



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



Simulation et réalisation d'un contrôleur de batterie solaire à base de PIC16F876

M.S. Ait Cheikh¹, M. Chirk Belhadj¹, M. Bassaid¹, M. Becherif², C. Larbes¹

¹ Laboratoire des dispositifs de communication et de la conversion photovoltaïque (LDCCPV), Ecole nationale polytechnique, Algérie

Salah.ait-cheikh@enp.edu.dz, cherif.larbes@enp.edu.dz

² FC Lab FR CNRS 3539, Femto-ST UMR CNRS 6174, University of Technology of Belfort-Montbéliard, France
mohamed.becherif@utbm.fr

Résumé : l'accumulateur est un élément fondamental d'un système photovoltaïque. Il n'est pas concevable de réaliser une alimentation digne de ce nom à base de panneau solaire sans lui adjoindre une batterie tampon se substituant au panneau lorsque le soleil fait défaut. Les charges et décharges des batteries non contrôlées perturbent le bon fonctionnement de la batterie. Ces perturbations peuvent considérablement réduire la durée de vie et le bon fonctionnement de la batterie. Ce travail consiste à concevoir et à réaliser un contrôleur afin de maintenir une batterie d'accumulateurs à un état de charge élevé, sans la surcharger démesurément

Mots clés : accumulateur, photovoltaïque, régulation, contrôleur, MPPT, hacheur.

I. INTRODUCTION :

L'Algérie, de part sa situation géographique, bénéficie de conditions favorables à l'utilisation des énergies renouvelables, en particulier l'énergie solaire.

Une de ses applications est l'électrification rurale employant des systèmes photovoltaïques autonomes. Une autre utilisation de ce type de système couvre un domaine d'application très large: télécommunication, signalisation terrestre (routière), pompage. Ces systèmes utilisent en général des batteries d'accumulateurs qui stockent l'excédent d'électricité produite puis le restituent en cas de besoin pour assurer le bon fonctionnement quand l'énergie solaire n'est pas suffisante ou disponible. Le besoin stockage d'énergie, qui est alors nécessaire, varie avec l'application. De plus, la batterie doit pouvoir répondre aux exigences d'une charge sur une période de plusieurs jours. Des contrôleurs de charge et de décharge sont alors requis pour limiter la profondeur de la décharge, limiter le courant de charge et empêcher les surcharges tout en utilisant l'énergie solaire d'une manière optimale quand celle-ci est disponible par la recherche du point de puissance maximale. En raison de leur faible coût et de leur simplicité de mise en œuvre, les batteries au plomb ont été sélectionnées dans ce travail. Les possibilités d'énergie d'une batterie dépendent de paramètres tels

que la composition matérielle et la géométrie ainsi que de paramètres d'emploi tels que le taux de décharge (courant de charge), température, âge, et tension de fin.

Pour les batteries au plomb, le régime de charge peut avoir un impact significatif sur la durée de vie. Un système photovoltaïque ne peut en général pas garantir un cycle optimal de charge et de décharge, ainsi un régulateur de charge est nécessaire car il devra pouvoir s'assurer que le régime de charge est le meilleur possible qui puisse être achevé. Cette commande est alors appliquée à travers l'implémentation d'un algorithme de commande sur un PIC16F876.

Ce travail constitue une contribution à la réalisation d'un régulateur qui permet le contrôle continu de l'état de charge d'une batterie en temps réel sur un PIC.

II. BATTERIES DE STOCKAGE

Il existe plusieurs types d'accumulateurs électrochimiques au (Pb, Ni-Cd, Li-ion,...). Toutefois les plus anciens et les plus couramment utilisés sont ceux réalisés au plomb et au nickel cadmium. Dans le domaine solaire, les accumulateurs au plomb sont les plus utilisés car ils peuvent résister à de nombreux cycles de charge et de décharge sans être endommagés.

Caractéristiques électriques des batteries d'accumulateurs :

Les caractéristiques des batteries font l'objet de beaucoup d'études [6-11] et disposent d'une terminologie qu'il est important de définir afin d'éviter des confusions.

1. Capacité standard d'un accumulateur : le temps (en heures) pendant lequel l'accumulateur peut délivrer une certaine intensité de courant avant d'être déchargé [Ah]

2. Taux de charge/décharge : le rapport entre la capacité nominale de la batterie et le temps de charge ou de décharge exprimé en heures [C/h]



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



3. État de charge : la quantité de charge qui peut être restituée par rapport à la capacité à pleine charge [%]

4. Cycle profond : dans le domaine solaire, on utilise des batteries dite à «Cycle Profond» en anglais «*Deep-Cycle*» car elles peuvent être déchargées à plus de 50% de la capacité nominale.

5. Tension de limite de décharge V_{LVD} (*Low Voltage Load Disconnect*): Il s'agit de la tension minimale V_{min} , que la batterie ne devra pas aller en deçà, afin d'éviter que celle-ci ne soit endommagée.

6. Tension de régulation VR : les constructeurs des batteries définissent une tension de régulation VR inférieure à la tension de gazéification. Cette tension est la valeur maximale que le régulateur permettra à la batterie d'atteindre à une température donnée. Elle peut être dépassée légèrement en fin de charge.

Pendant la charge :

Le sulfate de plomb $PbSO_4$ formé au niveau des deux électrodes se convertit au PbO_2 (électrode positive) et au Pb (électrode négative) et les ions sulfate retournent dans la solution pour former l'acide sulfurique. Pendant cette phase, la concentration de l'acide augmente et la tension de la batterie V_{bat} croît également avec le temps. En fin de charge, quand la tension de la batterie atteint la « tension de gazéification », il y a lieu de limiter le courant de charge pour maintenir la tension de la batterie inférieure à la tension V_R (point « M » (2.4 V/Cell)), (figure 1.a).

Pendant la décharge :

Quand la batterie se décharge, les matériaux actifs : le dioxyde de plomb au niveau de l'électrode positive et le plomb spongieux au niveau de l'électrode négative réagissent avec l'acide sulfurique pour former du sulfate de plomb $PbSO_4$ et de l'eau H_2O .

Pendant cette phase, la concentration de l'acide décroît et la tension de la batterie V_{bat} décroît également avec le temps. Lorsque cette valeur décroît jusqu'à la valeur, V_{LVD} (point « N » (1,8V/Cell)), (figure 1.b), du sulfate de plomb $PbSO_4$ se formera sur les plaques. Ce phénomène aura comme conséquences la sulfatation de l'accumulateur qui entraîne une perte de capacité, et le vieillissement de la batterie.

III. CONCEPTION DU REGULATEUR DE CHARGE

Le fonctionnement d'un régulateur série peut être réalisé selon les méthodes suivantes:

1.interruption série «*Series-Interrupting-Design*» où le régulateur déconnecte complètement la batterie du

panneau photovoltaïque si sa tension atteint la tension de régulation V_R puis il la reconnecte si sa tension diminue à la valeur V_{ARV} . [1], [4]

2. limitation linéaire du courant de charge «*Series-Linear-Design*» afin de maintenir la tension de la batterie à la valeur V_R .

3. technique MLI «*Series-Interrupting, PWM Design*». Cette technique est caractérisée par la présence d'un élément de puissance entre le panneau photovoltaïque et la batterie, cet élément de puissance s'ouvre et se ferme par un signal de commande MLI «*Modulation à Largeur d'Impulsion*» d'une fréquence constante et d'un rapport cyclique variable. Cette technique de commande hache le courant généré par le panneau photovoltaïque en impulsions afin de réguler la quantité de charge dans la batterie. Si la tension de la batterie augmente, la largeur d'impulsion diminue, et le courant de charge diminue également. [4].

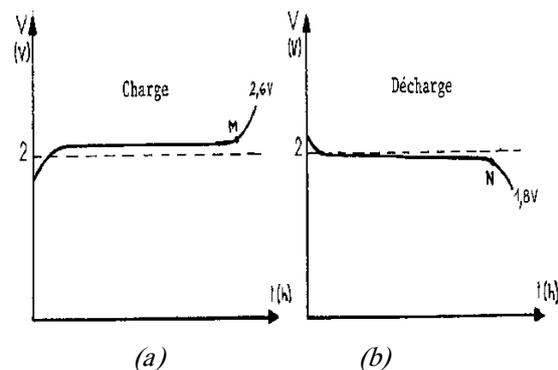


Fig 1 Allure du processus de charge et de décharge d'une batterie au plomb.

Comme un système PV comporte un élément de puissance, c'est la technique MLI qui sera adoptée. La conséquence de ceci fait que le régulateur de charge choisi est celui qui est placé en série avec le champ de panneaux (figure2).

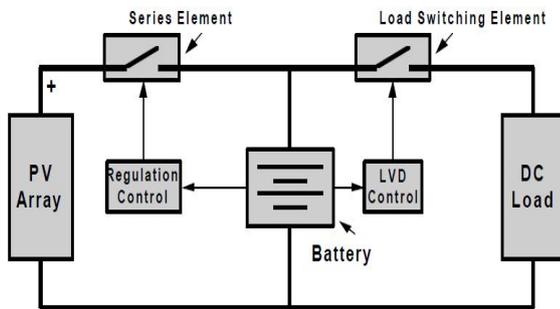


Fig 2 Conception d'un régulateur série

IV. CHOIX DE L'ALGORITHME DE CHARGE

Avant de procéder à la charge d'une batterie, il est nécessaire de préciser son type, la façon de sa décharge, le temps nécessaire pour sa charge, sa tension nominale et sa température extrême de fonctionnement.

En pratique, on trouve plusieurs méthodes pour charger les batteries au plomb; les plus courantes sont :

1. Charge à tension constante.
2. Charge à courant constant.

Pour aboutir aux meilleures performances, nous avons combiné ces deux méthodes dans un seul algorithme dit : « Algorithme de charge en trois étapes » où une phase de charge à courant constant est suivie par deux phases de charge à tension constante, (figure 3) [3]:

- Charge normale : la tension aux bornes de la batterie V_{bat} augmente graduellement. Ce mode de charge assure une récupération rapide de la capacité de la batterie. [3] Quand la tension V_{bat} atteint la valeur V_R le processus de charge passe au deuxième mode de charge.
- Égalisation : la tension de la batterie doit être maintenue à la valeur de régulation V_R afin de compléter la charge de la batterie et éviter la surcharge.
- Fin de charge : Cette étape est une étape d'entretien où la tension de la batterie est réduite à un niveau juste suffisant V_f afin de compenser l'autodécharge des cellules. Et le courant de charge devenu très faible et presque constant, c'est l'état de pleine charge.

Quand la tension V_{bat} atteint la valeur V_{LVD} , le contrôleur doit déconnecter toute charge reliée à la batterie afin de protéger la batterie d'une décharge profonde.

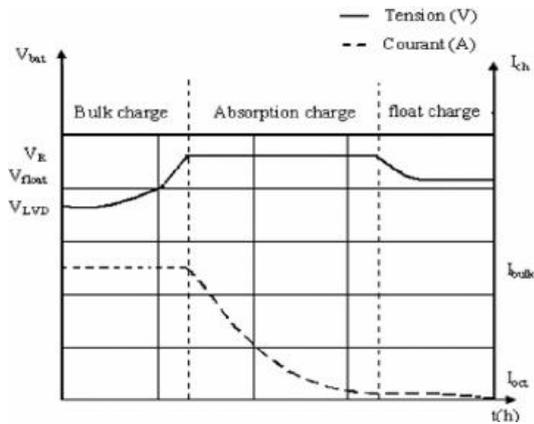


Fig 3 Algorithme de charge en trois étapes [3]

En plus de la régulation de la charge de la batterie, nous avons intégré au régulateur une fonctionnalité d'adaptation de la poursuite du point de puissance maximale pour panneaux solaires de notre système. Ainsi, notre régulateur intégrera deux fonctions : l'optimisation de la conversion d'énergie et la rapidité de charge des batteries.

L'algorithme implémenté pour la poursuite du point de puissance maximale est la méthode « IncCond » (Incremental de Conductance). À intervalles de temps réguliers, le contrôleur variera le rapport cyclique α , du convertisseur, d'une petite quantité. Cela est réalisé en prenant les mesures de deux points de fonctionnement (V et I) pour calculer la pente (figure 4). Puis, on incrémente ou décrémente le rapport cyclique en fonction du résultat obtenu jusqu'à ce que l'on atteigne le point de puissance maximale (MPP). [5]

$$dP/dV = 0, \text{ sur le MPP}$$

$$dP/dV < 0, \text{ à droite}$$

$$dP/dV > 0, \text{ à gauche}$$

$$\text{Et puisque : } dP/dV = d(IV)/dV = I+V dI/dV \approx I+V \Delta I/\Delta V$$

$$\text{Donc : } \Delta I/\Delta V = -I/V, \text{ sur le MPP}$$

$$\Delta I/\Delta V < -I/V, \text{ à droite}$$

$$\Delta I/\Delta V > -I/V, \text{ à gauche}$$

V. COMMANDE DU SYSTEME

L'évolution continue de l'électronique de puissance, plus particulièrement les dispositifs de conversion tels que les convertisseurs DC/DC, et les convertisseurs DC/AC a ouvert de nouveaux

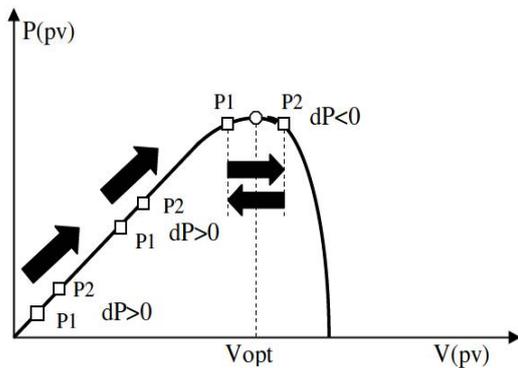


Fig 4 Principe de la MPPT

horizons qui ont permis la conception de nouveaux schémas plus sophistiqués et moins encombrants. Cela est lié au fait que le rendement de ces dispositifs électroniques influence directement le rendement et le coût global du système photovoltaïque dans son ensemble.

Vu leurs fiabilités, leurs faibles encombrements et leurs capacités d'être flashés facilement et rapidement pour mettre à jour le programme, l'emploi de microcontrôleurs programmables comme cerveau du contrôleur s'est imposé.

Le panneau photovoltaïque délivre une puissance au convertisseur Buck qui joue le rôle d'un abaisseur de tension par l'intermédiaire de son rapport cyclique. Les capteurs reliés aux circuits d'interfaçage communiquent au PIC les mesures des tensions et courants de la batterie et du panneau (pour fixer le MPP) ainsi que la température de la batterie afin de prendre en compte les seuils de charge. Le PIC va alors générer le signal de commande pour le driver du MOSFET qui va générer à son tour le signal MLI de commande, c'est-à-dire la valeur du rapport cyclique

$$\alpha = \frac{T_{on}}{T} = \frac{V_{bat}}{V_{pv}}$$

variable α ,

avec une amplitude plus importante et qui va contrôler la charge de la batterie. Lorsque la batterie sera déchargée, un signal sera généré, par l'algorithme de commande, implémenté dans le PIC, pour déconnecter la charge du système, figure 5.

Le PIC mesure la tension de la batterie V_{bat} à travers son entrée puis il la compare à la tension V_{LVD} :

- $V_{bat} > V_{LVD}$: La décharge de la batterie est permise.
- $V_{bat} \leq V_{LVD}$: La décharge de la batterie n'est plus permise et la charge est déconnectée

Le courant de charge I_{bat} est lui aussi acquis par le biais d'une autre entrée.

Si $V_{pan} = 0$ (évalué par le PIC) : le panneau est déconnecté de la batterie.

La mesure de la température sert, quand à elle, à fixer les différents seuils de charge de la batterie selon les paramètres du constructeur.

La figure 6 résume la structure du programme implémenté sur le PIC.

La carte développée se compose principalement d'un :

7. Bloc de puissance : qui assure le transfert et la conversion de la puissance. Ce circuit permet de contrôler la tension de la batterie et de varier le courant de charge, figure 7.
8. Circuits de commande constitué du driver des MOSFETS et deux amplificateurs d'instrumentation qui servent à mesurer les courants du panneau et de la batterie, figure 8
9. Microcontrôleur PIC16F876 : qui va traiter toutes les données relevées et commander le système à l'aide du programme implémenté, figure 9.

On y trouve aussi d'autres circuits comme le bloc d'alimentation et le capteur de température, (figure 10).

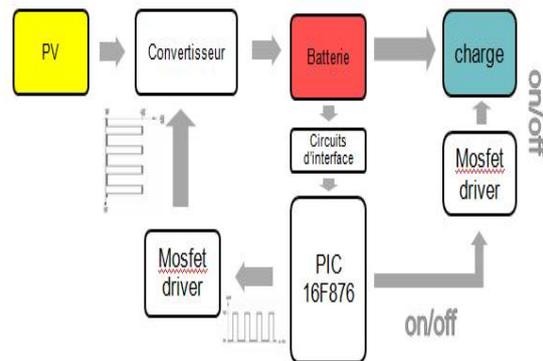


Fig 5 Fonctionnement du système avec contrôleur

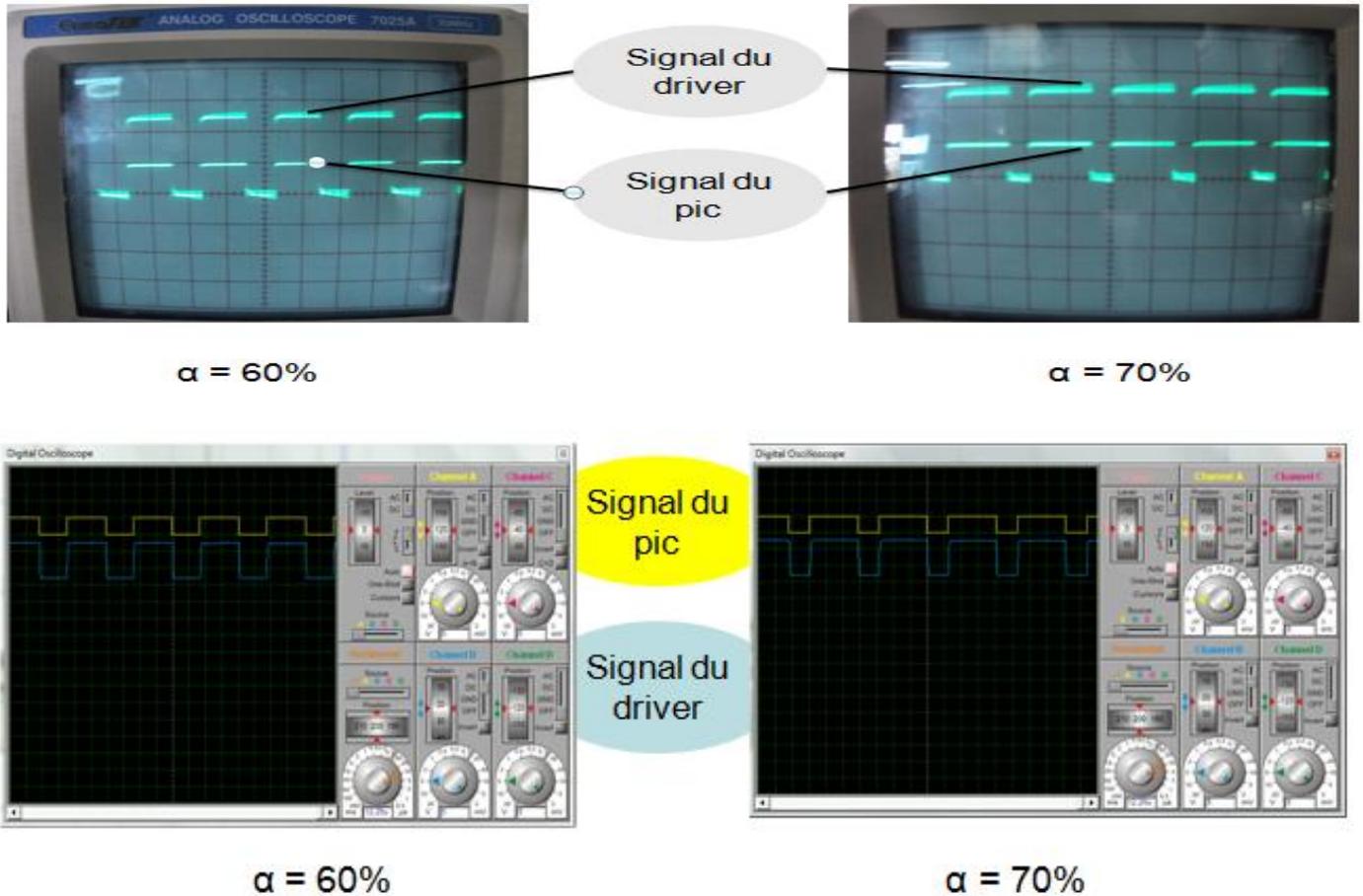


Fig. 11 Visualisation des résultats et simulation avec Proteus

RÉFÉRENCES

[1]: James P. Dunlop, P.E. « Batteries and Charge Control In Stand-Alone Photovoltaic Systems » Fundamentals and Application, Florida Solar Energy Centre, January 15, 1997.

[2]: Department of energy Handbook 1084-95 « Primer on lead Acid storage batteries » September 1995.

[3]: Laszlo Balogh « Implementing Multi-State Charge Algorithm with the UC3 909 Switch mode Lead-Acid Battery Charger Controller », U-155 Application Note, Unitorde Product, Texas instruments Incorporated, 1999, 30pages.

[4]: Eric P. Usher and Michael M.D. Ross «Recommended practices for charge controllers» Report IEA PVPS T3-05, 1998.

[5]: ESRAM Trishan, Chapman Patrick L. « Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques», Grainger Center for Electric Machinery and Electromechanics, University of Illinois at Urbana-Champaign, USA, 2005, 11pages.

[6]: M. Becherif, M. Y. Ayad, A. Henni and A. Aboubou, "Solar panel and battery for street lighting", Journal of Hydrocarbons Mines and Environmental Research, ISSN: 2107-6510, Vol. 2, Issue 1, pp: 52-58, June 2011.

[7]: M.S. AïtCheikh, B. Hadj Aïssa, A. Malek and M. Becherif, "Mise au point d'une régulation floue pour serre agricole à énergie solaire". Revue des Energies Renouvelables, Vol. 13, N_3, pp. 421-443, 2010.

[8]: M. Becherif, M.Y. Ayad, D. Hissel and R. Mkahel, "Design and sizing of a stand-alone recharging point for battery electrical vehicles using photovoltaic energy", Vehicle Power and Propulsion Conference, IEEEVPPC'11, Chicago, USA, 2011.

[9]: M. Becherif, M.Y. Ayad and D. Hissel, "Modelling and control study of two hybrid structures for street lighting", 20th IEEE-ISIE International Symposium on Industrial Electronics, pp : 2215-2221, Gdansk, Poland, 2011.

[10]: M. Becherif, M.Y. Ayad, A. Henni, M. Wack and A. Aboubou, "Hybridization of fuel cell, solar panel and batteries on the DC link for street lighting application", IEEE-IECON Phoenix, pp.2795-2802, USA, 2010.

[11]: M. Becherif, M.Y. Ayad, and M. Wack, "Control study of Fuel Cell, Batteries and Solar Hybridization Power Sources", IEEE-IAS, Industry Applications Society Annual Meeting, pp.1-8, Houston, Texas, USA, 2010.