



## **INTERFACE D'ELECTRONIQUE DE PUISSANCE UNIVERSELLE (IEPU) POUR LES RESSOURCES DE PRODUCTION DECENTRALISEE**

*E. G. KOULAKOUMOUNA M.*

*Ecole Nationale Supérieure Polytechnique (ENSP)  
Université Marien Ngouabi,  
Brazzaville  
République du Congo  
E-mail : g7koulak@gmail.com*

---

### **RESUME**

*De nombreux efforts ont récemment été observés pour améliorer l'efficacité, réduire les émissions de gaz à effet de serre et la transmission de particules à risque, avec l'augmentation de la population mondiale dont la demande énergétique n'arrête d'évoluer, ce qui a conduit au concept «plus électrique» de diverses industries, dont les transports; ainsi pour apporter une solution au problème et une transition en douceur vers un réseau électrique plus fiable, diversifié et efficace pour les applications futures, le concept d'interface d'électronique de puissance universelle (IEPU) est introduit.*

---

**Mots-clés :** *Convertisseurs ; Génération distribuée ; Filtre LCL ; harmoniques ; énergie renouvelable, boucle à verrouillage de phase (PLL)*

---

### **ABSTRACT**

*Many efforts have recently been observed to improve efficiency, reduce the greenhouse gas and risky particle transmission leading to the urgency of the “more electric” concept from various industries including transportation; in other to bring a solution to the problem and a smooth transition unto a more reliable, diverse and efficient power grid for future applications the concept of universal power electronic interface (UPEI) is introduced.*

---

**Keywords :** *Converters; Distributed generation; LCL filter; harmonics; renewable energy, Phase locked Loop (PLL).*

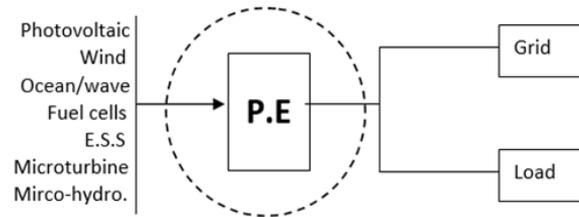
---

## INTRODUCTION

Afin de réduire les impacts potentiels sur la génération de distribution (PD), des interfaces d'électroniques de puissance universelles (IEPU) sont introduites pour intégrer la production distribuée (PD) à un système électrique existant. Pour s'attaquer aux harmoniques supérieures de la PD, l'interface offre une capacité unique par rapport aux technologies d'interconnexion traditionnelles à développer comme lien entre toutes les unités de PD et les consommateurs, l'interface sépare toute unité PD et le réseau, elle fournit une puissance réactive. L'énergie renouvelable basée sur la PD peut être un soulagement de la centrale électrique conventionnelle; pourtant, cela augmentera la transmission des investissements dans les infrastructures. Beaucoup de production d'électricité localisée pourraient être une alternative pour centraliser le modèle de production qui offre la possibilité d'intégrer le stockage d'énergie pour les influences de puissance.

### I. PRESENTATION DU SYSTEME

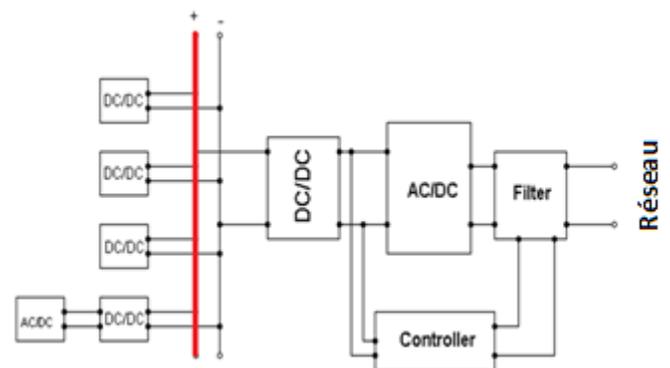
Le système à présenter pour ce document de recherche est d'étudier le principal avantage de l'utilisation d'interfaces électroniques de puissance universelles pour les systèmes de production distribuée en développant une interface d'EP dans laquelle, si une énergie (DC) est connectée à l'interface il sera en mesure de contrôler et de fournir une tension et un courant de sortie fiables et requis au réseau ou à la charge, comme indiqué sur la figure ci-dessous. Un système de stockage d'énergie est également inclus dans le circuit afin de maintenir le système en marche lorsque les autres sources d'énergies ne seront pas en mesure de produire l'énergie requise pour faire fonctionner le système en raison des conditions météorologiques cas des énergies renouvelables ENR [1].



**Figure 1:** Illustration de l'interface électronique de puissance.

### SOURCES D'ENTREE

Les sources de courant continu utilisées dans ce document de recherche sont des ressources énergétiques renouvelables généralement appelées systèmes de production distribuée, les configurations et les topologies des systèmes ont été discutées en détail par les auteurs suivants [2]; [3] & [4]. Pour mettre en œuvre ce projet, nous avons choisi de travailler avec quatre des systèmes de PD avec une source de tension d'entrée réglée pour être 200V pour chaque source : pile à combustible ( $V_{FC}$ ); Photovoltaïque ( $V_{PV}$ ); Batterie ( $V_{Battery}$ ) et l'énergie éolienne ( $V_{Wind}$ ). Fig. 2 ci-dessous présente comment le système est connecté au réseau / pour la production d'énergie électrique.



**Figure 2:** model d'étude

La Fig.2 présente le modèle d'étude qui contient trois principaux composants: les sources CC, l'onduleur triphasé et le filtre connecté à la charge ou au réseau. La source CC intègre la source primaire comprenant: pile à combustible, photovoltaïque, batterie et éolienne qui sont tous connectés à l'onduleur via une liaison cc. Dans le cas

d'éoliennes ou d'une source d'entrée CA, un convertisseur redresseur CA / CC est réglé avant le jeu de barre d'alimentation. Et un convertisseur CC-CC (dans le cas des sources d'entrée CC) est connecté. L'onduleur qui fournit la conversion CC / CA est un inverseur de tension contrôlé en phase par une modulation de largeur d'impulsion (PWM) intéroceptive. Le filtre connecté, est un filtre LCL qui sert à minimiser les harmoniques de commutation.

### Modélisation de l'onduleur

Une topologie d'onduleur triphasé à six commutateurs est utilisée dans cet article comme faisant partie de l'onduleur. La topologie est composée de six commutateurs disposés de manière à ce que trois branches parallèles soient connectées aux sources cc, elle est également disposée de manière à ce que deux commutateurs soient connectés en série sur chaque branche avec chaque cellule de commutateur composée d'un transistor et d'une diode connectée en antiparallèle avec une diode ajoutée en parallèle. Par conséquent, les sources d'entrée CC sont appliquées aux trois branches parallèles supérieure et inférieure de l'onduleur à travers deux condensateurs de liaison cc connectés en série avec la branche. Le résultat de la sortie triphasée ca a lieu entre les deux commutateurs de chaque branche, ce qui rend la configuration de l'onduleur très simple, largement utilisée et une bonne topologie pour intégrer plus de fonctionnalités de l'onduleur, ce qui le rend très souhaitable pour ce document de recherche.

La séquence de commutation de l'onduleur IGBT est représentée dans le tableau ci-dessous:

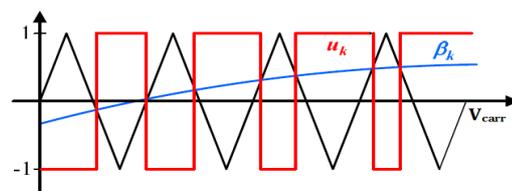
**Tableau 1: Modèle de commutation de MLI-S**

| IGBT | Tension d'onde sinusoïdale | Vs > Vo | Vs < Vo |
|------|----------------------------|---------|---------|
| S1   | $V_{oa}$                   | ON      | OFF     |
| S6   |                            | OFF     | ON      |
| S2   | $V_{ob}$                   | ON      | OFF     |
| S5   |                            | OFF     | ON      |
| S3   | $V_{oc}$                   | ON      | OFF     |
| S4   |                            | OFF     | ON      |

Les interrupteurs IGBT connectés sur chaque branche de l'onduleur sont activés (on) / désactivés (off) alternativement, ce qui entraîne un flux de courant de sortie en continu. L'indice de modulation typique est réglé pour être compris entre 0 et 1, c'est pour limiter l'amplitude de la tension de l'onduleur du côté de la sortie CA, comme présenté sur la Fig.3. La magnitude et l'amplitude de la forme d'onde de la tension côté AC principale de l'onduleur lorsque la commutation de modulation à largeur d'impulsion (MLI) est appliquée et peuvent être déterminées à l'aide des équations suivantes [5].

$$V_{rms} = \frac{1}{\sqrt{2}} \times V_{dc} = 0.707 V_{dc} \quad (1)$$

$$V_{rms} = \frac{\sqrt{3}}{2\sqrt{2}} \times V_{dc} = 0.612 V_{dc} \quad (2)$$



**Figure 3: instants de commutation dans le cas d'un MLI interceptif**

$u_k$  C'est la fonction de commutation qui prend la valeur 1 lorsque les interrupteurs supérieurs sont fermés (S1, S2 ou S3) et -1 lorsque les interrupteurs inférieurs sont fermés (S4, S5 ou S6). Cette fonction de commutation est obtenue lors de la comparaison de deux signaux (Fig.3), la modulation  $\beta k$ , qui est une représentation d'onde de référence de la tension de sortie souhaitée entre -1 et 1, et de la tension

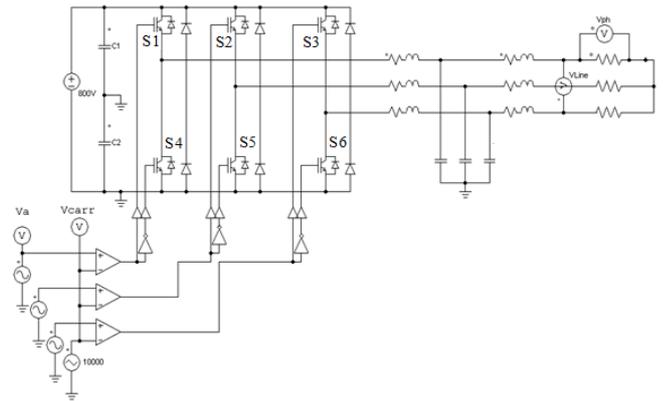
porteuse  $V_{carr}$  qui est la fréquence d'onde MLI triangulaire beaucoup plus élevée que la fréquence de  $\beta k$  détermine donc la fréquence de commutation de l'onduleur.

### Contrôle de la puissance de l'onduleur

En raison de la nature de l'énergie renouvelable, toutes les charges sont connectées au réseau par un onduleur de tension CC à CA qui est équipé d'un coupe-filtre désaccordé. Pour définir les contrôleurs locaux, les énergies renouvelables ont été considérées comme les sources d'énergie dynamiques. En effet, les onduleurs seront connectés au bus DC qui fournira en permanence suffisamment d'énergie pour assurer une réponse adéquate aux différents transitoires du système.

L'onduleur à étage de puissance conçu pour la recherche convertit la tension de sortie de 800 V CC du convertisseur triphasé en tension de réseau d'environ 400 V CA de tension de phase et 230 V de tension de la ligne à une fréquence de 50 Hz. Le but du choix d'une tension de circuit intermédiaire élevée dans cette étude est que sa tension ne sera jamais inférieure à la tension requise pour la tension du réseau de l'onduleur. Le contrôle du courant du réseau avec la chute de tension aux bornes des dispositifs semi-conducteurs et la tension du filtre n'est pas une tâche facile à utiliser.

Le modèle général basé sur un onduleur de tension considéré dans cette étude est une topologie d'onduleur triphasé bidirectionnel CC-CA avec une technique d'impulsion comme présenté sur la figure 4. Fondamentalement, cet onduleur triphasé à deux niveaux convertira la tension de sortie CC en tension alternative à une tension et une fréquence de sortie de charge souhaitées. Ceci peut être réalisé en utilisant différentes topologies d'onduleurs et schémas de contrôle ayant chacun leurs avantages et inconvénients.



**Figure 4:** Onduleur bidirectionnel CC vers CA

La commutation de l'onduleur est contrôlée par la technique MLI dans d'autres pour générer une tension de sortie non filtrée. L'ensemble du système d'onduleur est amélioré en utilisant une approche de commutation MLI sinusoïdale. La modulation de largeur d'impulsion sinusoïdale (MLI-S) est utilisée pour générer les signaux de commutation pour l'onduleur à une amplitude et une fréquence de commutation souhaitées avec une comparaison d'une onde sinusoïdale triphasée et celle d'une onde triangulaire (porteuse  $V$ ). La fréquence de l'onduleur est définie par la fréquence du signal triangulaire qui se traduit par des impulsions qui pilotent le signal de porte de l'IGBT.

La modélisation des formes d'onde sinusoïdales de référence est donnée à l'aide des équations suivantes :

$$v_{0a\_ref} = A \sin(2\pi ft + \theta)$$

(3)

$$v_{0b\_ref} = A \sin(2\pi ft + (\theta - 120^\circ))$$

(4)

$$v_{0c\_ref} = A \sin(2\pi ft + (\theta + 120^\circ))$$

(5)

### Modélisation et conception du filtre LCL

Le convertisseur MLI ayant une fréquence de commutation plus élevée se traduit généralement par une taille de filtre LC passe basse. Cependant, cette fréquence de découpage est principalement limitée aux

applications haute puissance pour deux raisons :

1. Il a une meilleure atténuation que le filtre LC avec la même taille.
2. Le filtre LCL fournit une sortie inductive au réseau (charge), il empêche le courant d'entrée comparant au filtre LC.

Le circuit équivalent du modèle de filtre LCL est représenté sur la figure 5 où  $L_1$  représente le côté de l'onduleur et  $L_2$  est le côté de l'inductance du réseau,  $C_1$  est le condensateur avec une résistance d'amortissement  $R_f$  en série,  $R_1$  et  $R_2$  sont des résistances d'inductances,  $V_i$  est la tension de l'onduleur d'entrée et  $V_g$  est la tension de sortie de l'onduleur. Les courants  $i_i, i_c, i_g$  sont respectivement le courant de sortie de l'onduleur, le courant du condensateur et le courant du réseau. Le schéma fonctionnel de l'onduleur connecté au réseau avec filtre LCL est présenté à la figure 5. Plus d'informations sur la technique de modélisation et de conception du filtre LCL peuvent être trouvées dans [6]; [7] et [8].

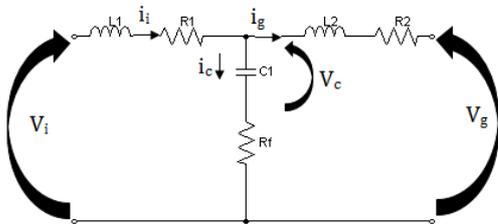


Figure 5: Modèle par phase du filtre LCL

La première considération de conception lors de la conception d'un filtre LCL est de respecter les exigences de la norme IEEE 519. Par conséquent, l'onduleur injecte le courant d'ondulation dans le réseau en raison de la commutation MLI, la fréquence de commutation de l'onduleur est réglée à 10 KHz à un niveau de puissance donné de (15 kW) et les IGBT sont utilisés comme dispositifs de commutation d'électroniques de puissance. Dans le cas où l'onduleur de réseau est un équipement de

production d'électricité, il est alors soumis à une limite de courant de 0,3%. Ce qui signifie que l'ondulation du courant à 10 KHz doit être inférieure à 0,3% du courant nominal [9].

Certains paramètres sont importants à prendre en compte lors de la sélection du filtre LCL, tels que la puissance nominale de l'onduleur, la fréquence du réseau et la fréquence de découpage [6]. L'organigramme qui résume la procédure de conception du filtre LCL est présenté dans [6] & [8].

Le tableau 2 ci-dessous montre les paramètres utilisés pour le calcul des composants du filtre, ces paramètres sont conçus pour gérer une puissance réactive et active d'environ 10KVA pour 15KW, les paramètres sont les valeurs nominales de l'étage de puissance de l'onduleur donc très importants pour la conception de l'onduleur.

Tableau 2: paramètres de conception du filtre LCL

| Paramètre                              | Intitulé  | Valeurs        |
|--|-----------|----------------|
| Valeur nominale de l'onduleur          | $P_n$     | 15 kw, 3 phase |
| Tension CA de la ligne                 | $V_{LL}$  | 400V           |
| Tension de phase CA                    | $V_{ph}$  | 230V           |
| Période                                | $T_s$     | 100 $\mu$ s    |
| DC - tension de liaison                | $V_{Bus}$ | 800V           |
| Fréquence du réseau                    | $f_g$     | 50 HZ          |
| Fréquence de commutation de l'onduleur | $f_{sw}$  | 10 KHZ         |
| Intervalle de modulation               | $m_a$     | $0 < m_a < 1$  |

En utilisant les paramètres fournis dans le tableau 2, l'impédance et la capacité de base sont calculées comme suit :

$$Z_b = \frac{V_{LL}^2}{P_n} = \frac{400^2}{15\,000} = 10.667 \, \Omega$$

$$C_b = \frac{1}{\omega_n Z_b} = \frac{1}{2\pi 50 \times 10.667} = 298.406 \, \mu F$$

$$\text{avec } \omega_n = 2\pi f$$

En minimisant les ondulations du courant de sortie du côté de l'onduleur, l'inductance est généralement de 10% à 20% du courant nominal. Et le choix de

l'inductance côté onduleur à 5% de l'impédance de base totale permet donc à l'ondulation de courant de répondre à l'exigence limite de 10% de la valeur du courant nominal.

Après avoir effectué les calculs, le résultat suivant est obtenu et présenté dans le tableau 3. Le processus de calcul est expliqué par [7] & [6].

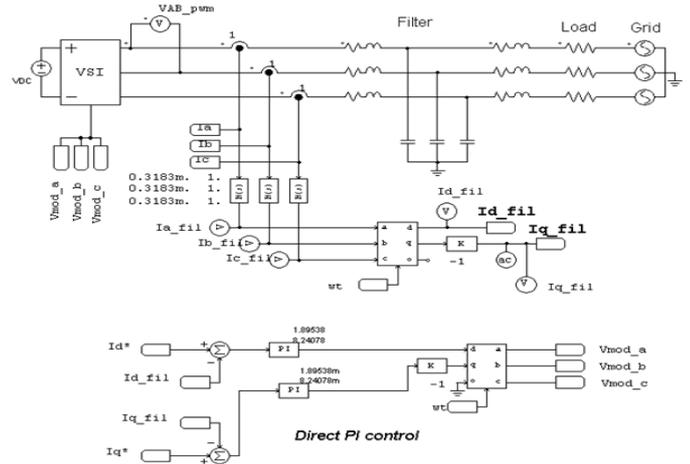
**Tableau 3:** Valeurs des paramètres de conception du filtre LCL.

| Paramètres                                     | Intitulé | Valeurs   |
|--|----------|-----------|
| Inductance du filtre LCL (côté onduleur)       | L1       | 1.698mH   |
| Capacité du filtre LCL                         | C1       | 14.9203µF |
| Inductance du filtre LCL (Côté réseau)         | L2       | 1.358mH   |
| La résistance de l'inducteur est approximative | r1       | 0.5Ω      |

**Control du circuit**

Le contrôle du circuit se fait selon la technique PLL, à partir des tensions de phase échantillonnées, on obtient les tensions de référence stationnaires VgA, VgB, VgC. Ces tensions sont ensuite transformées en tensions Vd et Vq (dans le cadre de référence synchronisé à la fréquence de service) en utilisant la transformation αβ et dq, plus d'informations sont trouvées dans [6]. Le circuit de la figure 6 présente comment l'ensemble du circuit est connecté à la commande PI directe.

La commande de l'onduleur connecté au réseau qui alimente le système avec le système de puissance active et réactive est mise en œuvre en utilisant l'approche de la technique de commande de courant. En utilisant la technique de contrôle du courant et le contrôle PI direct comme présenté sur la figure 6, le contrôle de l'onduleur connecté au réseau qui alimente le système en système de puissance active et réactive est mis en œuvre. Le bloc VSI représente l'onduleur connecté au réseau via le filtre et la charge (load).



**Figure 6:** Modèle de contrôle du courant par le contrôle PI direct

**Réponse en fréquence et fonction de transfert**

Une fonction de transfert importante dans laquelle la tension du réseau est considérée comme une source de tension idéale capable de déverser toutes les fréquences harmoniques est donnée par  $H_{LLCL} = i_g/v_i$  extraite par la fonction de transfert ci-dessus. Si la tension du réseau est supposée être une source de tension idéale et représente un court-circuit pour les fréquences harmoniques, donc pour l'analyse du filtre, Vg est réglé à  $V_g = 0$ . Ainsi par exemple dans le cas des onduleurs à régulation de courant, la fonction de transfert LCL en négligeant l'amortissement sera :

$$H_{LCL}(S) = \frac{1}{L_1 C_f L_2 S^3 + (L_1 + L_2)S} \tag{6}$$

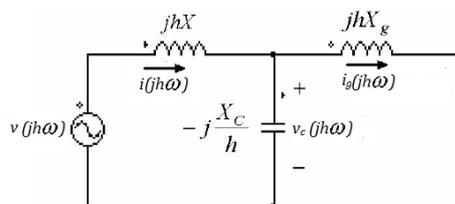
Après des manipulations de la fonction de transfert avec la résistance d'amortissement devient alors :

$$H_{LCL}(S) \text{ dampin} = \frac{C_f S R_f + 1}{L_1 C_f L_2 S^3 + (L_1 + L_2) C_f R_f S^2 + S(L_1 + L_2)} \tag{7}$$

Des informations détaillées sur la réponse en fréquence sont présentées par les auteurs [5] & [6].

## Les harmoniques

Les harmoniques de courant de sortie injectées au réseau électrique public par l'onduleur peuvent être diminuées avec un filtre LCL légitimement planifié par opposition à un filtre L ou LC de base. En gardant à l'esprit l'objectif final de présenter cela, la réponse en fréquence de ces filtres (LCL et L) est analysée. En acceptant des pièces sans perte et une bonne tension de grille sinusoïdale à la fréquence fondamentale, le modèle harmonique d'un filtre LCL peut être obtenu comme indiqué sur la figure 7 [10] & [11].



**Figure 7:** Modèle harmonique monophasé d'un filtre LCL pour  $h \neq 1$ .

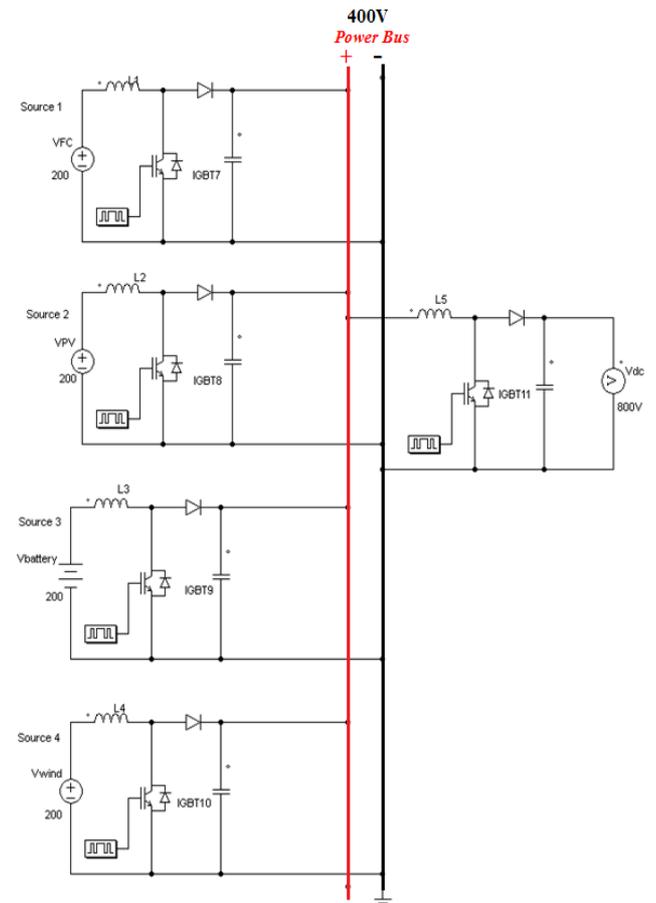
## II. Conceptions de circuits

La conception de l'interface d'électronique de puissance universelle pour le mode des systèmes de génération distribuée a été développée et simulée à l'aide de la plateforme de simulation logicielle Psim.

### A. Puissance d'alimentation

Le convertisseur d'entrée universel peut combiner plusieurs sources d'alimentation d'entrée où les niveaux de tension et / ou la capacité de puissance sont différents pour obtenir une tension de sortie régulée pour la charge. Par conséquent, le convertisseur peut contrôler le flux d'énergie entre les sources les unes avec les autres et la charge. Une entrée DC / AC universelle (sur le jeu de barre) d'alimentation remplace plusieurs nombres de connexions parallèles connectées à un

seul convertisseur. À partir du bus d'alimentation, comme le montre la figure 8, les sources d'entrée de 1 à N source peuvent être composées de tout type de combinaisons de sources d'énergie sont toutes connectées à un jeu de barre d'alimentation.



**Figure 8:** Convertisseur de tension d'entrée universel

### B. Connexion au réseau

Le réseau connecté est considéré comme idéal et la tension du circuit intermédiaire ( $V_{DC}$ ) sert de tension d'entrée au système onduleur connecté au réseau. Il a également été considéré comme une source de tension idéale provenant des systèmes PD, comme illustré à la Fig. 9.

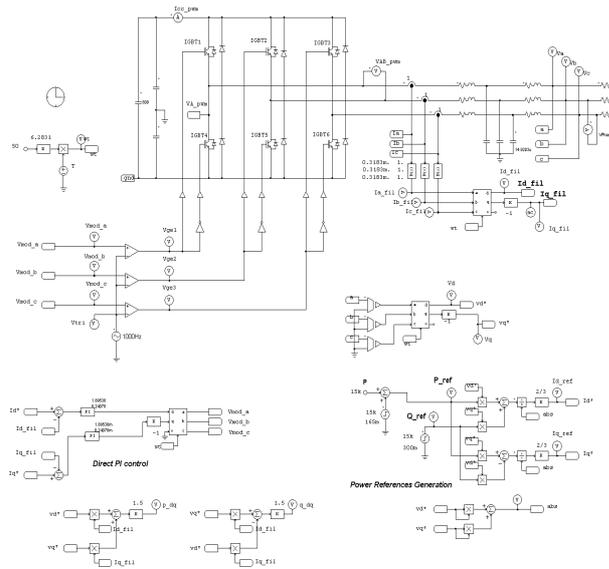


Figure 9: réseau connecté au modèle d'onduleur

### III. Resultats des Simulation

Différentes instances d'analyse et d'évaluation des performances du modèle d'onduleur connecté au réseau ont été réalisées. La tension de sortie et le courant de sortie de l'onduleur ainsi que la tension et la puissance côté réseau ont été étudiés. L'analyse harmonique du courant injecté dans le réseau a également été étudiée. En utilisant l'onduleur fonctionnant avec une impulsion avec modulation à une fréquence de commutation plus élevée d'environ 10 KHz par rapport à la fréquence nominale des signaux modulés, la conversion du courant continu en courant alternatif est effectuée. Par conséquent, les résultats mesurés de la tension de sortie et le courant de l'onduleur  $V_a$  et  $I_a$  sont présentés sur les figures 10 et 11.

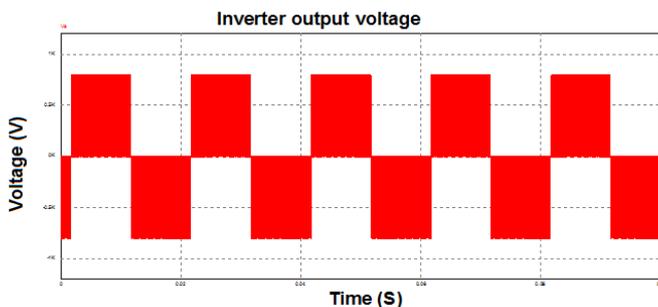


Figure 10 : tension de sortie de l'onduleur avant le filtre LCL

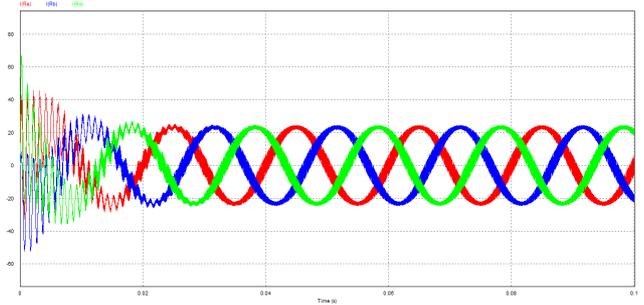


Figure 11: courant de sortie triphasé de l'onduleur avant le filtre LCL

Maintenant, en utilisant le filtre LCL, les harmoniques présentes dans la sortie de l'onduleur ont été filtrées. La comparaison de ces formes d'onde signifiant la tension et le courant de sortie simulés de l'onduleur avant le filtre LCL d'un côté et le résultat simulé de la tension et du courant de sortie après le filtre de l'autre côté prouvent clairement l'importance du filtre qui doit être interconnecté à partir de l'onduleur à un réseau électrique public afin de filtrer les harmoniques qui sont produites par l'onduleur.

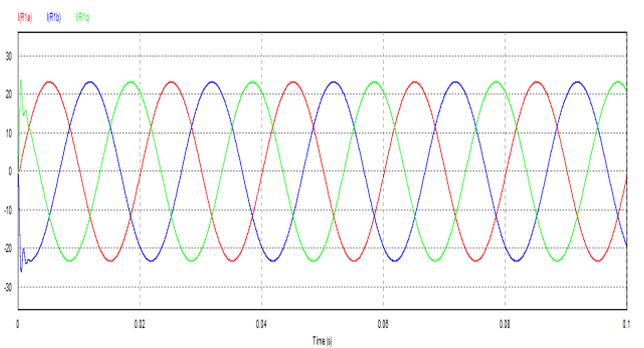
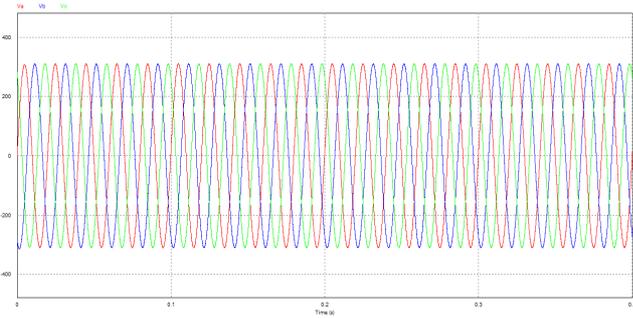
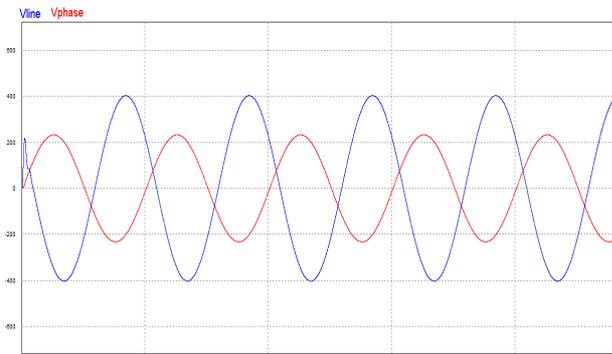


Figure 12 : courant de sortie de l'onduleur avant le filtre LCL

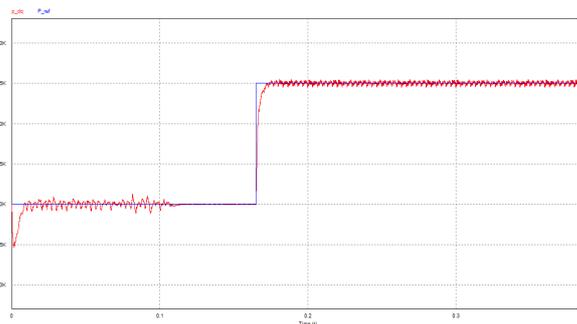


**Figure 12 :** Tension de sortie filtrée de l'onduleur triphasé connecté au réseau

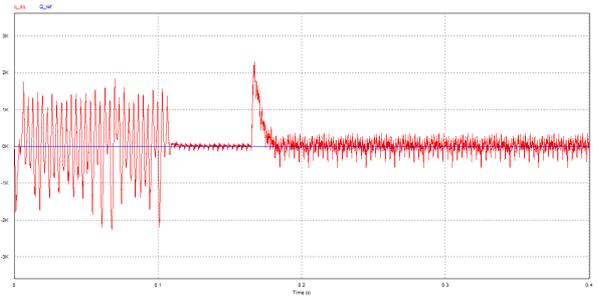


**Figure 13 :** Tension de sortie de l'onduleur filtrée  $V_{line}$  et  $V_{phase}$ .

Les figures 14 et 15 montrent le flux de puissance active (KW) et de puissance réactive (KVAR) injectée dans le réseau qui est réglé à zéro au début, ces puissances sont fournies par l'onduleur connecté au réseau.

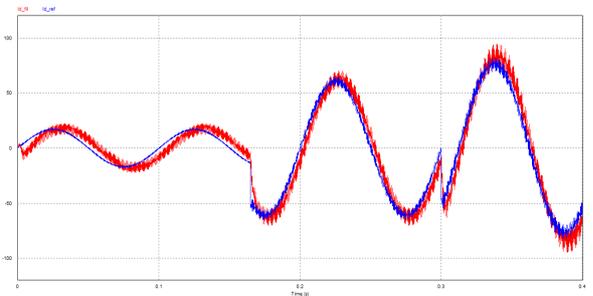


**Figure 14 :** Puissance active (KW) injectée dans le réseau



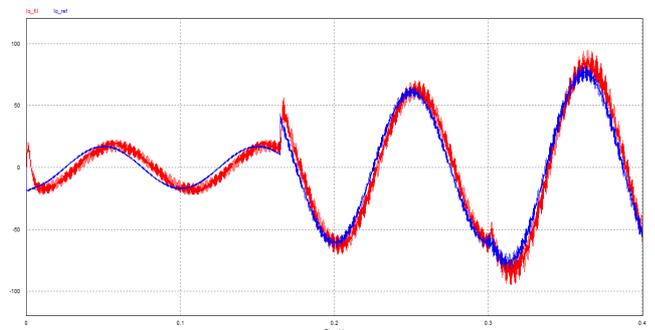
**Figure 15 :** Puissance réactive (KVAR) injectée sur le réseau

La réponse de la composante de courant d est représentée sur la figure 16. Affichage de la capacité du contrôleur pour l'axe d à suivre décrement la puissance définie.



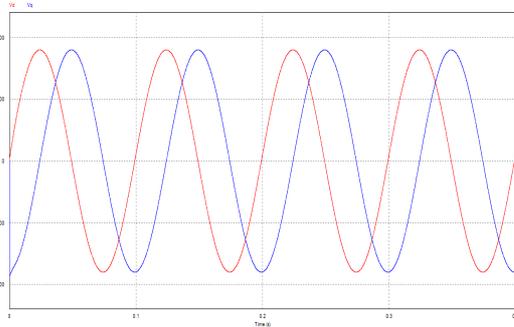
**Figure 16 :**  $i_d$  réponse actuelle à la commande de référence

La réponse de suivi de la composante de courant q a également été tracée sur la figure 17. Elle montre la capacité du contrôleur pour l'axe q de suivre décrement la puissance définie.

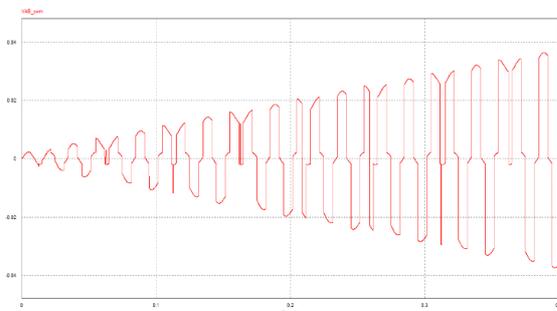


**Figure 17 :** réponse actuelle  $i_q$  à la commande de référence

La réponse de suivi de la tension mesurée d et q est tracée sur la figure 18. Les axes d et q de la tension de l'onduleur sont régulés.



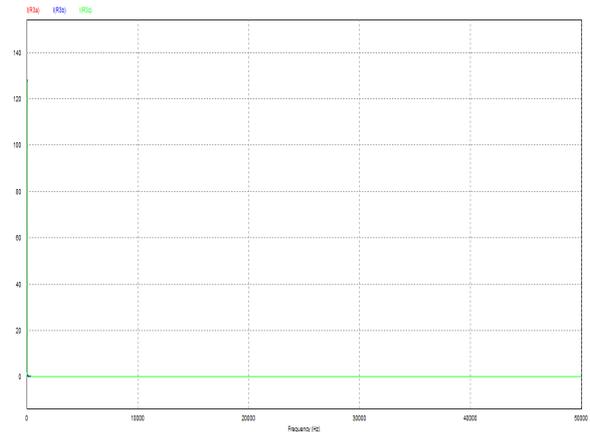
**Figure 17 :** la tension mesurée d et la q



**Figure 18 :** Modulation des signaux dirigés vers la MLI

Les figures 16 et 17 présentent le courant de suivi de référence de l'axe d et le courant de l'axe q en réponse aux références correspondantes, il est clairement observé la capacité du contrôleur pour l'axe q à suivre décentement la puissance définie.

À partir de la tension mesurée, les composants d et q sont également représentés sur la figure 18. Il est montré sur la figure 18 les signaux de modulation dirigés vers le générateur PWM.



**Figure 19 :** Analyse FFT (Fast fourier transform) du THD (distorsion harmonique totale) sur le courant triphasé injecté dans le réseau

La figure 19 présente l'analyse effectuée sur le courant injecté sur le réseau à une fréquence de 50HZ en effectuant l'analyse FFT (Transformée de Fourier Rapide) dans la plateforme logicielle de simulation, les résultats ci-dessus sont obtenus et on observe que les harmoniques sur le courant injecté sur le réseau sont très moins approximativement moins de 0,3% du courant nominal. L'analyse FFT convertit un signal en composantes spectrales individuelles et fournit ainsi des informations de fréquence sur le signal.

#### IV. CONCLUSION

L'objectif de cet article est de proposer une méthode de contrôle d'une centrale électrique d'entrée universelle pour la production d'électricité composée de sources conventionnelles et de sources d'énergie renouvelables ainsi qu'un élément de stockage. Le développement et la conception d'un onduleur triphasé connecté au réseau ont été étudiés. La recherche a pu atteindre ses objectifs en concevant, modélisant, analysant et simulant le circuit à l'aide du progiciel Psim qui a permis de vérifier les performances du système de contrôle proposé. Au lieu d'un filtre L, un filtre LCL a été implémenté dans un autre pour éliminer les harmoniques hautes

fréquences qui sont imposés par le courant côté réseau à la suite de la commutation MLI des IGBT. L'efficacité du filtre LCL a été prouvé car les harmoniques de courant faible injectés dans le réseau pour remplir complètement les normes IEEE. La capacité de la commande de courant à fonctionner en mode connecté au réseau a été présentée à travers la réponse du système sur la capacité de suivi de diverses références actives et réactives.

## V. References

1. Jiang, W. & Fahimi, B. 2011. *Multiport power electronic Interface—Concept, modeling, and design*. IEEE Transactions on Power Electronics, 26(7): 1890–1891.
2. Jenkins, N., Allan, R., Crossley, P., Jenkins, N., Allan, R., Crossley, P., Kirschen, D. & Strbac, G. 2000. *Embedded generation*. London: Institution of Engineering and Technology.
3. Kramer, W., Chakraborty, S., Kroposki, B. & Thomas, H. 2008. *Advanced power electronic interfaces for distributed energy systems; part 1: Systems and Topologies*. <http://www.nrel.gov/docs/fy08osti/42672.pdf> 20 January 2018.
4. Chen, Z. & Blaabjerg, F. 2009. *Wind farm—A power source in future power systems*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13(6-7): 1288–1300.
5. Mohan, N., Undeland, T.M., Robbins, W.P. & Undel, T.M. 2003. *Power electronics: Converters, applications and design, media enhanced*. 3rd ed. United States: John Wiley and Sons (WIE).
6. Reznik, A., Simoes, M.G., Al-Durra, A. & Mueeen, S.M. 2014b. *Filter design and performance analysis for grid-interconnected systems*. IEEE Transactions on Industry Applications, 50(2): 1225–1232.
7. Reznik, A. 2012. *Analysis and Design of a Smart-inverter for Renewable Energy Interconnection to the Grid* (Masters Dissertation, Colorado School of Mines).
8. Mataifa, H., Raji, A. & Tzoneva, R., 2015. *Grid-mode Controller Design for a Dual-mode Inverter Interface for a Distributed Generation Source*. In Industrial and Commercial Use of Energy (ICUE), International Conference on the IEEE., pp. 317–324.
9. Liu, Z., Wu, H., Liu, Y., Ji, J., Wu, W. & Blaabjerg, F. 2017. *Modelling of the modified-LLCL-filter-based single-phase grid-tied Aalborg inverter*. IET Power Electronics, 10(2): 151-155.
10. Liu, Z., Wu, H., Liu, Y., Ji, J., Wu, W. & Blaabjerg, F. 2017. *Modelling of the modified-LLCL-filter-based single-phase grid-tied Aalborg inverter*. IET Power Electronics, 10(2): 151-155.
11. Xu, J., Xie, S. & Zhang, B. 2016. *Stability Analysis and Improvement of the Capacitor Current Active Damping of the LCL Filters in Grid-Connected Applications*. Journal of Power Electronics, 16(4): 1565-1577.
12. Karshenas, H.R. & Saghafi, H. 2013. *Basic criteria in designing LCL filters for grid connected converters*. 1996–2000. <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=4078554> 4 August 2016.