

Modèle de Vieillessement des Batteries Plomb-Acide dans les Systèmes PV

N. Achaïbou¹, A. Malek¹ et N. Bacha²

¹ Centre de Développement des Energies Renouvelables, B.P. 62, Route de l'Observatoire, Bouzaréah, Alger

² Institut de Mécanique, Université de Blida, B.P. 270, Route de Soumaa, Blida

Résumé – Dans la simulation des systèmes PV autonomes, les pertes de capacité du système de stockage dues aux effets de vieillissement ne sont généralement pas prises en compte. Par conséquent l'évaluation de l'ensemble des données de la simulation du système n'est pas possible si on n'a pas des informations sur la durée de vie de la batterie, ainsi le coût du système n'est pas valide.

Un modèle simplifié de vieillissement de la batterie au plomb dans un système PV sera donné dans cet article. Ce modèle consiste à la détermination de la relation liant le processus de vieillissement à la tension externe aux bornes de la batterie, ainsi que le nombre de cycles durant la durée de vie de cette dernière.

Le modèle de vieillissement de la batterie est alors appliquée pour simuler des systèmes de différentes constructions et dans n'importe quelles conditions d'irradiation.

La formulation de la relation entre la durée de vie de la batterie en fonction de la dimension du Système et de l'irradiation est également donnée.

Abstract – Up to now into PV-systems sizing procedures we do not consider storage capacity losses resulting from battery ageing effects. Battery lifetime in a photovoltaic system is important in determining life-cycle costs and servicing requirements.

In this paper we present a model, which describes the premature ageing of Pb-batteries operated in PV-systems. The model takes into account ageing process (corrosion of the positive grid), external battery voltage level and cycles of lifetime. A formalized relationship representing the battery lifetime as a function of system size and irradiance is given.

Mots clés : Design des systèmes PV - Batterie Pb - Corrosion des plaques, Vieillessement.

1. INTRODUCTION

La production d'énergie par les systèmes photovoltaïques est très fluctuante et dépend énormément des conditions météorologiques. C'est pourquoi, il faudra penser à stocker cette énergie. Les accumulateurs électrochimiques permettent de stocker sous forme chimique l'énergie électrique produite par le générateur PV et de la restituer sous forme d'électricité selon des réactions réversibles. Le taux de variation des ces réactions chimiques varie avec :

- l'état de charge,
- la capacité de stockage,
- le régime de charge et de décharge,
- la température ambiante,
- le temps de vieillissement de la batterie.

Dans le design et la simulation des systèmes photovoltaïques, la batterie d'accumulateurs pose de multiples problèmes. Pour décrire le comportement dynamique d'une batterie, plusieurs modèles ont été exposés dans la littérature. A l'issue de ce travail, nous disposons d'un modèle mathématique simplifié, simulant le comportement dynamique d'une batterie au plomb-acide dans un système photovoltaïque autonome. Ce modèle prend en considération la capacité de stockage de la batterie, son auto-décharge, sa résistance interne, la surcharge, la durée de vie, ainsi que la température du milieu environnant.

Dans cet article, un modèle de la durée de vie des batteries est présenté pour le design des systèmes PV, lequel utilise des données réelles de fonctionnement du système.

2. DUREE DE VIE DES BATTERIES

La durée de vie d'un accumulateur est directement liée à leurs conditions d'utilisation. Elle dépend essentiellement du nombre de cycles 'charge-décharge'.

Pour obtenir une durée de vie de 10 à 15 ans, il est indispensable que la batterie, dans son fonctionnement, soit maintenue dans un état de charge supérieur à plus de 50 %.

La durée de vie des batteries au plomb-acide est déterminée par les trois facteurs suivants :

1^{er} facteur : vie cyclique et résistance aux températures élevées, qui existent dans toutes les applications des batteries.

2^{ème} facteur : effets de la sulfatation et les sous-charges, qui sont seulement spécifiques dans les applications PV.

3^{ème} facteur : c'est les facteurs catastrophiques, défauts de fabrication, sous dimensionnement, utilisation abusive, congélation, etc..., qui peuvent être souvent éviter.

Toute surcharge élevée provoque la corrosion, des déformations et de l'érosion sur les plaques, ainsi qu'une surchauffe. La présence de certains composés organiques et inorganiques (utilisés comme additifs dans les matériaux actifs, électrolyte, .) peut causer la coalescence des particules de Pb avec une perte consécutive de porosité. Il existe des produits qui, ajoutés aux matériaux des plaques négatives, préviennent cet inconvénient (voir figure 1).

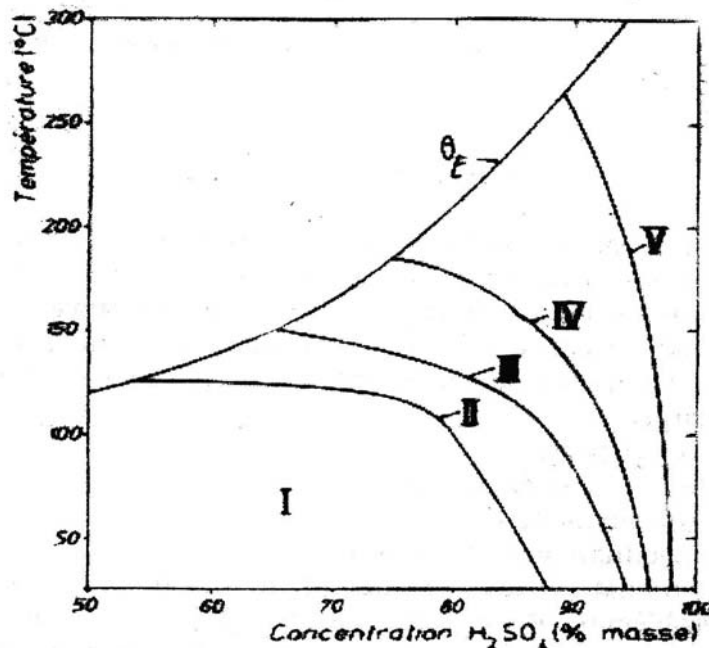


Fig. 1: Résistance à la corrosion du Plomb dans l'acide sulfurique

θ_E : température d'ébullition, I : corrosion inférieure à 0,13 mm/an,

II : corrosion égale à 0,13 mm/an, III : corrosion égale à 0,5 mm/an

IV : corrosion égale à 1,3 mm/an, V : corrosion égale à 5 mm/an

A une concentration inférieure à 50 % de H₂SO₄, la corrosion est inférieure à 0,13 mm/an

Le fonctionnement des batteries dans les systèmes PV est différent de leur fonctionnement traditionnel. Les conditions opératoires de la batterie dans ces systèmes conduit aux faibles durées de vie. Pour les systèmes PV qui utilisent les batteries au plomb à plaques tubulaires, la durée de vie est souvent limitée par la dépendance de la température avec notamment la résistance à la corrosion et non pas la vie cyclique.

3. LE PROCESSUS DE VIEILLISSEMENT

La corrosion est la destruction des métaux sous l'action du milieu ambiant. Cette destruction est le résultat de réactions de nature chimique ou électrochimique qui se déroulent à la surface de séparation métal - milieu ambiant. Ce sont généralement des réactions d'oxydation de métaux.

L'immense majorité des problèmes de corrosion rencontrés est liée à la présence d'eau au contact des métaux.

Du point de vue économique, la corrosion pose un problème très important.

Le vieillissement des batteries au plomb/acide dans les systèmes PV est surtout causé par :

- La corrosion de la plaque positive : transformation du plomb métallique Pb en oxyde de plomb PbO_x .
- La dégradation de la matière active de la plaque positive causée par la déformation mécanique de cette dernière ($PbO_2 \leftrightarrow PbSO_4$) durant les cycles de charge et de décharge.
- La sulfatation - recristallisation du $PbSO_4$ durant les longues périodes en sous-charge ou l'état de charge est faible.

La corrosion fait changer les propriétés courant/tension de la batterie.

La capacité que l'on peut obtenir par rapport à celle que l'on devrait théoriquement obtenir se nomme coefficient d'utilisation. Celui-ci varie avec le type de l'élément, la vitesse de la décharge et la température. Il convient, en outre, de garder présentes à l'esprit certaines circonstances faisant obstacle à l'utilisation complète des matériaux actifs, surtout dans le processus de décharge. L'une de celles-ci résulte de la formation d'un revêtement de sulfate non conducteur- sur les matériaux actifs; une autre résulte de la diminution de conductibilité de l'électrolyte, due à la décroissance de la teneur en H_2SO_4 ; la diminution de porosité due au sulfate qui se forme dans les pores du matériau, et qui empêche par la suite la diffusion de H_2SO_4 en constitue une troisième. Ce dernier effet revêt une importance particulière pour des intensités élevées de courant, puisque, plus la densité de courant est grande, plus les réactions se concentrent à la surface des plaques. Il s'ensuit que le sulfate bouche les porosités présentes sur la surface, ce qui diminue la conductibilité et la diffusion à l'intérieur des plaques elles-mêmes.

4. MODELISATION DU VIEILLISSEMENT DES BATTERIES

Plusieurs modèles de batteries sont donnés dans la littérature [1-3]. Dans [1] un modèle simple de vieillissement de la batterie au plomb est donné. Il décrit le vieillissement comme étant la corrosion de l'électrode positive et la dégradation de la matière active durant les conditions opérationnelles de la batterie, à savoir la tension aux bornes et l'élévation de la capacité résiduelle effective. A l'échelle macroscopique, ces effets conduisent à la réduction de la résistance interne ainsi que la matière active.

La modélisation du vieillissement de la batterie nécessite la modification continue des paramètres internes de la batterie. Mais ces paramètres sont mutuellement couplés à la configuration du système. La durée de vie des batteries est directement influencée par la puissance du champ PV ainsi que la capacité stockée.

L'évolution temporelle de la capacité effective de la batterie (valeur maximale de charge) peut être alors calculée. La variation de la capacité (Ah) de la batterie au plomb dans un système PV est présentée sur la figure 2.

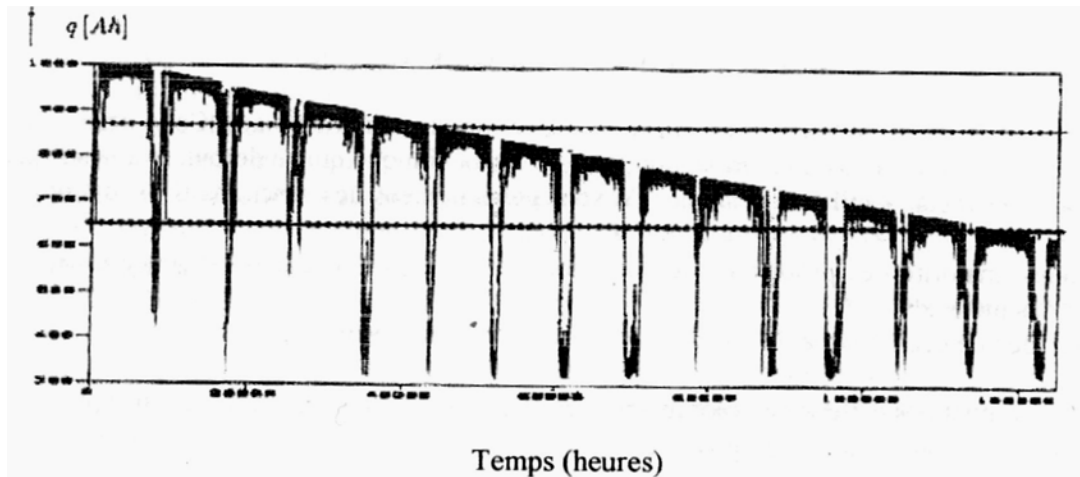


Fig. 2: Evolution de la capacité en fonction du temps

La figure 2 représente l'évolution temporelle des ampères-heures simulés q (Ah) de la batterie pour un système PV autonome 12 V PV/système de batterie (ie puissance PV $P_{PV} = 1226$ W, capacité de stockage $Q_N = 1000$ Ah limité par la profondeur de décharge de $0.7Q_N$). La capacité effective de stockage diminue au-dessous de l'influence du processus de vieillissement sur plusieurs années de marche du système. Les effets de vieillissement sont donc causés par la corrosion de la plaque positive et la dégradation de la matière active, dépendant des paramètres internes, c'est-à-dire, l'état de charge, le potentiel et le nombre de cycles de décharge qui eux aussi dépendent de la configuration spécifique du système. L'enveloppe de la capacité de la batterie peut être donc approchée par une fonction linéaire. Ici la fin de vie de la batterie est définie par la réduction de la capacité disponible en bas de 50 % de sa valeur initiale.

L'analyse profonde de la durée de vie de la batterie montre que la sensibilité de celle-ci est déterminée par la puissance du système. En plus la dégradation de la capacité effective de la batterie influe sur l'ensemble des performances du système et donc sur sa puissance.

La modélisation de la durée de vie de la batterie doit être une partie à intégrer dans la procédure de simulation des systèmes PV.

Dans ce qui suit, nous allons présenter la simulation du système PV simple 'Générateur PV/Batterie' en prenant en considération la modélisation de la durée de vie ou plus précisément le vieillissement de la batterie.

5. INSERTION DU MODELE DANS LE DIMENSIONNEMENT DU SYSTEME PV

Dans le dimensionnement des systèmes PV, la vie cyclique ou bien la dépendance de la température avec la résistance à la corrosion sont les facteurs qui limitent la durée de vie de la batterie, qui elle-même dépend du système PV, spécialement le type de la batterie utilisée, la profondeur de décharge journalière et la température ambiante moyenne.

La vie cyclique est plus ou moins indépendante de la température ambiante, mais la résistance à la corrosion décroît rapidement à la température ambiante élevée.

Jusqu'ici, plusieurs méthodes de dimensionnement des systèmes PV sont basées sur l'hypothèse que la capacité de la batterie est constante sur toute la période de vie du système.

Les pertes de capacité dues au vieillissement de la batterie sont très souvent négligées et même omises. Cette hypothèse conduit à la déclinaison des performances du système dans le temps.

Pour une première approche, le modèle de vieillissement est inclus dans le calcul horaire de simulation des performances du système PV. Les systèmes choisis sont qualifiés par le critère de sécurité, c'est-à-dire la probabilité de perte de charge (LOLP) est inférieure ou égale à 1 %. Le modèle de vieillissement est rajouté dans le programme de simulation du système.

A partir des résultats de la simulation, la relation entre le rapport de la puissance du champ PV P_{PV} [W] et la puissance de charge P_{load} [W], de l'irradiation moyenne mensuelle G_{min} [W/m^2] et de la durée de vie opérationnelle de la batterie LTQ [h] sur les plus mauvais mois est obtenue par la relation suivante :

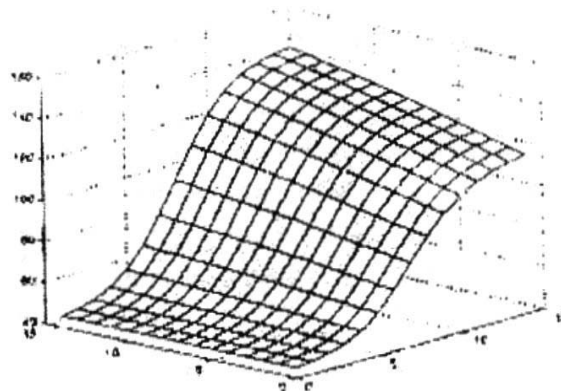
$$\frac{LTQ}{1000} [h] = 120[h] \times \left[1 - \frac{1}{\exp \left(a_1 \overline{G_{min}} Q_N - \left(\frac{a_2 \overline{G_{min}} P_{PV} / P_{load}}{1000 W / m^2} \right) \right) + 1} \right] \times$$

$$\left[1 - \frac{1}{\exp \left(\left(b_1 + \frac{b_2 \overline{G_{min}}}{1000 W / m^2} \right) \frac{P_{PV}}{P_{Load}} - \left(b_3 + \frac{b_4 \overline{G_{min}}}{1000 W / m^2} \right) \right) + 1} \right] + 40[h]$$

Avec l'ensemble des paramètres –suivants :

$$\begin{aligned} a_1 &= 0.00048 [1/\text{jour} (W/m^2)], & a_2 &= -0.57506, & b_1 &= 0.02411, \\ b_2 &= 11.90285, & b_3 &= 7.02993, & b_4 &= 32.30311. \end{aligned}$$

L'illustration de la durée de vie de la batterie, de la puissance PV et de la capacité de stockage est représentée sur la figure 3 pour un système situé dans des conditions climatiques modérées.



X Capacité de stockage, Y: Durée de vie de la batterie, Z Puissance PV

Fig. 3: La durée de vie opérationnelle de la batterie en fonction de la configuration du système

La figure 3 donne la relation de la durée de vie opérationnelle de la batterie en fonction de la configuration du système, c'est-à-dire remontant avec la dimension de la charge PV normalisée et de la dimension de la batterie Q_N dans des conditions arbitraires de rayonnement. Au-dessous de la diminution de la capacité de la batterie, la probabilité de perte de charge du système peut être redéfinie comme une valeur provisoire sur toute la durée de vie du système.

6. CONCLUSION

Dans cet article, un modèle de la durée de vie des batteries est donné pour la conception des systèmes PV, en utilisant des données réelles temporelles de fonctionnement du système.

On remarque que la fin de vie de la batterie se situe par la chute de sa capacité résiduelle effective au-dessous de 50 % de sa valeur initiale.

Il est remarqué aussi que la durée de vie de la batterie donnée par le modèle représente une surestimation par rapport à la durée de vie réelle. Ce résultat indique qu'une amélioration du modèle de vieillissement et ses paramètres est exigée. Toutefois, la structure qualitative trouvée dans la procédure de dimensionnement n'est pas affectée par cette imperfection.

REFERENCES

- [1] HG. Beyer, M. Bohlen and J. Schumacher, '*Including Battery Life Time Modeling in Sizing Procedures for Stand Alone PV-Systems*', 14th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Barcelona, Spain, pp. 1086-1089, 1997.
- [2] T. Degner, H Gabler and A. Stöcklein, '*A Model for the Ageing of Lead/Acid Batteries in PV Systems*', 12th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Amsterdam, pp. 422-426, 1994.
- [3] DJ.Spiers and AA. Rasinkoski, '*Limits Battery Lifetime in Photovoltaic Applications*', Solar Energy, Vol.58, N°4-6, pp. 147-154, 1996.