

## Évaluation de l'utilisation des condensateurs électrolytiques sur les Micro-onduleurs Enphase

J. S. Shaffer  
20-31 mars 2009

### Récapitulatif

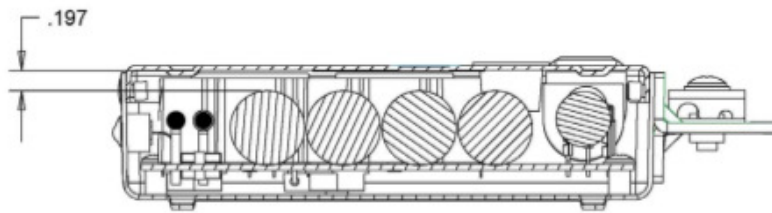
Le présent rapport a été réalisé à la demande de potentiels investisseurs dans le cadre du dernier tour de financement en fonds de capital-risque pour Enphase Energy Inc. Diligenté par le Vice-président, l'auteur du présent rapport a été engagé pour effectuer un audit des résultats d'essais menés sur les condensateurs électrolytiques utilisés dans les micro-onduleurs Enphase. La principale raison d'étudier ces condensateurs électrolytiques est qu'ils ont la réputation de constituer un maillon faible dans la conception d'autres onduleurs. Les essais et l'audit se sont concentrés sur les deux points suivants :

**Durée de vie :** le premier point étudié a été la durée de vie des condensateurs électrolytiques utilisés dans le micro-onduleur Enphase. L'audit a déterminé que les calculs et les résultats des essais confirmaient que la durée de vie des condensateurs électrolytiques utilisés dans les micro-onduleurs Enphase était de 50 ans. Un second essai de performance réalisé avec une approche plus prudente encore et comportant davantage de limitations a déterminé une durée de vie de 30 ans pour ces mêmes condensateurs.

**Corrosion :** le second point étudié a été la possibilité d'une défaillance catastrophique due à la corrosion. L'audit s'est concentré sur la corrosion due à la possibilité de fuite d'halogénures provenant des matériaux d'enrobage utilisés pour encapsuler l'onduleur. Un périphérique exposé à ce matériau durant le cyclage thermique a été ouvert et inspecté. Aucune trace de corrosion n'a été détectée.

### Arrière-plan

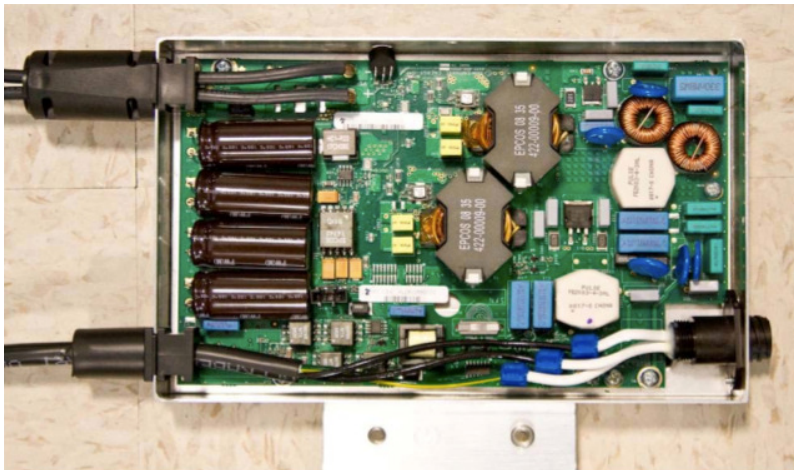
La conception du micro-onduleur Enphase comprend quatre condensateurs électrolytiques Nichicon pour le stockage de l'énergie. Le périphérique choisi par Enphase est un Nichicon Série PW UPW1J222MHD 2200  $\mu$ F, 63V. Ce condensateur a une durée de vie de 8000 heures en fonctionnement continu à une température de cœur de 105 °C.



RAPTOR END VIEW  
THRU CAPACITORS  
SECTION Z-Z

Le cœur est le centre géométrique et, habituellement, le point le plus chaud du périphérique. Cela signifie que la température ambiante additionnée à la température interne dégagée par l'énergie dissipée par la résistance série équivalente (rse) du condensateur ne doit pas excéder 105 °C durant l'essai de durée de vie.

Si la température de cœur diminue, pour quelle que raison que ce soit, comme une baisse de la température ambiante ou une diminution du courant ondulatoire, la durée de vie peut alors augmenter, si l'on part du postulat selon lequel les détériorations du périphérique sont provoquées par la chaleur et suivent la relation classique d'Arrhenius. À savoir : le taux de détérioration est divisé par deux chaque fois que la température perd 10 °C.



Certaines mesures réalisées par Enphase à l'extérieur du condensateur durant l'application réelle ont indiqué que la température de la surface atteignait un maximum de 65 °C. En se fondant sur ces mesures, on peut conclure que la durée de vie suggère une température inférieure de 40 °C à celle utilisée dans les essais de durée de vie du fabricant. Les études menées par Enphase se sont fondées sur un calcul qui a déterminé une durée de vie de 50 ans. Ce calcul était basé sur la température réelle relevée durant l'application de l'onduleur à Palm Springs, Californie.

Un test de performance a été effectué d'après ces calculs afin de vérifier ces résultats et de présenter une évaluation plus prudente encore. La température de la surface a été augmentée de 5 °C, impliquant une température de cœur de 70 °C comme base de calcul pour la durée de vie. La température delta déterminée à partir de la température des essais de durée de vie est alors de 35 °C. La durée de vie espérée atteint quant à elle  $8000 \text{ h} * 2^{(105-70)/10}$ . Le résultat de l'application de cette équation est, comme prévu, de ~ 90 000 h de durée de vie continue à ce niveau de température. Si on double cette valeur en se basant sur 12 heures de fonctionnement à pleine puissance par jour, il apparaît que l'on peut aisément appliquer une garantie de 20 ans. En condition réelle, ces onduleurs devraient fonctionner un temps équivalant à 6 à 8 heures par jour, à pleine puissance. Partant de cette conclusion, une durée de vie de 30 ans paraît être une espérance raisonnable.

## Tension de crête

Un autre point important de cette étude était la tension de crête attendue du condensateur. On estime que la tension de formation de la feuille utilisée par Enphase est de ~ 100 volts. Lorsque la tension appliquée aux périphériques approche de cette valeur, le courant commence à circuler entre les feuilles d'anode et de cathode, générant ainsi de la chaleur et provoquant d'éventuelles défaillances complètes. Le fait d'utiliser une valeur de 40 volts comme valeur caractéristique maximum, comme l'a fait Enphase lors des essais, constitue un facteur de sécurité supplémentaire qui devrait éliminer toute possibilité de cheminement vers ce mode de défaillance.

## Défaillance complète

La possibilité d'une défaillance complète a également été étudiée. Il existe deux principales zones de défaillances inattendues dans les condensateurs électrolytiques : les courts-circuits causés par le contact entre les électrodes en métal et la corrosion due aux contaminants (généralement les halogénures) qui détériorent les connexions internes du périphérique. Le fabricant des condensateurs électrolytiques, Nichicon, précise qu'il n'a connu aucune défaillance de ce type durant les essais de durée de vie effectués sur ces unités. Seuls restent donc des problèmes potentiels provenant du fonctionnement réel.

Lorsqu'ils sont en fonctionnement, ces condensateurs sont encapsulés dans un composé d'uréthane polybutadiène qui enveloppe complètement le périphérique, y compris au niveau du bondon en caoutchouc et des traversées en métal. Une enquête auprès du fournisseur d'uréthane d'Enphase a montré l'existence potentielle de « quelques ppm de résidus de chlorure » dans le matériau. En fonctionnement, le cyclage de température de plusieurs années d'exploitation peut provoquer un dégazage du périphérique durant lequel, à haute température, une petite quantité de vapeur est expulsée et, à basse température, une petite quantité d'air ambiant est aspirée.

## Étude en laboratoire

Afin d'étudier le problème de la corrosion, une unité ayant subi un test de cyclage de température a été ouverte et inspectée pour trouver des signes d'un début de corrosion.



*Capaciteur sectionné*

L'unité a été soumise au test de l'IEC61215, identifié comme « test de cyclage thermique (IEC 61215 para. 10.11) ». L'unité a été amenée à 25 °C et présentait des valeurs de 1885  $\mu$ F, 0,048 ohms à 120 Hz et de 0,038 ohms à 1 kHz, avec un GenRad 1489 RLC Digibridge. Enphase avait utilisé la valeur rse à 100 Hz de 0,028 ohm pour effectuer une partie de ses calculs de dissipation d'énergie comparée à la valeur rse à 120 Hz. Le courant de fuite à 63 volts était bon et indiquait <5 uA après 5 minutes.



*Terminaisons*



*Périphérique déroulé*



L'unité a été ouverte et inspectée. Elle était encore très humide, ce qui indiquait que la perte d'électrolyte avait été inexistante ou faible durant les ~880 heures du test de cyclage à haute température. Il n'y avait aucun signe de fuite d'électrolyte autour du bondon en caoutchouc/des zones en caoutchouc de l'interface. La languette a été inspectée avec un microscope 20x ; aucune trace de corrosion n'a été détectée. Toute possible corrosion par les halogénures apparaîtrait en premier lieu dans ces zones sous forme de trous microscopiques. L'unité a été déroulée et l'anode et la cathode ont été inspectées. Elles ne présentaient aucun signe d'attaque corrosive. Cependant, une petite zone de décoloration était visible à l'œil nu. Ces décolorations proviennent généralement de la gravure et/ou de la formation de l'anode et ne menacent en rien la performance du condensateur. La cathode a également été inspectée et aucun effet visible n'a pu être observé.

## Conclusion

La conclusion de l'audit est que les deux points importants étudiés dans les condensateurs - la durée de vie et la corrosion - ne présentent pas de problème particulier et les résultats des essais sont valides. Après un test de performance supplémentaire mené avec une approche encore plus prudente, comportant davantage de limitations, ma conclusion est que les condensateurs utilisés dans la conception d'un micro-onduleur Enphase ont une durée de vie espérée de 30 ans.

## À propos de l'auteur

Dr. J.S. (Steve ) Shaffer

### ELECTROLYTIC CAPACITORS AND FOILS

<b>FORMATION</b>	Licence en physique Doctorat en physique (État solide)	Univ SC 1965 Univ SC 1975
<b>EXPÉRIENCE PROFESSIONNELLE</b>	Physicien en développement General Electric Directeur de la recherche et du développement Mepco Electra	1975 – 1978 1978 – 1985
	Scientifique senior/N.V.Philips (Europe) Responsable de l'innovation/Philips Components Conseiller technique/BC Components Consultant/Shaffer Consulting	1985 – 1988 1988 – 1998 1998 – 2003 2003 - Présent
<b>SPÉCIALITÉS</b>	Gravure des feuilles d'aluminium Oxydation des feuilles d'aluminium Contrôle du traitement électrochimique Électrolytes pour condensateurs Application des condensateurs électrolytiques Modélisation thermique pour les condensateurs AC et DC	
<b>MILITAIRE</b>	Service actif US Navy, Officier de vaisseau Réserviste US Navy Capitaine à la retraite (06)	1965 - 1970 1970 - 1992
<b>BREVETS ET PUBLICATIONS</b> condensateurs .....	1. 4,437,955 2. 4,546,415 3. 4,609,971 4. 4,761,713 5. 5,143,591 En cours	Gravure AC et DC combinée Dissipation de la chaleur dans les Capacitor with Polymer Conductor Glycol-based Mid-Volt Electrolyte Method for Producing Ultra Stable Oxide Electrolyte for High Reliability .....
<b>MEMBRE DE</b>	Advisory Council USC College of Science and Mathematics Trésorerie, Rotary Club de St Andrews USC NROTC Alumni Association American Association for the Advancement of Science American Physical Society Explorer's Club	

## Dr. J.S. (Steve) Shaffer

**Arrière-plan** Docteur en physique des états solides 27 ans d'expérience dans le domaine des condensateurs chez General Electric, N.V. Philips et BC Components

### Domaines de spécialité

#### Gravure des feuilles d'aluminium

Méthodes de nettoyage des feuilles

Gravure poreuse et de cœur

Méthodes impliquant des formes d'ondes AC ou DC

Métallurgie et procédés de l'aluminium nécessaires pour une gravure réussie

#### Oxydation des feuilles d'aluminium

Préparations d'oxyde cristallin et amorphe

Techniques pour améliorer la stabilité des feuilles

Analyse de l'effet tunnel et autres effets structurels

#### Contrôle du traitement électrochimique

Contrôle des paramètres de traitement dans les grands bains électrolytiques

Système de reconstitution des acides Applications haute tension Utilisation des techniques FEA

#### Électrolytes pour condensateurs

Formulation et évaluation des électrolytes de remplissage avec différents systèmes solvants.

Interaction des électrolytes avec des anodes, des cathodes, des couvertures et des papiers.

Évaluation de la corrosion potentielle

#### Application des condensateurs électrolytiques

Modélisation thermique des condensateurs pour les applications AC et DC

Réponse des condensateurs à diverses formes d'ondes

Calcul de durée de vie

#### Analyse des défaillances

Analyse des feuilles

Analyse des détails de construction

#### Condensateurs spéciaux

Super condensateurs

Électrolytes conducteurs polymères

Périphériques de construction prismatique



## Écrits et publications

Dr. J.S. (Steve) Shaffer

### **PARALLEL BATTERY TESTING**

J.S. Shaffer, St Jude Battery Summit, Sylmar, CA Oct 19, 2005

### **FACTORS AFFECTING THE SERVICE LIFE OF LARGE ALUMINUM ELECTROLYTIC CAPACITORS**

J. L. Stevens, J. S. Shaffer and J. T. Vandenham, Proceedings of CARTS (2001)

### **THE SERVICE LIFE OF LARGE ALUMINUM ELECTROLYTICS CAPACITORS: EFFECTS OF CONSTRUCTION AND APPLICATION**

J. L. Stevens, J. S. Shaffer and J. T. Vandenham, Proceedings of IEEE (2000)

### **FURTHER IMPROVING HEAT DISSIPATION FROM LARGE ELECTROLYTIC CAPACITORS**

J. L. Stevens, J. D. Sauer and J. S. Shaffer, Proceedings of IEEE-IAS, (1998)

### **MODELING AND IMPROVING HEAT DISSIPATION FROM LARGE ALUMINUM ELECTROLYTIC CAPACITORS II**

J. L. Stevens, J. D. Sauer et J. S. Shaffer, Proceeding of IEEE-IAS (1997)

### **MODELING AND IMPROVING HEAT DISSIPATION FROM LARGE ALUMINUM ELECTROLYTIC CAPACITORS,**

J. L. Stevens, J. D. Sauer and J. S. Shaffer, Proceeding of IEEE-IAS, 3, (1996) p. 1343

### **IMPROVED THERMAL MODEL FOR LARGE CAN ALUMINUM ELECTROLYTIC CAPACITORS: AN EMPIRICAL MODEL**

J. L. Stevens, J. D. Sauer, J. S. Shaffer, Proceedings of CARTS (1995) p. 56

### **DEFECTS IN CRYSTALLINE ANODIC ALUMINA. CORRELATION OF REFORMATION CURVES AND ELECTROOPTICAL DATA**

STEVENS JL, SHAFFER JS, J. of Electrochemical Society 133 (1982) p. 1160

### **ELECTRON-SPIN RESONANCE STUDY OF MANGANESE SPINEL**

J. S. Shaffer, H.A. Farach and C.P. Poole Physical Review B, 13, (1976) p.1869