



Diagnostic de Défauts dans le Système Photovoltaïque par les Réseaux de Neurones Artificiels

Mabrouk Khemliche, Salim Djeriou, Samia Latreche

Laboratoire d'Automatique, Département d'Electrotechnique, Université de Sétif
Cité Maabouda, Route de Bejaia, 19000 Sétif, Algérie

mabroukkhemliche@yahoo.fr, d_salim28@yahoo.fr, ksamia2002@yahoo.fr

Résumé— L'objectif de ce travail étant de diagnostiquer et de simuler l'association d'un panneau photovoltaïque avec un convertisseur DC/DC alimentant une machine asynchrone MAS à partir d'un convertisseur DC /AC. Nous détectons les défauts de l'association moteur-onduleur à une alimentation d'un générateur photovoltaïque. Partons de la modélisation de la machine dans le repère de Park puis l'association de la MAS-Onduleur de tension à l'état sain et en présence de défauts puis leurs résultats de simulation à l'aide du logiciel Matlab/Simulink. Le diagnostic du système photovoltaïque a été fait en prenant des défauts de la machine asynchrone et en appliquant la méthode des réseaux de neurones artificiels.

Mots clés— Système Photovoltaïque, Convertisseur, Réseaux de Neurones Artificiels, Machine Asynchrone, Diagnostic de Défauts.

En commençant par la modélisation de la machine dans le repère de Park puis l'association de la MAS-Onduleur de tension à l'état sain et en présence des défauts en les simulant à l'aide du logiciel Matlab.

Enfin, nous présentons le diagnostic de défauts dans le système photovoltaïque en tenant compte des types de défauts sur la machine asynchrone et ceci en appliquant la méthode des réseaux de neurones artificiels.

Par ailleurs, pour la mise en œuvre du réseau de neurones on a tout d'abord passé par plusieurs études paramétriques (choix du type de réseau, choix des entrées, choix des sorties...).

Ces études ont été précédées par l'opération d'acquisition des données, qui a pour but d'établir la base d'apprentissage de réseau.

I. INTRODUCTION

Le générateur photovoltaïque est le seul convertisseur direct pour transformer la lumière en énergie électrique [1], et offre la possibilité de produire de l'électricité directement à partir d'une ressource renouvelable et largement disponible. [2]

Le champ d'utilisation des systèmes photovoltaïques est large avec beaucoup de configurations autonomes et reliées au réseau de distribution.

Les applications de l'énergie solaire incluent le pompage d'eau, réfrigération, climatisation, sources lumineuses, véhicules électriques, centrales photovoltaïques, utilisation militaire, domaine spatial, et dans systèmes hybrides. [3]

L'algorithme de poursuite basé sur la commande directe sera l'objet d'une application sur les différents convertisseurs. [1], [4]

La nécessité de détecter et localiser une défaillance à cause des besoins de l'industrie et la complexité des systèmes fait appel à plusieurs techniques de diagnostic qui possèdent des caractéristiques différentes et qui permettent de résoudre les problèmes. [5], [6]

L'objectif de ce travail étant de diagnostiquer et de simuler l'association d'un panneau photovoltaïque avec un convertisseur DC/DC alimentant une machine asynchrone à partir d'un convertisseur DC/AC. [7], [9], [10]

II. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Le générateur photovoltaïque est un ensemble d'équipements mis en place pour exploiter l'énergie photovoltaïque afin de satisfaire les besoins en charge. [1]

En fonction de la puissance désirée, les modules peuvent être assemblés en panneaux pour constituer un champ photovoltaïque.

Relié au récepteur sans autres éléments, le panneau solaire fonctionne au fil du soleil, c'est-à-dire que la puissance électrique fournie au récepteur est fonction de la puissance d'ensoleillement. Elle est donc à son maximum lorsque le soleil est au zénith et est nulle la nuit.

Mais, très souvent, les besoins en électricité ne correspondent pas aux heures d'ensoleillement et nécessitent une intensité régulière (éclairage ou alimentation).

On équipe alors le système de batteries qui permettent de stocker l'électricité et de la restituer en temps voulu.

Un régulateur est alors indispensable pour protéger les batteries contre les surcharges ou les décharges profondes nocives à sa durée de vie.

Pour un certain nombre d'applications, le courant continu produit, par le générateur photovoltaïque, est convertit à l'aide d'un onduleur en courant alternatif.

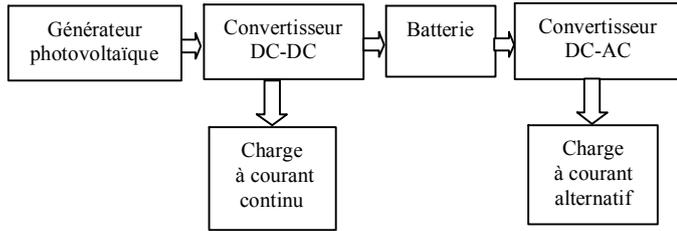


Fig. 1 Composantes principales d'une chaîne photovoltaïque

L'énergie photovoltaïque est la transformation directe de la lumière en électricité. A l'encontre de l'énergie solaire passive, qui utilise les éléments structuraux d'un bâtiment pour mieux le chauffer (ou le refroidir), et de l'énergie solaire active, qui utilise un caloporteur (liquide ou gazeux) pour transporter et stocker la chaleur du soleil (on pense au chauffe-eau), l'énergie photovoltaïque n'est pas une forme d'énergie thermique. Elle utilise une photopile pour transformer directement l'énergie solaire en électricité.

III. MODELISATION DE LA CHAÎNE PHOTOVOLTAÏQUE

A. Modèle d'une cellule photovoltaïque à une diode

Le choix du modèle à cinq paramètres, permet d'effectuer une analyse et une évaluation des performances du module photovoltaïque, les plus proches de la réalité. Ce modèle représente la cellule solaire comme source de courant qui modélise la conversion du flux lumineux en énergie électrique. La résistance montée en série R_s représente la résistance de contact et de connexion, une autre résistance en parallèle dite la résistance shunt R_p représente le courant de fuite. Une diode en parallèle qui modélise la jonction PN (figure 2) :

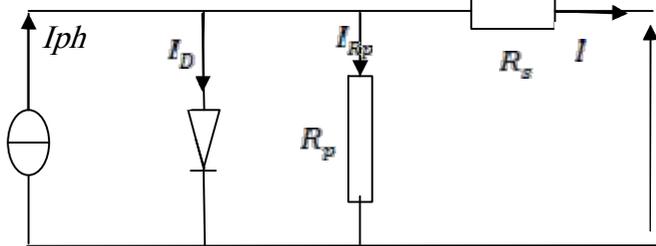


Fig. 2 Schéma équivalent de la cellule solaire à une diode

A partir du circuit équivalent de la figure I.4, on peut écrire :

$$I_{ph} = I_D + I + I_{R_p} \quad (1)$$

Le courant qui passe dans la résistance R_p est donné par :

$$I_{R_p} = \frac{V + IR_s}{R_p} \quad (2)$$

Le courant dans la diode est donné par :

$$I_D = I_s [e^{(V+IR_s)/nV_t} - 1] \quad (3)$$

avec I_s courant de saturation de la diode donné par :

$$I_s = K_1 T^3 e^{-E_g/KT} \quad (4)$$

Où :

$V_t = KT/q$ tension thermique à la température T .

q : charge de l'électron ($1.602 \times 10^{-19} C$)

K : constante de Boltzmann ($1.381 \times 10^{-23} J/K$)

K_1 : constante ($1.2 A/cm^2 K^3$)

n : facteur de non idéalité de la jonction

T : température effective de la cellule en degré Kelvin

E_g énergie de gap (1.12eV pour le silicium cristallin)

Donc l'expression de la caractéristique $I(V)$ est :

$$I = I_{ph} - I_s [e^{(V+IR_s)/nV_t} - 1] - (V+IR_s)/R_p \quad (5)$$

B. Modèle d'une cellule à deux diodes

La figure 3 présente le circuit équivalent de la cellule solaire à deux diodes. L'expression du courant basé sur ce modèle s'écrit :

$$I = I_{ph} - I_{s_1} [e^{(V+IR_s)/n_1 V_t} - 1] - I_{s_2} [e^{(V+IR_s)/n_2 V_t} - 1] - \frac{V+IR_s}{R_p} \quad (6)$$

Tels que : $I_{s_1} = K_1 T^3 e^{-\frac{E_g}{KT}}$ et $I_{s_2} = K_2 T^3 e^{-\frac{E_g}{KT}}$

Avec :

$$K_1 = 1.2 A/cm^2 K^3 \text{ et } K_2 = 2.9 A/cm^2 K^3$$

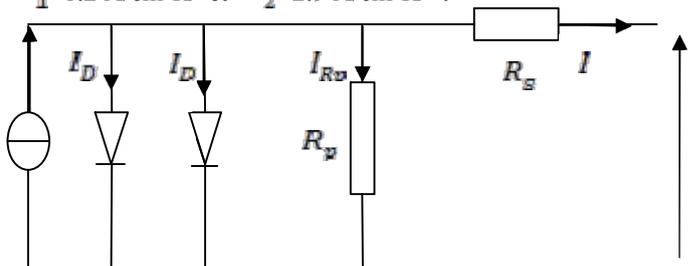


Fig. 3 Schéma équivalent de la cellule solaire à deux diodes

C. Développement du modèle mathématique du module PV

Les principales équations utilisées dans le modèle mathématique du module sont les suivantes [8] :

$$\begin{cases} I_M = n_p I \\ I_{ccM} = n_p I_{cc} \\ V_M = n_s V \\ V_{coM} = n_s V_{co} \\ I_{sM} = n_p I_s \end{cases} \quad (7)$$

Avec M : indice affecté au module.



n_s : nombre de cellules en série.

n_p : nombre de cellules en parallèle.

Ce qui donne pour un module :

$$I_M = I_{ccM} - I_{sM} \left[e^{\frac{(V_M + I_M R_{sM})}{n_s n_p V_T}} - 1 \right] \quad (8)$$

Avec :

$$R_{sM} = \frac{n_s}{n_p} R_s : \text{résistance série du module.}$$

En circuit ouvert $T = T_{ref}$ le courant I_{sM} peut s'écrire pour un module comme suit :

$$I_{sM} = \frac{I_{ccM}}{\left[\frac{(V_{ccM})}{e^{n_s n_p V_{Tref}} - 1} \right]} \quad (9)$$

Avec :

I_{sM} : courant de saturation référence du module.

I_{ccM} : courant de court circuit référence du module.

Pour généraliser la modélisation pour différents éclaircissements et températures, nous utilisons le modèle qui déplace la courbe de référence à de nouveaux emplacements.

La nouvelle valeur du courant de court circuit du module I_{ccM} pour une irradiation G et une température T données, est calculée selon l'équation suivante :

$$I_{ccM}(G, T) = I_{ccM} \frac{G}{1000} \left[1 + a(T - T_{ref}) \right] \quad (10)$$

Le courant de saturation I_{sM} dépend de la température. Sa valeur pour une température T donnée est calculée par :

$$I_{sM}(T) = I_{sM}(T_{ref}) \left(\frac{T}{T_{ref}} \right)^{\frac{a}{n}} e^{\left(\frac{-qE_g}{nk} \right) \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}} \right)} \quad (11)$$

D. Convertisseurs DC-DC

Il y a un plusieurs topologies des convertisseurs DC-DC. Ils sont classés par catégorie selon que la topologie isolée ou non isolée. Les topologies isolées emploient un transformateur d'isolement fonctionnant à haute fréquence, elles sont très employées souvent dans les alimentations à découpage. Les topologies les plus connues dans la majorité des applications sont le flyback, en demi-pont et en pont complet. Dans les applications photovoltaïques (PV), les systèmes de couplage avec le réseau électrique emploient souvent ces types de topologies quand l'isolement électrique est préféré pour des raisons de sûreté [9].

Les topologies non isolées ne comportent pas de transformateurs d'isolement. Elles sont généralement utilisées dans l'entraînement des moteurs à courant continu. Ces topologies sont encore classées en trois catégories :

- Abaisseurs (Buck);
- Elévateurs (Boost);
- Elévateurs - Abaisseurs (Buck-Boost).

La topologie Buck est employée pour les faibles tensions. Dans les applications PV, le convertisseur Buck est habituellement employé comme chargeur de batteries et dans des systèmes de pompage d'eau.

La topologie Boost est employée pour augmenter la tension. Les systèmes de production d'énergie emploient un convertisseur Boost pour augmenter la tension de sortie au niveau du service avant l'étage de l'onduleur. Puis, il y a des topologies capables d'augmenter et de diminuer la tension telles que le Buck-Boost, le Cuk, et le Sepic. Les convertisseurs DC-DC peuvent être vus comme des transformateurs DC-DC.

La figure 4 montre le schéma bloc du circuit du Buck alimentant une charge résistive R.

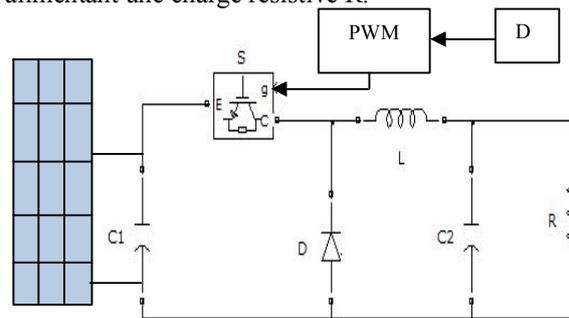


Fig. 4 Convertisseur DC-DC de type Buck

La figure 5 montre le circuit du Cuk alimentant une charge résistive R.

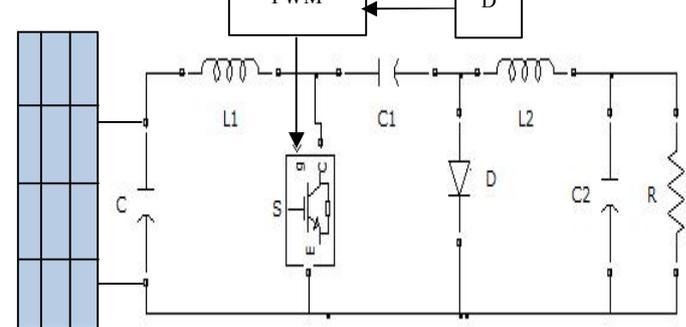


Fig. 5 Convertisseur DC-DC de type Cuk

La simulation du Buck a été réalisée en utilisant les paramètres suivants :

Tension d'entrée $V = 34.5 \text{ V}$

Courant d'entrée $I = 4.35 \text{ A}$

$L = 0.312 \text{ mH}$

$R = 6 \Omega$

$C_2 = 0.416 \mu\text{F}$

$f = 50 \text{ kHz}$

$D = 0.87$



Dans les convertisseurs DC-DC, la tension de sortie doit être régulée pour être constamment égale à une tension de référence, du fait que la tension d'alimentation V et les caractéristiques de la charge peuvent varier.

Une méthode pour réguler la tension de sortie $V_0(t)$ afin d'obtenir une tension moyenne V_{0moy} fixe consiste à ajuster en permanence le rapport cyclique de commande de l'interrupteur $D = \frac{t_{ON}}{T}$ sans modifier T .

Cette méthode qui consiste à faire varier la largeur des impulsions de commande de l'interrupteur est appelée méthode de Modulation de Largeur d'Impulsion (MLI) ou encore PWM (Pulse Width Modulation).

Le signal de contrôle de l'interrupteur S devra être élaboré par comparaison entre le rapport cyclique D et une tension en dents de scie V_{DS} comme suit :



Fig. 6 Principe du PWM

- Lorsque $D > V_{DS}$: $S = 1$, l'interrupteur S est commandé à la fermeture (état ON).
- Lorsque $D < V_{DS}$: $S = 0$, l'interrupteur S est commandé à l'ouverture (état OFF).

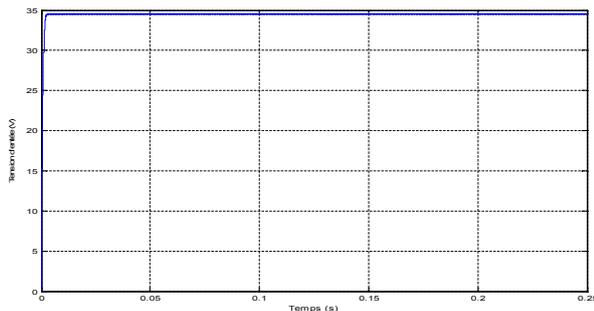


Fig. 7 Tension d'entrée du convertisseur Buck

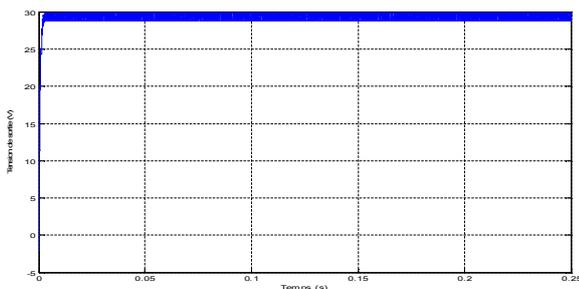


Fig. 8 Tension de sortie du convertisseur Buck

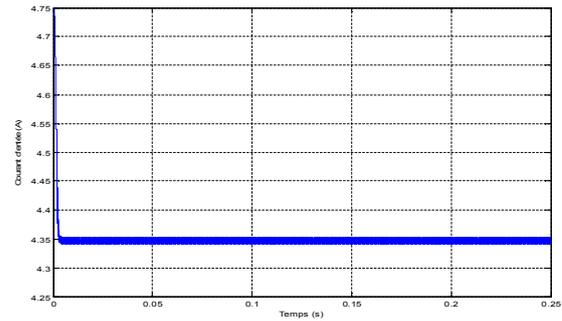


Fig. 9 Courant d'entrée du convertisseur Buck

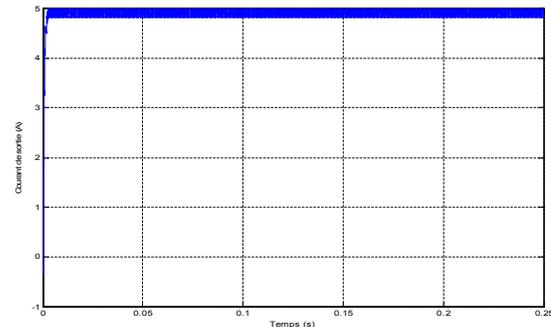


Fig. 10 Courant de sortie du convertisseur Buck

A partir des résultats de simulation illustrés sur les figures précédentes, on constate que la tension de sortie sur la figure (8) est inférieure à celle de l'entrée de la figure (9) ce qui est conforme avec la nature abaisseur du Buck. Notons bien que pour avoir une tension de sortie proche de la tension d'entrée, un rapport cyclique élevé est nécessaire. Cependant, les valeurs en régime permanent des tensions et des courants sont légèrement inférieures aux valeurs calculées théoriquement. Ceci est dû aux différentes pertes négligées lors du calcul.

La simulation du Cuk a été réalisée en utilisant les paramètres suivants :

Tension d'entrée $V = 34.5 V$

Courant d'entrée $I = 4.35 A$

$L_1 = 1.475 mH$

$L_2 = 1.283 mH$

$R = 6 \Omega$

$C_1 = 14.41 \mu F$

$C_2 = 0.416 \mu F$

$D = 0.465$

$f = 50 kHz$

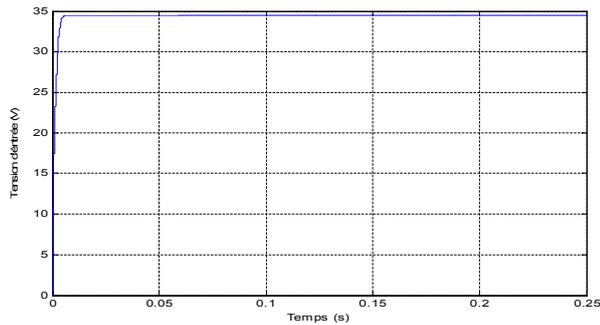


Fig. 11 Tension d'entrée du convertisseur Cuk

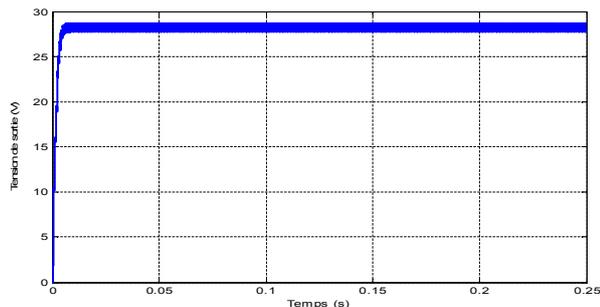


Fig. 12 Tension de sortie du convertisseur Cuk

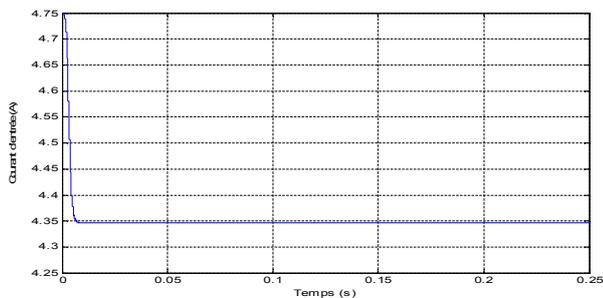


Fig. 13 Courant d'entrée du convertisseur Cuk

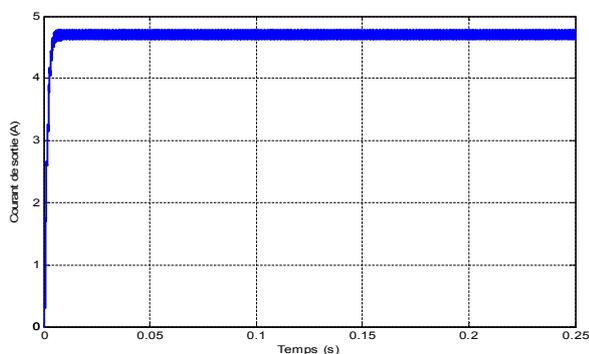


Fig. 14 Courant de sortie du convertisseur Cuk

La tension de sortie illustrée par la figure 12 est conforme à celle calculée théoriquement. La comparaison entre les figures 11 et 12, nous permet de constater que le rapport entre les tensions de sortie et d'entrée vérifie l'équation théorique qui relie les deux tensions. Ceci prouve le bon dimensionnement du convertisseur.

IV. POURSUITE DU POINT DE PUISSANCE MAXIMALE

La Simulations du MPPT avec une charge résistive. Le circuit comprend le module BP SX 150 S avec une irradiation $G=1000 W/m^2$ qui alimente un convertisseur DC-DC. Ce dernier est contrôlé par l'algorithme MPPT et alimente à son tour une charge résistive $R=6 \Omega$. Le MPPT utilisé est à base de contrôle direct de la sortie.

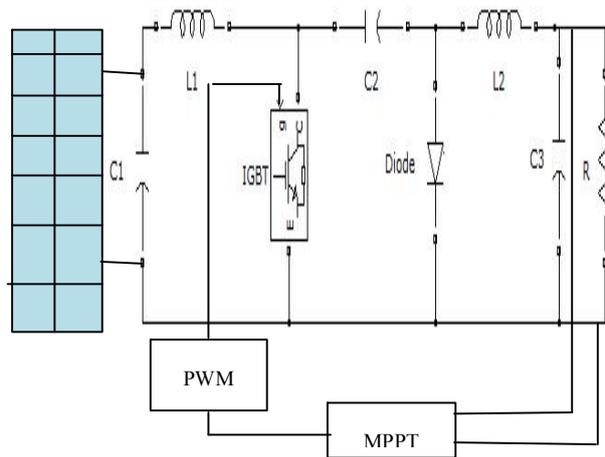


Fig. 15 Schéma du convertisseur Cuk contrôlé par MPPT

Les figures suivantes représentent les résultats de simulation de l'association panneau-convertisseur DC-DC pour $G=1000 W/m^2$ avec $T=25C^{\circ}$:

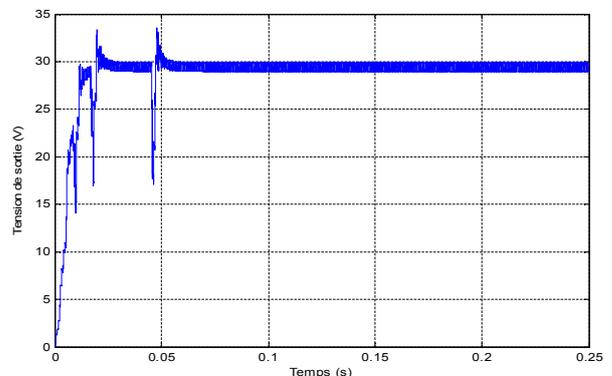


Fig. 16 Tension de sortie du convertisseur Cuk

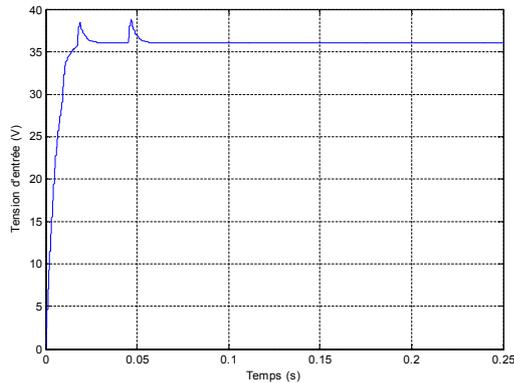


Fig. 17 Tension d'entrée du convertisseur Cuk

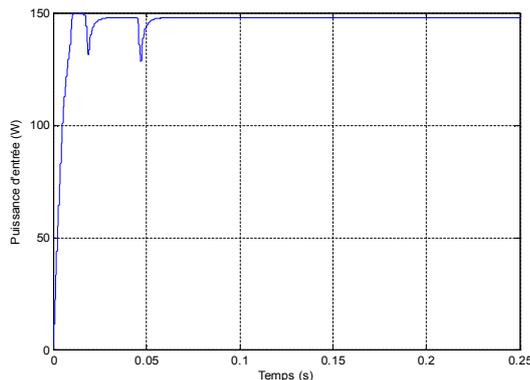


Fig. 18 Puissance d'entrée du convertisseur Cuk

D'après les résultats de simulation obtenus, on remarque que la poursuite du point de puissance maximale basée sur l'algorithme de commande directe de la sortie est performante soit du côté poursuite du point de puissance maximale du système photovoltaïque soit du côté temps de réponse. Les résultats de simulation montrent que les courants et les tensions sont très proches de leurs valeurs calculées théoriquement, ceci est dû à l'influence des pertes dans les composants de puissances non prisent en compte lors du dimensionnement des convertisseurs.

V. DIAGNOSTIC DE LA MACHINE ASYNCHRONE PAR LES RESEAUX DE NEURONES ARTIFICIELS

A. Construction du réseau de neurones

Pour construire le réseau, quatre taches principales doivent être réalisées :

La construction du bloc RNA, l'acquisition de données (base d'apprentissage), la classification des différents défauts, et le test du réseau.

Chaque neurone est connecté à l'ensemble des neurones de la couche suivante par des connexions dont les poids sont des nombres réels quelconques. On note $w_{x,y}$ le poids de la connexion entre les neurones x et y .

La figure (19) montre bien que le réseau est constitué de trois couches à savoir :

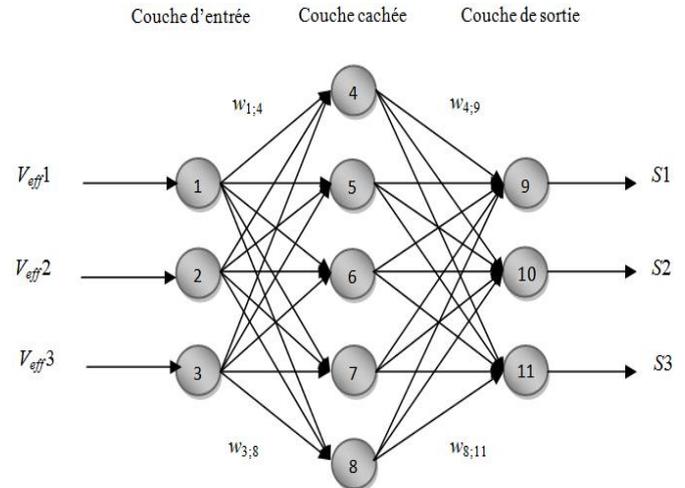


Fig. 19 Architecture du réseau neuronal proposé

- Une couche d'entrée composée de trois neurones, dont le rôle est de transmettre les valeurs des entrées qui correspondent aux variables (V_{eff1} , V_{eff2} et V_{eff3}) vers la couche suivante appelée couche cachée.
- Une couche cachée dotée de cinq neurones avec des fonctions d'activations choisies de type sigmoïde.
- Une couche de sortie composée de trois neurones, la sortie de chaque neurone soit 0 ou 1.

Les valeurs efficaces des tensions V_1 , V_2 et V_3 sont calculés par des schémas blocs sous Matlab/Simulink .

B. Acquisition des données (base d'apprentissage)

Avant la construction du bloc RNA, on doit tout d'abord accéder à l'apprentissage. Cette base peut se mettre sous forme d'un tableau (matrice). Ce dernier est constitué de vecteurs qui représentent la couche d'entrée du RNA, où chaque vecteur est constitué de 3 paramètres.

On construit une base de données très riches, qui possèdent beaucoup d'informations sur les différents types de défauts.

Pour cette phase on a réalisé les taches suivantes:

- la machine a été simulée en régime normal (état sain),
- la machine a été simulée en présence de défauts : coupure monophasée et coupure biphasée), puis nous avons pris les valeurs efficaces dans chaque cas y compris l'état sain.

En fait, pour passer à l'étape de classification nous disposons pour chacun des paramètres, 3 types de défauts y compris l'état sain (Tableau 1).



C. Classification des différents défauts

La classification des défauts se résume dans le tableau suivant :

TABLE I
CLASSIFICATION DES DIFFERENTS DEFAUTS

Catégorie	Type de défaut	Symbole	Code		
1	État sain	ES	0	0	0
2	Coupure monophasée 1	CM1	1	0	0
3	Coupure monophasée 2	CM2	0	1	0
4	Coupure monophasée 3	CM3	0	0	1
5	Coupure biphasée 1	CB1	1	1	0
7	Coupure biphasée 2	CB2	0	1	1
6	Coupure biphasée 3	CB3	1	0	1

D. Essais sur le réseau

On a effectué un apprentissage automatique à l'aide du logiciel Matlab jusqu'à l'obtention d'une erreur quadratique très petite (voir figures 20) on a obtenu la plus petite erreur après 56 itérations.

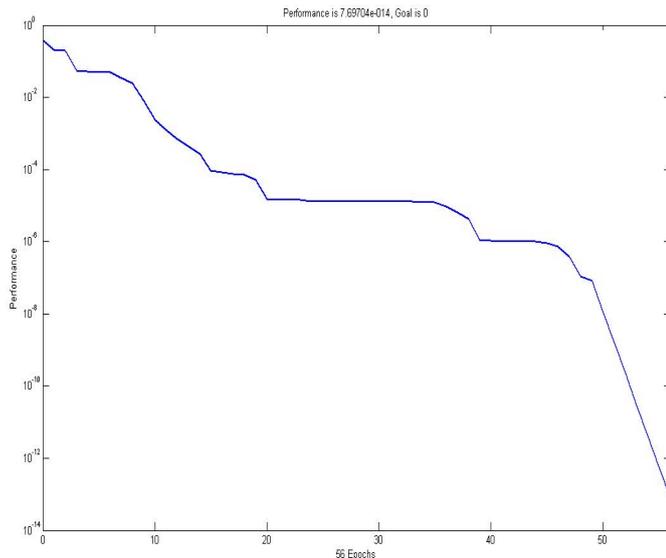


Fig. 20 Evaluation de l'erreur quadratique en fonction du nombre d'itérations d'apprentissage (en utilisant la méthode de rétro propagation de gradient).

La conception du RNA sous Simulink est représentée sur la figure 21.

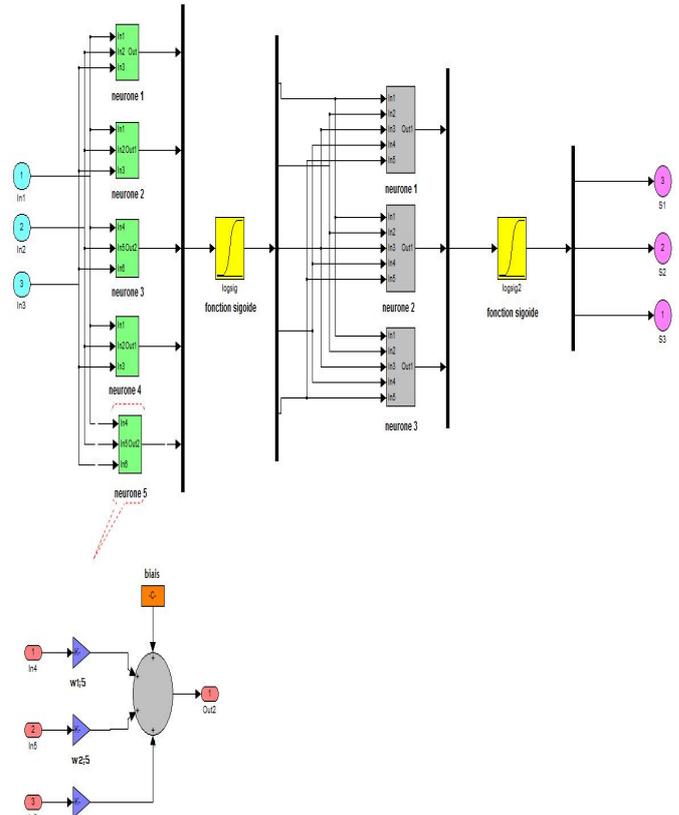


Fig. 21 Réseau de neurones artificiel fait par Simulink

Les tests de généralisation concernent la vérification des performances d'un réseau de neurones et sa capacité de généralisation. Une fois le réseau calculé, il faut toujours procéder à des tests afin de vérifier que notre réseau réagit correctement.

L'ordre d'application des différents défauts est donné par la table suivante :

TABLE III
ORDRE DE CLASSIFICATION DES DIFFERENTS DEFAUTS

Instants d'application	Type de défaut
à t=2s	Coupure monophasée 1
à t=4s	régime normal
à t=5s	Coupure monophasée 2
à t=7s	régime normal
à t=8s	Coupure monophasée 3
à t=10s	régime normal
à t=11s	Coupure biphasée 2

Cette fois nous avons appliqué des défauts à plusieurs instants sur le RNA (tableau II)



La figure (22) représente le résultat du test, donné par la réponse du courant statorique sur différents états de fonctionnement.

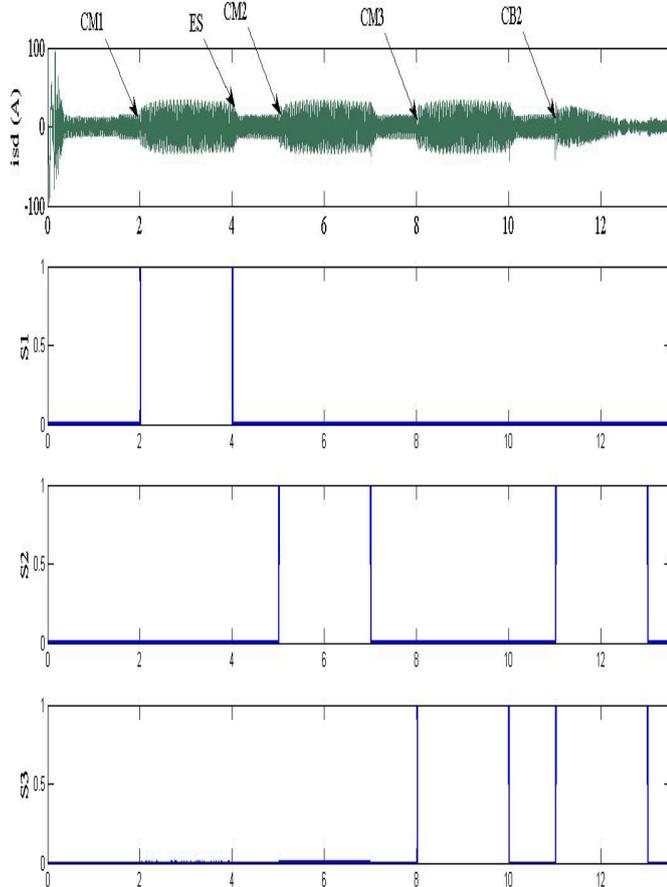


Fig. 22 Evolution du courant statorique sur différents états de fonctionnement (en appliquant des défauts biphasés).

VI. CONCLUSIONS

Nous avons modélisé, simulé et diagnostiqué un générateur photovoltaïque associé à un convertisseur DC-DC contrôlé par MPPT, destiné à entraîner une machine asynchrone à travers un convertisseur DC-AC. L'objectif était la simulation du fonctionnement du module et l'étude de l'influence de la température et l'irradiation sur sa caractéristique courant-tension. A l'issue des simulations effectuées, nous avons constaté une forte dépendance des performances du module photovoltaïque en fonction des conditions climatiques, particulièrement l'irradiation solaire et la température du module.

Afin d'extraire le maximum de puissance disponible aux bornes du module et de la transférer à la charge, la technique utilisée classiquement est d'utiliser un étage d'adaptation entre le module PV et la charge. Cet étage joue le rôle

d'interface entre les deux éléments en assurant à travers une action de contrôle, le transfert du maximum de puissance fournie par le module pour qu'elle soit la plus proche possible de la puissance maximale. La solution fréquemment adoptée est l'incorporation d'un convertisseur statique qui joue le rôle d'adaptateur source-charge commandé directement par la technique PWM.

Pour faire fonctionner un module photovoltaïque de façon à produire en permanence le maximum de sa puissance, le convertisseur DC-DC associé doit être contrôlé par un algorithme traqueur du point de puissance maximale. A cet effet, nous nous sommes intéressés particulièrement à l'application de l'algorithme basé sur la perturbation et l'observation dans le contrôle des convertisseurs DC-DC. Les résultats de simulation ont montré de bonnes performances en termes de poursuite de la puissance maximale fournie par le panneau photovoltaïque.

Ensuite, on a effectué la modélisation de l'ensemble moteur-convertisseur statique et leur commande afin de révéler le comportement de la machine vis-à-vis des différentes défaillances qui peuvent surgir sur cet ensemble.

L'application des réseaux de neurones artificiels pour la détection des défauts de la machine asynchrone à une alimentation photovoltaïque, cela a été réalisé grâce à la règle de rétro propagation comme règle d'apprentissage des RNA.

Pour une éventuelle continuité du présent travail, il est possible d'énumérer quelques perspectives :

- Exploitation de nouveaux algorithmes MPPT;
- Introduction d'autres types de convertisseurs DC-DC;
- Application dans les domaines de pompage et de production de l'énergie électrique.

REMERCIEMENTS

Les auteurs de ce travail tiennent à remercier les organisateurs de ce séminaire international sur les énergies nouvelles et renouvelables. Ce papier résume le travail de l'équipe surveillance des processus industriels du laboratoire d'automatique de Sétif – LAS dont les membres travaillent en collaboration avec LAGIS de Lille et SAAS de Bruxelles.

REFERENCES

- [1] J. Fadat, *Chaîne de conversion d'énergie photovoltaïque, Commande MPPT*, Revue 3EI n°43 Décembre 2005, ESIEE-Amiens France.
- [2] L. Protin et al, *Convertisseurs photovoltaïques: Technique de l'ingénieur, Traité Génie Electrique*, pp. 3-3600, 1992.
- [3] R. Jimmy et al., *Le pompage photovoltaïque*, Edition Multi mondes, 1999.
- [4] G. Sturtzer et al., *Modélisation et Commande des Moteurs Triphasés, Commande Vectorielle des Moteurs Synchrones, Commande Numérique par Contrôleurs DSP*, Edition Ellipses, Paris 2000.
- [5] J. P. Caron et al., *Modélisation et Commande de la Machine Asynchrone*, Edition Technip, Paris 1995.
- [6] R. Champagne, *Simulation en temps réel à l'aide de la représentation d'état: Application à un entraînement électrique basé sur une machine*



Le 2^{ème} Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables

The 2nd International Seminar on New and Renewable Energies

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,
Ghardaïa – Algérie 15, 16 et 17 Octobre 2012



- asynchrone*, Thèse de Doctorat de l'Ecole de Technologie Supérieure Université de Québec, Montréal, Canada, Juillet 2001.
- [7] D. Khodja et al., *Diagnostic en temps réel des défaillances d'un ensemble Moteur asynchrone – Convertisseur électronique en utilisant les réseaux de neurones artificiels*, Journal d'Electrotechnika, pp. 16-20, Moscou 12/2003
- [8] D. Khodja et al., *Torque Based Selection of ANN for Fault Diagnosis of Asynchronous Machine*, ID code FR72000, Venice, Italy 2010.
- [9] R. Isermann, *Model-Based Fault Detection and Diagnosis – Status and Applications*, IFAC Institute of Automatic Control, Darmstadt, Germany, 2004.
- [10] D. Khodja et al., *Diagnostic en temps réel des défaillances d'un ensemble Convertisseur Electronique – Machine Asynchrone par la comparaison de trios réseaux de neurones artificiels*, Revue des énergies renouvelables, ISSN 1112-2242, Proceeding for the first international conference on energy efficiency, 2003.