOK N.^{2,3,4}, Pierre ELE^{1,3}

¹ Ecole Nationale Supérieure Polytechnique de Yaoundé, Cameroun

² Ecole Normale Supérieure d'Enseignement Technique d'Ebolowa, Cameroun

³ Centre Universitaire de Recherche en Energie pour la Santé, Cameroun

⁴ Association Camerounaise de Recherche en Innovation Technologique pour l'Energie et l'Environnement (ACRITEE), Cameroun

* nicolasmbele@hotmail.com

RESUME – Les convertisseurs continu-continu à gain élevé sont utilisés dans les systèmes solaires photovoltaïques, notamment les micro-réseaux bipolaires à courant continu. Ceux-ci permettent d'améliorer l'efficacité et la fiabilité lors du transfert de la puissance, et réduisent la taille et les coûts du système. Dans cet article, un nouveau convertisseur à sortie bipolaire est proposé pour intégrer un micro-réseau bipolaire à courant continu avec des modules photovoltaïques et des batteries d'accumulateurs. Ce convertisseur possède une configuration de circuit d'un convertisseur SEPIC-CUK modifié et par ailleurs, la tension de sortie bipolaire est comprise entre la ligne positive (P), la ligne négative (N) et la masse commune (O), ce qui permet d'offrir trois classes de tension. Une analyse approfondie des performances du convertisseur en régime permanent est menée, et elle est comparée à celle d'autres convertisseurs à haut gain récents. Le fonctionnement du convertisseur dans des situations non idéales est également discuté en détail. Pour vérifier la précision de l'analyse du convertisseur proposé, un prototype a été conçu et des expériences sont réalisées en laboratoire. Le convertisseur atteint un gain élevé à de faibles rapports cycliques et ses performances sont bonnes dans des conditions de boucle ouverte et fermée.

Mots-clés : convertisseur CC-CC; système PV; module photovoltaïque; micro-réseau bipolaire à courant continu; gain élevé.

1. INTRODUCTION

Au cours du siècle dernier, l'alimentation en courant alternatif a proliféré dans la plupart des secteurs d'activité où la préoccupation principale était de produire et de distribuer de l'électricité, toujours au moindre coût [1,2]. Pour plusieurs raisons, telles que l'augmentation persistante de la demande d'énergie, les problèmes environnementaux, les contraintes à court et moyen terme de l'approvisionnement en combustibles fossiles, l'ouverture progressive des marchés de l'énergie et le développement d'équipements capables de tirer efficacement parti des sources d'énergie renouvelables (SER), entre autres, on a commencé à modifier le concept traditionnel de réseaux électriques courant alternatif (CA) centralisés [3]. Grâce à des ressources énergétiques

décentralisées (par exemple, des panneaux photovoltaïques, des parcs éoliens, etc.) connectées à des réseaux de distribution ou fonctionnant en mode îloté, combinées à des convertisseurs électroniques de puissance modernes, des technologies de stockage et des charges coordonnées, il est désormais possible de relever les défis actuels [4]. Ces technologies et solutions sont maintenant rassemblées dans le concept de micro-réseau [5]. Différentes architectures ont été développées pour la mise en œuvre de micro-réseaux basés sur des liaisons CA, des liaisons CC, ou même une alimentation hybride [5,6]. Bien que le micro-réseau à courant continu soit un concept relativement nouveau, une tendance émerge pour l'utilisation de ces réseaux comme solution alternative pour gérer nos futures demandes énergétiques [8].

Les micro-réseaux à courant continu peuvent offrir plusieurs avantages par rapport aux micro-réseaux à courant alternatif, tels qu'une meilleure efficacité, une meilleure résilience, une capacité de transfert de puissance plus élevée [3,7], un effet de peau plus faible et sont plus sûrs pour le corps humain. Aujourd'hui, les architectures de micro-réseaux à courant continu avec des liens multiples en courant continu rendent plus flexible l'intégration de différentes sources d'énergies renouvelables [8,9]. Les micro-réseaux à bus continu à trois fils, appelés micro-réseaux CC bipolaires (MRCCB), comme le montre la Figure 1, gagnent rapidement en popularité.

La plupart des pays africains souffrent d'un sérieux déficit énergétique du fait de l'inadéquation entre l'offre et la demande. Les zones rurales sont les plus affectées malgré leur fort potentiel en énergies renouvelables. Nous nous sommes donc proposés, dans ce travail, d'étudier un convertisseur CC-CC à gain élevé pour des systèmes PV connectés à des micro-réseaux bipolaires CC pour faciliter l'accès à l'énergie électrique en zones rurales. Ce convertisseur possède une configuration de circuit d'un convertisseur SEPIC-CUK modifié et par ailleurs, la tension de sortie bipolaire est comprise entre la ligne positive (P), la

ligne négative (N) et la masse commune (O), ce qui permet d'offrir trois classes de tension. Une analyse approfondie des performances du convertisseur en régime permanent est menée, et elle est comparée à celle d'autres convertisseurs à haut gain récents.

2. APPROCHE METHODOLOGIQUE DE L'ANALYSE DU CONVERTISSEUR

Ce convertisseur SEPIC-CUK modifié (CSCM) possède un seul port d'entrée et deux ports de sortie symétriques comme le montre la Figure 2. Comme les autres convertisseurs d'alimentation à découpage CC-CC, le CSCM échange de l'énergie entre les inductances L_1, L_2, L_P et L_N , et les condensateurs $C_1, C_2, C_{CP1}, C_{CP2}, C_P$ et C_N pour convertir une tension CC en une autre tension CC avec un gain élevé.

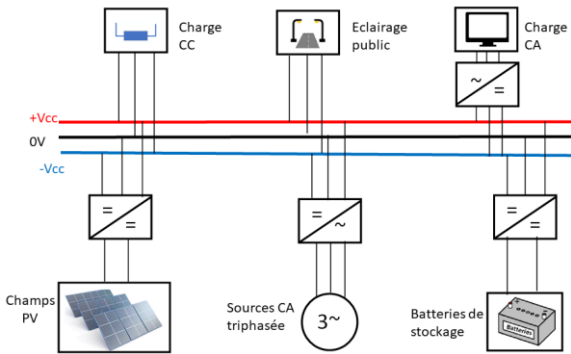


Figure 1: Schéma synoptique du système.

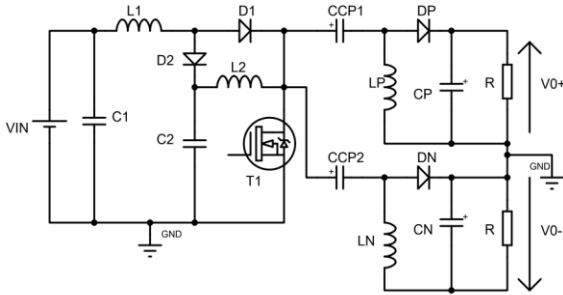


Figure 2 Schéma du convertisseur CC-CC proposé.

L'approche méthodologique mise en œuvre dans le cadre de l'analyse de ce convertisseur va partir de l'étude du fonctionnement en mode de conduction continu et en mode de conduction discontinue pour établir la relation du gain idéal du convertisseur. Les gains idéaux pour les deux modes de fonctionnement sont donnés par les deux équations suivantes :

$$\begin{cases} G_{p-CCM} = \frac{V_0^+}{V_{in}} = \frac{k}{(1-k)^2}, \\ G_{n-CCM} = \frac{V_0^-}{V_{in}} = -\frac{k}{(1-k)^2}. \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} G_{p-DCM} = \frac{V_0^+}{V_{in}} = \sqrt{\frac{k^2}{(1-k)^2 \tau}}, \\ G_{n-DCM} = \frac{V_0^-}{V_{in}} = -\sqrt{\frac{k^2}{(1-k)^2 \tau}}, \end{cases} \quad (2)$$

Par la suite, la prise en compte des imperfections des semi-conducteurs et des composants passifs nous permettra de déterminer le rendement énergétique du convertisseur et la chute de tension aux sorties bipolaires symétriques.

Une étude comparative avec les récents convertisseurs du même type nous permettra de mettre en évidence les qualités du CSCM proposé. Les simulations nous permettront de vérifier les résultats théoriques et la précision des variables courants et tensions en sortie.

3. CONCLUSION

Dans cet article, un nouveau convertisseur à sortie bipolaire est proposé pour intégrer un micro-réseau bipolaire à courant continu avec des modules photovoltaïques et des batteries d'accumulateurs. Le convertisseur atteint un gain élevé à de faibles rapports cycliques et ses performances sont bonnes dans des conditions de boucle ouverte et fermée.

4. REFERENCES

- [1] V.F. Pires, A. Pires, A. Cordeiro, DC Microgrids: Benefits, Architectures, Perspectives and Challenges, *Energies*. 16 (2023) 1217. <https://doi.org/10.3390/en16031217>.
- [2] G. Lobaccaro, S. Carlucci, E. Löfström, A Review of Systems and Technologies for Smart Homes and Smart Grids, *Energies*. 9 (2016) 348. <https://doi.org/10.3390/en9050348>.
- [3] B. Papari, C.S. Edrington, I. Bhattacharya, G. Radman, Effective Energy Management of Hybrid AC-DC Microgrids With Storage Devices, *IEEE Trans. Smart Grid*. 10 (2019) 193–203. <https://doi.org/10.1109/TSG.2017.2736789>.
- [4] V.F. Pires, D. Foito, A. Cordeiro, C. Roncero-Clemente, J.F. Silva, Bidirectional DC-DC Converter for Battery Storage Systems with Support for Mitigation of Voltage Imbalance in Bipolar DC Microgrids, in: *IECON 2022 – 48th Annu. Conf. IEEE Ind. Electron. Soc.*, 2022: pp. 1–6. <https://doi.org/10.1109/IECON49645.2022.9968519>.
- [5] M. Lakshmi, S. Hemamalini, Nonisolated high gain DC-DC converter for DC microgrids, *IEEE Trans. Ind. Electron.* 65 (2017) 1205–1212.
- [6] I. Ninma Jiya, H. Van Khang, N. Kishor, R.M. Ciric, Novel Family of High-Gain Nonisolated Multiport Converters With Bipolar Symmetric Outputs for DC Microgrids, *IEEE Trans. Power Electron.* 37 (2022) 12151–12166. <https://doi.org/10.1109/TPEL.2022.3176688>.
- [7] Protection in DC microgrids: a comparative review - Bayati - 2018 - IET Smart Grid - Wiley Online Library, (n.d.). <https://ietresearch.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1049/iet-stg.2018.0035> (accessed February 11, 2023).
- [8] A. Allehyani, Analysis of a symmetrical multilevel DC-DC boost converter with ripple reduction structure for solar PV systems, *Alex. Eng. J.* 61 (2022) 7055–7065. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2021.12.049>.
- [9] V.F. Pires, A. Cordeiro, D. Foito, J.F.A. Silva, Dual Output and High Voltage Gain DC-DC Converter for PV and Fuel Cell Generators Connected to DC Bipolar Microgrids, *IEEE Access*. 9 (2021) 157124–157133. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3122877>.