

CONCEPTION D'UNE PLATEFORME MPPT PHIL POUR LES SYSTÈMES PV

Tahar Tafticht, M. Amine Houimdi, M. Tchakala, H. amza Gasmi.

École de génie, Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue

(UQAT) 445 Bd de l'Université, Rouyn-Noranda, J9X 5E4,

Québec, Canada.

tahar.tafticht@uqat.ca, amine.houimdi@uqat.ca, mouctar.tchakala@uqat.ca, hamza.gasmi@uqat.ca

Abstract— Le travail présenté vise à développer une plateforme de type PHIL (Power Hardware In Loop) pour tester les algorithmes MPPT pour suivre le point de puissance maximale des systèmes photovoltaïques. Les étapes de modélisation et de simulation du panneau photovoltaïque (PV) sont réalisées en utilisant l'environnement MATLAB/Simulink, avant de passer à la conception de la plateforme PHIL. Cette plateforme se base sur une carte contrôleur Arduino Mega2560 et d'un convertisseur statique DC/DC. L'implémentation en temps réel des algorithmes MPPT est réalisée par l'utilisation de Simulink Support Package pour l'Arduino dans MATLAB/Simulink. Des essais ont été menés pour valider expérimentalement l'efficacité de la plateforme PHIL conçue.

Mots clés— Système photovoltaïque, MPPT, plateforme PHIL.

I. INTRODUCTION

Dans une époque où les applications industrielles évoluent rapidement, le développement durable est au centre de tout projet d'ingénierie. Ce concept implique, entre autres, les sources d'énergies renouvelables telle que l'énergie solaire. Pour une utilisation optimale ses panneaux solaires, il faut les faire fonctionner à leur point de puissance maximale, ou plus précisément, à la tension optimale pour une puissance de sortie maximal. La variation des conditions d'irradiation solaire ainsi que de température rend difficile le suivi de ce point. Les plateformes d'émulations représentent une solution très adéquate pour tester les algorithmes MPPT qui améliore l'efficacité et le rendement des panneaux PV. Dans l'industrie énergétique, on remarque l'émergence de plateformes de type PHIL (Power Hardware In the Loop), qui jumèlent composants physiques et numériques. L'objectif principal consiste en la réalisation d'une plateforme de type PHIL qui permet de mettre en œuvre le suivi du point maximal de puissance (MPPT). La particularité du projet repose sur l'utilisation de composants simples et accessibles tels que les cartes de microcontrôleur pour réaliser cette plateforme. Les configurations détaillées du logiciel de simulation ainsi que l'interaction des différents composants de la plateforme accordent à cette dernière une robustesse aux perturbations d'irradiation et de température.

II. STRUCTURE DE LA COMMANDE D'UN SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE

La figure 1 illustre la structure d'un système PV et sa commande. La nature du courant généré par les panneaux solaires est en courant continu [1]. Toutefois, un convertisseur statique est requis pour adapter la charge et les batteries à la source d'énergie photovoltaïque [2,3]. Un contrôleur est utilisé pour faire l'acquisition de données du courant PV et de la tension PV et réalise la commande du convertisseur statique par le biais d'un algorithme MPPT en fonction des variations de l'irradiation solaire et de température subies par le système PV (figure.2).

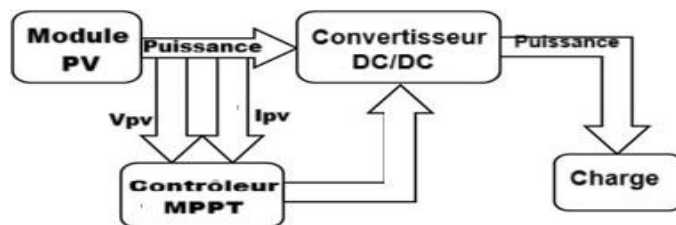


Figure 1 : Structure de la commande d'un système photovoltaïque.

III. CONCEPTION DE LA PLATEFORME PHIL

Notre objectif est d'exploiter la puissance maximale fournie par la source d'énergie photovoltaïque pour une irradiation solaire et une température données. Pour ce faire, nous avons implémenté dans la carte

Arduino le contrôle MPPT de notre source d'énergie photovoltaïque associé à un convertisseur DC/DC. La figure 3 représente le schéma

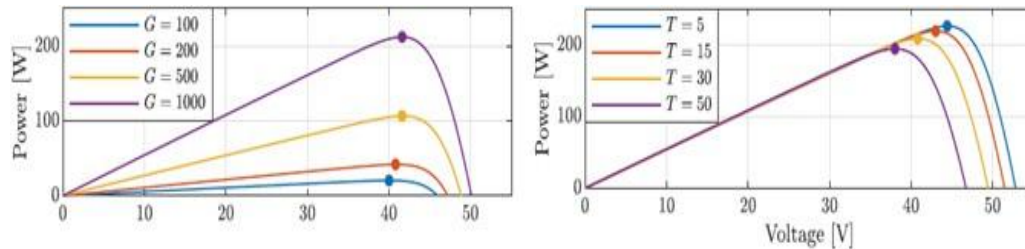


Figure 2 : Variation de la puissance photovoltaïque en fonction de l'irradiation solaire et de température

fonctionnel de la configuration matérielle de la plateforme PHIL. Pour la validation expérimentale de l'algorithme MPPT, on utilise Simulink Support Package pour l'Arduino dans MATLAB/Simulink. D'une manière générale, l'ensemble du banc d'essai est constitué de quatre groupes qui sont :

- Panneau PV, convertisseur DC/DC, des batteries et banc de charge résistif.
- Carte de contrôle basée sur Arduino Mega2560.
- Appareils de mesure et d'acquisition (wattmètre et digital oscilloscope).
- Un ordinateur équipé de la plateforme MATLAB/Simulink.

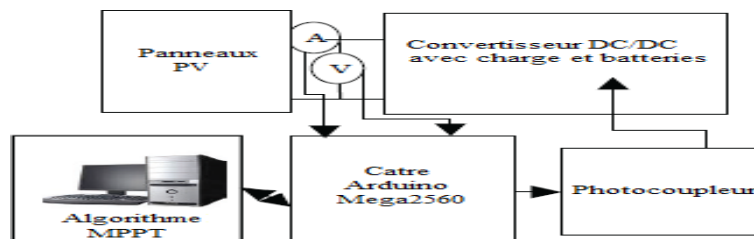


Figure 3 : Bloc-diagramme de la plateforme PHIL.

A. Convertisseur DC-DC

La Figure.4 représente le circuit de base utilisé qui est convertisseur DC/DC élévateur de tension [4]. L'inductance et les capacités (L , C_p , C_{DC}) du convertisseur sont soigneusement calculées, elles pourraient filtrer le courant et minimiser le facteur d'ondulation des entrées et les tensions de sortie des convertisseurs.

Les équations ci-dessous représentent les expressions en mode continu, qui permettent de déduire les valeurs de chaque élément du convertisseur (inductance L , condensateur de sortie, C_{DC} , condensateur d'entrée C_p , fréquence f , admittance de la bobine X_0 , rapport cyclique D).

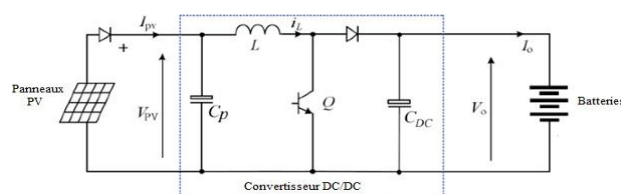


Figure 4 : Convertisseur DC-DC.

B. Carte de contrôle

La carte microcontrôleur utilisée est basée sur l'Arduino ATmega2560. Elle dispose de 54 broches

d'entrée-sortie numériques (dont 14 peuvent être utilisées comme sorties PWM), 16 entrées analogiques, 4 émetteurs-récepteurs asynchrones universels (UART) (ports série), un oscillateur à cristal de 16 MHz, un bus série universel (USB), une prise d'alimentation, entrée de programmation série (ICSP) capable de programmer l'Arduino avec seulement un câble de bus série universel (USB) et un bouton de réinitialisation. Pour commander le convertisseur DC/DC, nous avons réalisé la carte électronique d'interface qui permet de :

- Capturer le courant et la tension du panneau PV.
- Protéger la carte Arduino contre les dysfonctionnements, on a isolé de la partie du circuit de puissance par un photocoupleur.

C. Algorithme MPPT incrémentation de la conductance

La méthode MPPT incrémentation de la conductance est utilisée pour tester la plateforme PHIL. Le choix de cette méthode est dicté par sa facilité de mise en œuvre, sa structure simple, son faible coût, un nombre réduit de paramètres, la possibilité d'introduire des améliorations futures. Cette méthode a été implémentée pour extraire le maximum de puissance à chaque instant. La figure 5 résume l'action de contrôle de la méthode incrémentation de la conductance.

L'organigramme de l'algorithme mis en œuvre est illustré à la figure 5. La tension de fonctionnement est perturbée à chaque cycle MPP (Maximum Power Point). Dès que le MPP est atteint, il oscille autour de la tension de fonctionnement idéale. Par exemple, si le contrôleur détecte que la puissance d'entrée augmente ou diminue, il agira sur V_{ref} pour le rapprocher du MPP [8].

L'algorithme de l'incrément de la conductance détecte la pente de la courbe P-V et le MPP est suivi en recherchant le pic de la courbe P-V. Cet algorithme utilise la conductance instantanée I/V et la conductance incrémentale dI/dV pour MPPT. En fonction de la relation entre les deux valeurs, telle qu'exprimée en (1)–(3), l'emplacement du point de fonctionnement du module PV dans la courbe P-V peut être déterminé, c'est-à-dire que (1) indique que le module PV fonctionne au MPP, tandis que (2) et (3) indiquent que le module PV fonctionne respectivement à gauche et à droite du MPP dans la courbe P-V.

$$dI/dV = -IV \quad (1), \quad dI/dV > -IV \quad (2), \quad dI/dV < -IV \quad (3)$$

Les équations ci-dessus sont obtenues à partir du concept où la pente de la courbe P - V à MPP est égale à zéro, c'est-à-dire : $dP/dV = 0$ (4), En réécrivant (4), on obtient l'équation suivante : $I + V dI/dV = 0$ (5)

Dans l'algorithme de l'incrément de la conductance, (5) est utilisé pour détecter le MPP, et la tension et le courant du module PV sont mesurés par le contrôleur MPPT. Si (2) est satisfait, le rapport cyclique du convertisseur doit être diminué, et vice versa si (3) est satisfait, alors qu'aucun changement sur le rapport cyclique si (5) est satisfait [5,6].

IV. RESULTATS EXPERIMENTAUX

La figure 5 montre le banc expérimental qu'on a utilisé pour valider la conception de notre plateforme de test des algorithmes MPPT. Les résultats expérimentaux ont été obtenus par l'acquisition de la tension V_{pv} , le courant I_{pv} et le rapport cyclique D. La représentation graphique des données est réalisée directement sur Matlab qui comptabilise les matrices de V_{pv} , I_{pv} et D. Pour les courbes P-V, on a réalisé une commande de traçage de la matrice de V_{pv} en abscisse avec la matrice de P_{pv} ($V_{pv} * I_{pv}$) en ordonnée. Une démarche similaire est utilisée pour les courbes I-V ainsi que D en fonction du temps.

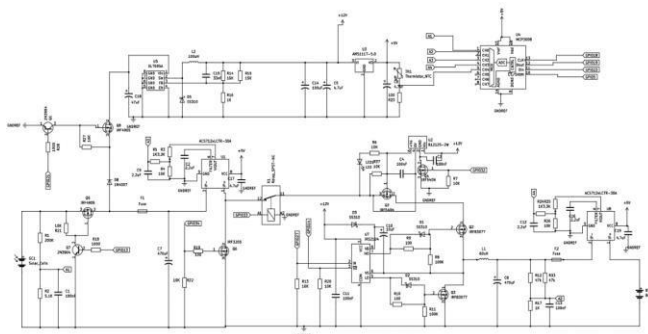


Figure 5: Banc d'essai expérimental.

La figure 6 illustre le résultat du premier essai MPPT. La puissance maximale trouvée est de 66.6892W, ce qui n'est pas concluant car il s'agit seulement de 86.0448% du MPP réel du système. Sachant que les systèmes MPPT réalisés en laboratoire obtiennent en moyenne 88% de rendement par rapport au MPP réel du système [12], il est nécessaire de dépasser ce rendement pour confirmer l'efficacité de la plateforme. Pour cela d'autres essais ont été réalisés en ajustant le pas de variation pour le rapport cyclique. Une fois le rendement convenu comme concluant est atteint, le traçage des courbes P-V et I-V est réalisé.

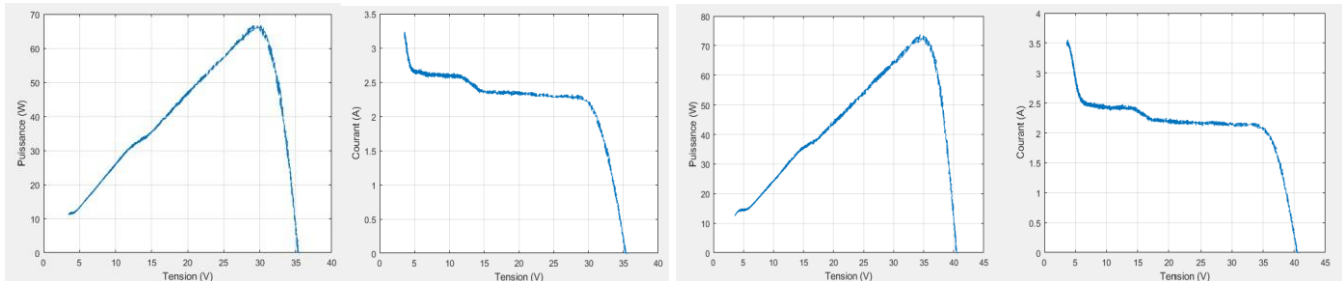


Figure 6 : Courbes P-V et I-V avant et après l'ajustement du pas de variation.

La matrice de données du rapport cyclique est tracée en fonction du temps de l'essai à la Figure 7. Celle-ci montre l'évolution de la donnée envoyée par le contrôleur. En fait, elle débute à une valeur assez basse jusqu'à se rendre à son point où la puissance maximale est atteinte, soit à 60. Tel qu'indiqué dans la configuration de l'algorithme, la broche de sortie de la carte contrôleur supporte une valeur maximale de 255, ce qui limite l'amplitude de la commande du rapport cyclique. Le temps d'atteinte de cette valeur est un paramètre pris en considération dans l'évaluation de l'efficacité de la plateforme. Sachant que la base temporelle de l'expérimentation est fixée à $T=3$ secondes, la figure 7 montre que l'atteinte du MPP est réalisée en moins de 3 secondes. En plus, la puissance obtenue de 73.8835W représente 95.3271% de la puissance générée à MPP global. Cela est donc assez concluant pour indiquer l'efficacité de la plateforme conçue.

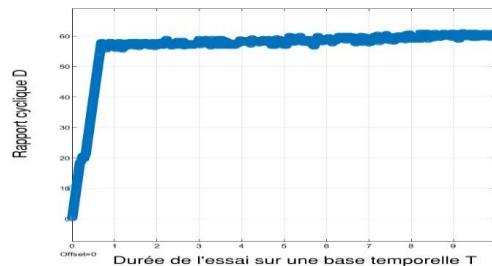


Figure 7 : Comportement du rapport cyclique au cours de l'atteinte du MPP.

V. CONCLUSION

Ce travail nous a permis de consolider et de compléter nos recherches sur la conception d'une plateforme PHIL pour tester les algorithmes MPPT. On a associé une commande MPPT au convertisseur DC/DC afin d'extraire le maximum de puissance lors du changement de l'irradiation solaire et de la température. Afin de valider la la conception d'une plateforme PHIL proposée, la mise en œuvre de l'algorithme et de la configuration matérielle MPPT se fait à l'aide de la carte Arduino. Le contrôle MPPT suit en temps réel le point de puissance maximale MPP que soit la variation de la vitesse l'irradiation solaire, de la température et de la charge résistive.

Les résultats expérimentaux obtenus montrent bien l'efficacité de la plateforme PHIL conçue. La facilité d'implémentation des algorithmes MPPT consiste un de ses plus importants avantages, car cette plateforme peut être dimensionnée à l'avance et livrée selon le besoin de la source d'énergie dans lequel on veut dédier son opération et lui donne un niveau intéressant d'indépendance.

REFERENCES

- [1] Abdelilah, B., et al., Implementation of Maximum Power Point Tracking (MPPT) Solar Charge Controller using Arduino. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018. 353: p. 012024.
- [2] T. Tafticht, M. Tchakala, Md. J. Rahman, “GMPPT approach for photovoltaic systems under partial shading conditions using a genetic algorithm”, International Journal of Power Electronics and Drive Systems (IJPEDS), Vol. 13, No. 2, June 2022, ISSN: 2088-8694, DOI: 10.11591/ijpeds.v13.i2.ppab-cd.
- [3] Abadi, I., et al., Implementation of Maximum Power Point Tracking (MPPT) Technique on Solar Tracking System Based on Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS). 2018, EDP Sciences: Les Ulis.
- [4] Tahar Tafticht, Md. J. Rahman and M. Tchakala. “Estimation of Optimal Operating Points in Photovoltaic Power Systems Under Partial Shading Conditions”, 2nd International Conference on Clean and Green Energy Engineering, Istanbul, Turkey, august 7-9, 2021.
- [5] Frivaldsky, M., et al., From Non-Modular to Modular Concept of Bidirectional Buck/Boost Converter for Microgrid Applications. Energies, 2020. 13(12): p. 3287.
- [6] Kikusato, H., et al., Microgrid Controller Testing Using Power Hardware-in-the-Loop. Energies, 2020. 13(8): p. 2044.
- [7] Dhaouadi, G., et al., Implementation of Incremental Conductance Based MPPT Algorithm for Photovoltaic System. 2019.
- [8] T. Tafticht, K. Agbossou, A. Chériti and M.L. Doumbia “An Improved Maximum Power Point Tracking Method for Photovoltaic Systems”, International Journal of Renewable Energy, Vol.33, Issue 7, July 2008.
- [9] Yatimi, H., E. Aroudam, and M. Louzazni Modeling and Simulation of photovoltaic Module using MATLAB/SIMULINK. MATEC Web of Conferences, 2014. 11, DOI: 10.1051/mateconf/20141103018.
- [10] Gokmen, N., et al., Voltage band based global MPPT controller for photovoltaic systems. Solar Energy, 2013. 98: p. 322-334.
- [11] Meng Chung, T., et al. A Real-time Simulation Platform for Maximum Power Point Tracking Algorithm Study in Solar Photovoltaic System. Applications of Modelling and Simulation, 2019. 3, 111-118.
- [12] Estrada, L., et al., Real-Time Hardware in the Loop Simulation Methodology for Power Converters Using LabVIEW FPGA. Energies, 2020. 13(2): p. 373.5.