

# Étude de fiabilité des condensateurs électrolytiques dans un micro-onduleur

Martin Fornage, DTI

29/09/2008

## 1 Extrait

Le présent document fournit une méthode systématique d'estimation de la durée de vie des condensateurs électrolytiques utilisés dans les micro-onduleurs Enphase destinés aux systèmes photovoltaïques (PV). Les résultats établis selon un modèle de calcul prudent confirment que la durée de vie de ces condensateurs est de plus de 50 ans.

## 2 Introduction

Les micro-onduleurs sont une nouvelle catégorie d'onduleurs photovoltaïques pour des installations raccordées au réseau de distribution. Ils permettent une production d'énergie plus importante, une plus grande disponibilité du système, rendant la conception et l'installation d'un système photovoltaïque plus simple qu'avec des onduleurs classiques. Cependant, pour que les micro-onduleurs fonctionnent correctement et qu'ils soient bien accueillis par le marché, il est nécessaire que leur fiabilité soit bien supérieure à celles des onduleurs classiques.

Les causes courantes de défaillances sur les onduleurs proviennent du manque de marge dans le calibrage des composants, de leur incapacité à fonctionner dans des conditions exceptionnelles, de défauts de fabrication ou de contrôles qualité insuffisants, de défaillances aléatoires et plus généralement de l'usure normale des pièces. Les condensateurs électrolytiques sont une cause de défaillance courante et peuvent présenter des problèmes de fiabilité dans le domaine de l'électronique de puissance. Ce document explique le phénomène de détérioration des condensateurs électrolytiques dans les micro-onduleurs et montre, en se fondant sur des critères d'essais prudents, pourquoi les condensateurs électrolytiques équipant les micro-onduleurs Enphase Energy ont une durée de vie plus importante et en conséquence, n'affectent en rien la fiabilité de l'ensemble des systèmes d'énergie photovoltaïque.

## 3 Nécessité des condensateurs

Les onduleurs convertissent la tension DC générée par la source d'énergie en tension AC pour une utilisation professionnelle et/ou domestique. Dans les systèmes d'énergie solaire, ce sont les modules photovoltaïques qui constituent la source de tension DC. L'équation ci-dessous montre comment l'énergie photovoltaïque est mesurée.

L'équation du courant d'entrée est donnée par

$$P_{pv} = V_{pv} * I_{pv}$$

Où  $P_{pv}$  représente la puissance PV en W,  $V_{pv}$  représente la tension PV en V et  $I_{pv}$  représente le courant PV en A.

L'équation de la puissance de sortie est déterminée par :

$$P_{ac}(t) = P_{avg} * (1 - \cos(2 \omega t))$$



Où  $\omega$  représente la fréquence angulaire du réseau et  $P_{avg}$  représente le courant de sortie moyen.

L'onduleur doit produire  $P_{ac}(t)$  tout en recevant  $P_{pv}$  en entrée. Il en résulte une ondulation importante sur la puissance de sortie. Idéalement,  $P_{avg} = P_{pv}$ , ce qui signifie que l'énergie doit être stockée dans l'onduleur puis récupérée.

Habituellement, un condensateur est utilisé pour stocker l'énergie, qui doit ensuite être récupérée, dans l'onduleur. Ce condensateur est généralement situé sur le circuit PV et doit être assez volumineux pour contrôler les variations de tension. Dans le cas contraire, l'ondulation affecterait la précision du MPPT.

Les condensateurs électrolytiques conviennent parfaitement au contrôle des ondulations grâce à leur faible résistance série équivalente ( $R_{se}$ ) et leur capacité électrique élevée en fonction de leur volume.

## 4 Technologie des condensateurs électrolytiques

### 4.1 Durée de Vie

La durée de vie des condensateurs s'exprime en nombre d'heures de fonctionnement à une température, une tension de fonctionnement et un courant ondulateur donnés. Pour les condensateurs classiques, la durée de vie utile acceptable est de seulement 2000 h à 85 °C.

Afin d'augmenter la fiabilité de ses micro-onduleurs, Enphase utilise des condensateurs évalués de 4 000 à 10 000 h de vie à 105 °C. La durée de vie des condensateurs est extrêmement sensible à la température. En effet, elle double chaque fois que la température s'abaisse de 10 °C.

### 4.2 Fin de vie

Lorsque les condensateurs arrivent en fin de vie, leur capacité décroît et leur  $R_{se}$  augmente. Une  $R_{se}$  élevée provoque davantage de dissipation thermique dans le condensateur, ce qui fait augmenter la température interne, accélérant ainsi le processus de vieillissement.

La durée de vie des condensateurs est généralement estimée en nombre d'heures pour une température de fonctionnement, une tension et un courant ondulateur donnés.

Lorsque les condensateurs fonctionnent dans de telles conditions, leur durée de vie n'excède pas le critère de fin de vie, ce qui correspond généralement à une baisse de leur capacité de 20 % et une  $R_{se}$  doublée.

### 4.3 Recommandations

Vous trouverez une liste d'excellents documents en consultant [l'Annexe A](#).

## 5 Évaluation de la durée de vie

### 5.1 Environnement

Généralement, le micro-onduleur est fixé sur le système de montage qui supporte les modules photovoltaïques. La température de son environnement est plus élevée que la température ambiante extérieure du fait de la dissipation de l'énergie solaire par les modules photovoltaïques. Et sa température interne est plus élevée que la température de son environnement à cause de la dissipation interne de l'énergie due à la conversion de cette énergie.



L'un des modèles d'augmentation de température éprouvés pour un produit Enphase Energy est le suivant :

$$\Delta T = P_{ac} * 0.15$$

$P_{ac}$  étant exprimé en W et  $\Delta T$  en °C.

Le coefficient de cette équation est affecté par le rendement de conversion du micro-onduleur, la gestion thermique de l'élément, et par les conditions (uniques) d'installation réelle. Le coefficient utilisé dans cette équation est un coefficient prudent.

Le courant ondulatoire dans le condensateur est évalué par :

$$I_{cap} = P_{pv} / V_{pv} * \sqrt{2}$$

$I_{cap}$  représente le courant RMS du condensateur en A,  $P_{pv}$  représente la puissance en W et  $V_{pv}$  représente la tension PV en V.

Remarque : cette équation est valide, car il n'y a pas de courant à haute fréquence induit par la conversion de l'énergie dans les condensateurs électrolytiques.

## 5.2 Impact climatique

D'une part, une température ambiante élevée fait augmenter la température interne de l'onduleur, mais d'autre part, l'efficacité du module photovoltaïque baisse lorsque la température de la cellule PV augmente. Dans la présente étude on s'est fondé sur l'irradiance réelle ainsi que sur les données environnementales pour estimer les valeurs telles que la tension, le courant et la température du condensateur, en conditions réelles.

## 5.3 Impact d'une défaillance du condensateur sur le micro-onduleur

Il y a en fait peu d'impact sur le micro-onduleur lorsqu'un condensateur connaît une défaillance, car plusieurs condensateurs sont placés en parallèle dans le micro-onduleur et les défaillances qui surviennent sont normalement des défaillances en circuit ouvert. Le principal impact est que l'efficacité du MPPT est légèrement réduite, car le circuit PV est privé d'une partie de la compensation de variation de tension.

## 5.4 Données climatiques

Les données sur le climat et l'irradiance utilisées lors de cet essai ont été obtenues dans la National Solar Radiation Data Base (NREL), qui fournit toutes les heures des données météorologiques des différentes régions des États-Unis.

[http://rredc.nrel.gov/solar/old\\_data/nsrdb/1991-2005/tmy3/](http://rredc.nrel.gov/solar/old_data/nsrdb/1991-2005/tmy3/)

Palm Springs, en Californie, a été choisie comme lieu de la présente étude ; en effet, la température moyenne et l'irradiance y sont élevés, ce qui permet de garantir que le test est réalisé dans des conditions difficiles.

## 5.5 Caractéristiques des modules photovoltaïques

La présente étude est réalisée avec un module classique à 72 cellules, de 205 W STC, avec un  $V_{mp}$  de 35 V à 25 °C

La puissance STC est mesurée lorsque la température de la cellule est de 25 °C et l'irradiance de 1000W/m<sup>2</sup>.

Le coefficient de température de puissance utilisé est  $\beta=0.0048/^\circ\text{C}$ , selon les indications du fournisseur.

Le coefficient d'augmentation de la température de la cellule est  $\delta=0.04^\circ\text{C/W/m}^2$ .  
La température de la cellule  $T_c$  est calculée à partir de la température ambiante  $T_a$  et de l'irradiance  $I_r$  comme suit :

$$T_c = T_a + \delta * I_r \quad (1)$$

La puissance PV est calculée comme suit :

$$P_{pv} = P_{stc} * (I_r/1000) * (1 - \beta * (T_c - 25)) \quad (2)$$

Le  $V_{mp}$  est affecté par la température et le coefficient de température, généralement de  $\lambda=0.0034/^\circ\text{C}$ .

La tension PV  $V_{pv}$  qui en résulte est donc :

$$V_{pv} = V_{mp} * (1 - \lambda * (T_c - 25)) \quad (3)$$

## 5.6 Puissance de l'onduleur

La puissance de l'onduleur est de :

$$P_{ac} = P_{pv} * \eta \quad (4)$$

$\eta$  exprime rendement de l'élément, dans notre cas 95 %.

## 5.7 Courant

Le courant d'un seul condensateur est calculé comme suit :

$$I_{cap} = P_{pv} / V_{pv} * \sqrt{2} * n \quad (5)$$

$n$  représente le nombre de condensateurs parallèles.

## 5.8 Indice de durée de vie

Un indice  $\epsilon$  de durée de vie par heure est calculé. Cet indice mesure la durée de vie du condensateur qui a déjà été utilisée. L'indice par heure est calculé comme suit :

$$\epsilon = 1 / Lu * 2^{(T_0 - T)/10} \quad (6)$$

Où  $Lu$  représente la valeur de la durée de vie utile,  $T_0$  la température pour cette valeur et  $T$  la température réelle du condensateur.

La capacité de durée de vie est épuisée lorsque :

$$\sum \epsilon = 1$$

Par exemple, pour un condensateur dont la durée de vie est estimée à 10 000 heures à  $105^\circ\text{C}$ , après 1 h à  $65^\circ\text{C}$  on obtient,  $\epsilon=6,25E-6$ , ce qui signifie que le condensateur peut fonctionner 160 000 heures à cette température. Cela est cohérent avec la loi d'Arrhenius utilisée par tous les fournisseurs de condensateurs.

## 5.9 Données sur un an

Pour simuler la performance sur une année entière,  $P_{pv}$ ,  $V_{pv}$ ,  $I_{cap}$  et  $\epsilon$  sont calculés chaque heure en utilisant les équations (1) à (6) en se fondant sur les données de Palm Springs et en utilisant le module photovoltaïque décrit ci-dessus ainsi que 4 condensateurs évalués à 4000 heures de durée de vie à 105 °C.

Les extremes suivants sont enregistrés sur une année entière.

	$T_{amb}$ ( °C)	$P_{pv}$ (W)	$P_{ac}$ (W)	$T_{cap}$ ( °C)	$V_{pv}$ (V)	$I_{cap}$ (Ams)	$\epsilon$
Minimum	4	0	0	4	0	0	2.28E-7
Maximum	46	166,71	158,38	64,91	37,08	0,99	1.55E-5

$\epsilon$  cumulé sur l'année entière donne :

$$\Sigma \epsilon = 2,02e^{-2}$$

Les résultats montrent que seuls 2 % de la durée de vie utile du condensateur sont utilisés chaque année.

Cela signifie que la durée de vie utile espérée des condensateurs est de **50 ans**.

Ce chiffre est considéré comme prudent, car la durée de vie utile indiquée par le fournisseur concerne un courant donné, environ 3 fois plus élevé que le courant maximum circulant dans l'élément lors de cet essai.

De plus, la tension appliquée au condensateur équivaut presque à la moitié de la tension calculée. **Selon certains fournisseurs, ces conditions augmentent considérablement la durée de vie utile réelle de l'élément, en la multipliant par 2, augmentant ainsi la durée de vie espérée du condensateur d'environ 100 ans.**

## 6 Conclusion

La présente étude démontre que les condensateurs électrolytiques ne constituent pas un point de défaillance important dans la fiabilité d'un micro-onduleur. La durée de vie a été calculée comme étant bien supérieure à 50 ans même lorsque l'onduleur est situé dans un environnement hostile.

## 7 Lexique

AC	Courant alternatif
AVG	Moyenne
DC	Courant continu
RSE	Résistance Série Équivalente
MPPT	Recherche du Point de Puissance maximale (Maximum Power Point Tracking)
PV	Photovoltaïque
STC	Conditions normales d'essai



## Annexe A

### Références

Descriptions générales des condensateurs électrolytiques aluminium –  
<http://nichicon-us.com/english/products/pdf/aluminum.pdf>

Fiabilité des condensateurs électrolytiques aluminium CDE –  
<http://www.cde.com/tech/reliability.pdf>

Calcul des Multiplicateurs de Durée de vie pour les Condensateurs Électrolytiques -  
<http://www.cde.com/tech/multipliers.pdf>