



Crédit photo : DEHN

Les mesures générales de protection contre la foudre et les surtensions qui sont définies dans la série des normes de protection contre la foudre NF EN 62305 [1] peuvent également s'appliquer aux systèmes photovoltaïques. Le présent article décrit les exigences particulières relatives à une protection coordonnée contre les surtensions dans les systèmes photovoltaïques. L'accent est mis principalement sur l'utilisation spécifique de parafoudres du côté courant continu d'un générateur photovoltaïque. Jusqu'ici, les normes d'installation telles que IEC 60364-5-53 et NF EN 61643-12 [2] [3] ainsi que les normes produits pour parafoudres telles que NF EN 61643-1 [4] ne concernaient que les applications en courant alternatif des parafoudres. Dans cet article, nous analysons les exigences spécifiques relatives aux parafoudres pour systèmes photovoltaïques au travers de simulations par ordinateur et d'essais de laboratoire. Les conséquences sur les méthodes d'essai particulières pour de tels parafoudres y sont également traitées.

Protection contre la foudre des installations photovoltaïques : Exigences, procédures de test et applications pratiques

En raison de l'exposition et de l'étendue des systèmes photovoltaïques (que nous abrègerons tout au long de cet article par PV), les impacts directs et indirects de foudre présentent un risque élevé pour de telles installations. Le courant généré par un coup de foudre peut influencer les systèmes PV par des tensions inductives ou capacitives ainsi que par des surtensions dans le système d'alimentation électrique en amont. Afin de prévenir des pannes de systèmes provoquées par des surtensions dues à la foudre, il est nécessaire de coordonner de manière adéquate les concepts de protection contre la foudre et contre les surtensions. Les méthodes générales décrites dans les normes de protection contre la foudre NF EN 62305 peuvent également s'appliquer aux systèmes photovoltaïques. En règle générale, un système de protection contre la foudre destiné à un générateur PV se compose des éléments suivants :

- Système extérieur de Protection contre la Foudre (SPF) ;
- Installation de mise à la terre et équilibrage de potentiel ;
- Blindage magnétique et câblage ;
- Protection SPD (Surge Protection Device) coordonnée.

La fig. 1 montre, à titre d'exemple, les mesures de protection contre la foudre et les surtensions les plus importantes pour un générateur PV couplé au réseau et intégré à une installation équipée d'une protection extérieure contre la foudre. Dans cet exemple, la distance de séparation " s " est respectée grâce à un système extérieur de protection contre la foudre distant des armatures du module. On désigne également une telle installation sous le terme de système isolé de protection contre la foudre. Si un champ de modules est protégé par un système de protection contre la foudre, la distance minimale de séparation " s " entre les parties conductrices du champ de modules et le système extérieur de protection contre la foudre devrait être respectée afin d'éviter l'écoulement de courants partiels de foudre au travers des parties métalliques du champ de modules. Pour les champs de modules installés sur le toit d'un bâtiment, la distance de séparation nécessaire ne peut pas toujours être respectée à cause de l'espace réduit à disposition. Dans ce cas, une connexion directe entre le système de protection contre la foudre et le cadre métallique des modules est nécessaire. Ceci a également des répercussions sur l'installation éventuelle de parafoudres.

Selon qu'un système de protection extérieure contre la foudre soit installé ou non, la future norme européenne d'application pour parafoudres raccordés à des systèmes photovoltaïques [5] décrit différents cas pour l'installation éventuelle de parafoudres :

- Bâtiment sans protection extérieure contre la foudre ;
- Bâtiment avec protection extérieure contre la foudre – Respect de la distance de séparation ;
- Bâtiment avec protection extérieure contre la foudre – Non respect de la distance de séparation.

Ceci conduit au tableau de sélection 1 pour SPD en fonction de la protection extérieure contre la foudre.

Protection contre la foudre	SPD sur l'entrée AC de l'onduleur	SPD sur l'entrée DC de l'onduleur
Pas de système de protection extérieure contre la foudre	SPD Type II conseillé	SPD Type II conseillé
Système de protection extérieure contre la foudre; respect de la distance de séparation	SPD Type I	SPD Type II
Système de protection extérieure contre la foudre; non respect de la distance de séparation	SPD Type I	SPD Type I

Tableau 1 : Sélection de parafoudres en fonction de la protection extérieure contre la foudre

également être protégés par des parafoudres adéquats [6]. Jusqu'ici, les normes d'installation telles que IEC 60364-5-53 et NF EN 61643-12 [2] [3] ainsi que les normes produits pour parafoudres telles que NF EN 61643-11 [4] ne couvraient que les applications en courant alternatif des parafoudres. C'est pourquoi dans cet article, l'accent a été mis principalement sur l'utilisation spécifique de parafoudres du côté courant continu d'un générateur PV.

EXIGENCES DE PROTECTION CONTRE LA Foudre RELATIVES AUX PARAFoudRES PLACÉS DU CÔTÉ COURANT CONTINU

Les exigences spécifiques relatives aux parafoudres placés du côté courant continu de systèmes PV sont analysées au travers de simulations par ordinateur et d'essais de laboratoire. Les conséquences sur les méthodes d'essai particulières pour de tels parafoudres y sont également traitées.

Impulsion de courant (courant de foudre partiel) I_{imp} pour SPD Type 1

Comme indiqué plus haut, le système de protection contre la foudre et les parties métalliques du champ des modules doivent être reliés entre eux, lorsqu'un champ de modules est protégé par un système de protection contre la foudre et que la distance de séparation "s" ne peut pas être respectée. Dans ce cas, des courants de foudre partiels s'écoulent au travers des parties métalliques

du système PV. La fig. 2 montre la répartition possible du courant de foudre dans une telle installation. Lorsqu'un coup de foudre direct frappe le système de protection contre la foudre, il se produit une différence de tension importante entre l'équilibrage de potentiel au niveau du toit et la "terre de référence" des conducteurs "plus" et "moins".

À cause de cette différence de potentiel, les parafoudres situés sur les bornes DC du champ de modules sont activés et des courants de foudre partiels s'écoulent au travers des parafoudres et des conducteurs "plus" et "moins" vers la "terre de référence" de l'onduleur. Dans ce cas, les parafoudres écoulent des courants de foudre partiels aux deux extrémités du conducteur DC. L'impulsion de courant nominale I_{imp} pour de tels parafoudres, qui selon la norme NF EN 61643-1 sont désignés comme étant des SPD de type 1, doit correspondre à la charge attendue sur le lieu d'installation. La répartition du courant de foudre peut être calculée d'après les méthodes décrites dans les normes NF EN 62305 partie 1 et partie 4.

Des simulations par ordinateur peuvent constituer un moyen utile pour évaluer la répartition du courant de foudre. Dans ce cas, il est nécessaire de transformer l'installation réelle en un schéma équivalent comme décrit dans l'exemple de la fig. 2. Ainsi par ex. à la fig. 2 correspond le schéma équivalent de la fig. 3. Lorsque le courant de foudre est conduit à la terre, celui-ci se répartit entre les conducteurs de descente et les lignes électriques au travers d'un parafoudre de liaison.

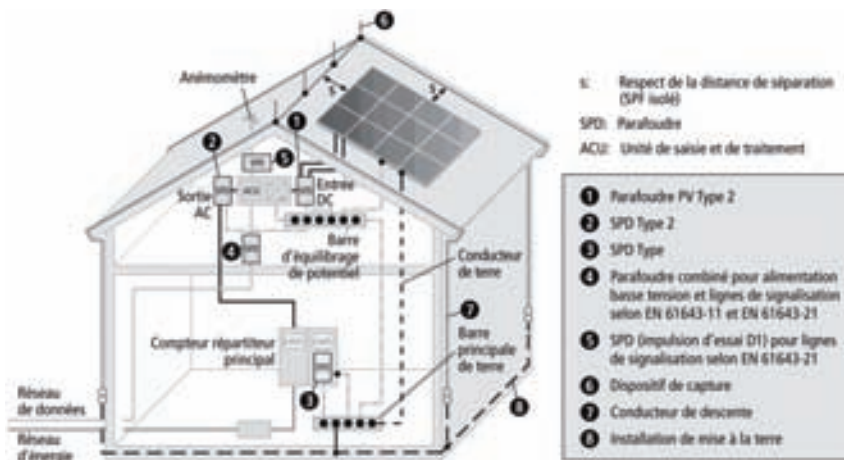


Fig. 1 : Mesures de protection contre la foudre et les surtensions pour un générateur PV couplé au réseau – Protection par un système extérieur et isolé de protection contre la foudre [6]

PROTECTION CONTRE LES SURTENSIONS POUR UN GÉNÉRATEUR PV COUPLÉ AU RÉSEAU

En règle générale, les mesures de protection coordonnées contre les surtensions pour un générateur PV couplé au réseau comprennent des parafoudres placés du côté DC et du côté AC du système PV. Si, au niveau du circuit, la distance entre le parafoudre et l'onduleur DC-AC est trop grande, la propagation de surtensions peut conduire à des oscillations. C'est ainsi que des coups de foudre à proximité d'un système PV induisent une surtension dans le câblage entre le parafoudre et l'onduleur. C'est pourquoi il est recommandé d'installer des parafoudres supplémentaires le plus près possible de l'onduleur PV si la distance entre le champ de modules et l'onduleur ou l'onduleur et le point d'alimentation de l'installation est supérieure à 10 mètres.

Si le système PV est équipé d'une unité de saisie et de traitement de données, les circuits de communication doivent

Pour le calcul de la répartition du courant de foudre à l'intérieur de l'installation, on tiendra compte, dans la fig. 2, des chemins suivants menant à la terre :

- quatre conducteurs de descente du système de protection contre la foudre ;
- connexion de mise à la terre du champ de modules ;
- deux lignes courant continu.

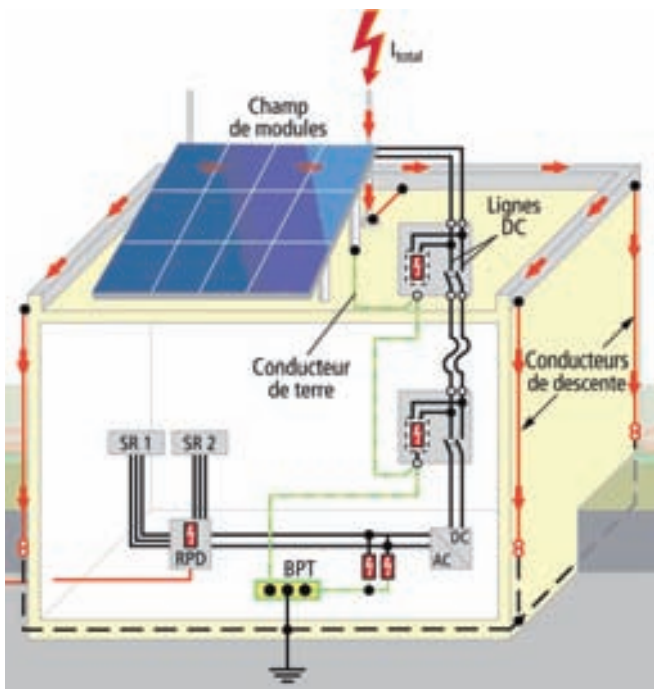


Fig. 2 : Répartition du courant de foudre dans un système PV

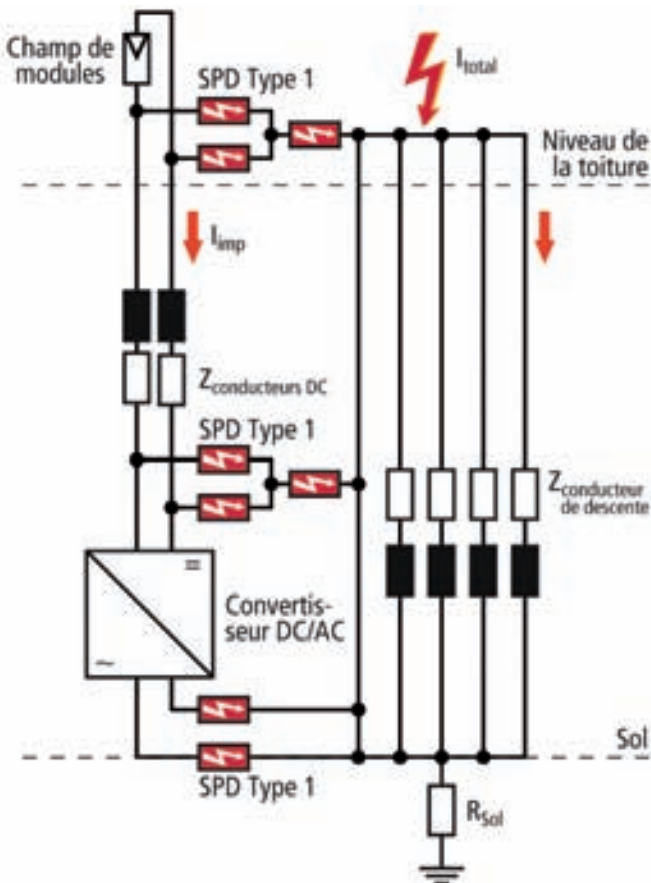


Fig. 3 : Schéma équivalent pour l'évaluation de I_{imp}

Si on néglige l'impédance des parafoudres et si on admet que les conducteurs de descente du système de protection contre la foudre et les lignes électriques sont de même longueur, la répartition du courant peut être évaluée à l'aide de la formule simplifiée suivante [7] :

$$I_{imp} \approx I_{total} / n \quad (1)$$

n = nombre total de chemins parallèles.

En se basant sur cette formule, on peut déterminer les valeurs de I_{imp} pour les parafoudres (voir tableau 2) en fonction des différents niveaux de danger (NPF) et des différentes valeurs du paramètre n .

Classe de protection contre la foudre NPF	$n=7$ (4 conducteurs de descente et mise à la terre) I_{imp}
I (200 kA)	28,6 kA
II (150 kA)	21,4 kA
III/IV (100 kA)	14,3 kA

Tableau 2 : Détermination de I_{imp} pour le SPD placé du côté DC du générateur PV

Courant nominal de décharge (I_n) pour SPD de type 2

Comme mentionné plus haut, le système de protection contre la foudre d'un système PV a pour principal but d'empêcher que des courants de foudre partiels ne s'écoulent au travers du système PV. Dans une installation ayant un système de protection contre la foudre isolé, seuls les effets inductifs provoqués par des impulsions électromagnétiques générées par la foudre (IEMF) sont à considérer. Ainsi d'après le tableau 1, l'installation d'un SPD de type 2 sur le côté courant continu du générateur PV suffit.

La fig. 4 montre comment le champ magnétique H généré par les courants de foudre s'écoulant dans le système de protection contre la foudre voisin peut induire des tensions importantes dans les boucles formées par les conducteurs, ce qui a pour conséquence, si ces boucles sont fermées, de générer des courants de chocs correspondants.

Ces surtensions induites sont le principal danger auquel les parafoudres de type 2 installés aux bornes des champs PV font face. Dans les essais de laboratoire, il est possible de déterminer le pouvoir d'écoulement nécessaire pour les parafoudres situés du côté courant continu des générateurs PV.

C'est pourquoi, on a testé en laboratoire un module PV ayant un court-circuit sur ses bornes de sortie, afin de déterminer le pouvoir d'écoulement nécessaire I_n [8] du parafoudre.

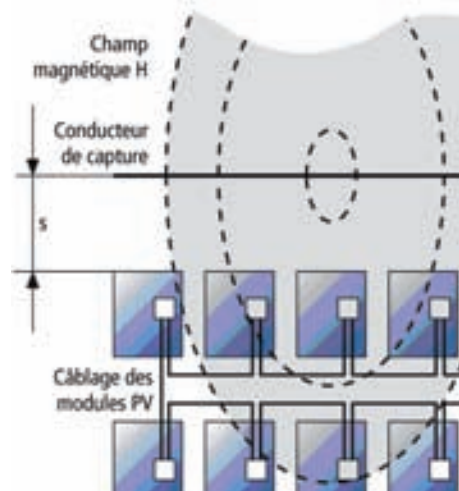


Fig. 4 : Surtensions induites dans un champ de modules provoquées par le champ magnétique généré par un courant de foudre à proximité

La fig. 5 montre les résultats les plus importants des essais inductifs sur un seul module PV :

- a) Le courant induit diminue de manière presque proportionnelle avec la distance entre le module PV et le conducteur de capture et augmente avec la pente de l'impulsion du courant de foudre primaire.
- b) Le courant induit présente une ondulation réduite. Celle-ci correspond presque à un courant de choc 8/20 lors d'un courant de foudre primaire 10/350.

Compte tenu de la mesure effectuée sur un seul module PV, la charge totale d'un champ de modules a été estimée à un courant induit maximal de ≥ 10 kA. On peut donc en déduire que pour un SPD de type 2 situé du côté courant continu d'un système PV, un courant nominal de décharge $I_n = 20$ kA (8/20) par string protégé est suffisant.

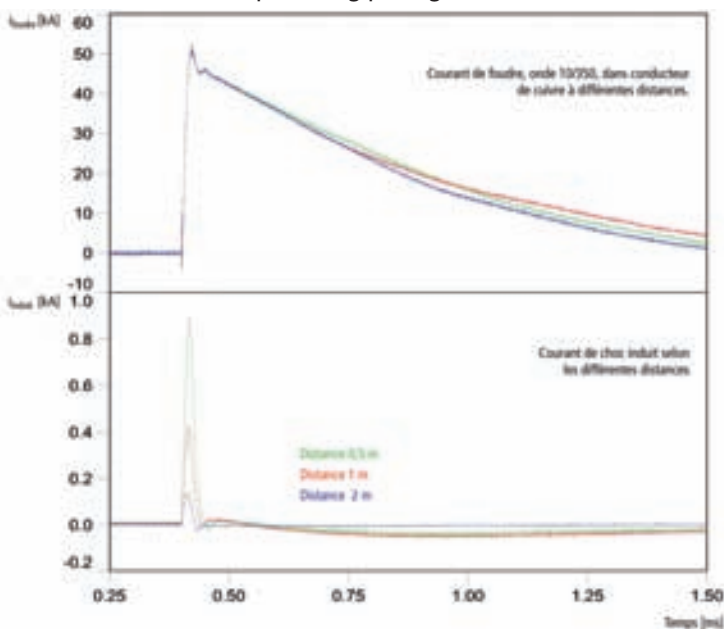


Fig. 5 : Courant de décharge induit dans un seul module PV

La fig. 6 montre le montage expérimental pour un deuxième essai dans lequel non seulement le comportement d'un seul module, mais également celui d'un champ de modules complet a été testé. Dans ce cas, le courant de foudre se répartit sur plusieurs chemins du cadre des modules. Ces essais ont confirmé dans les grandes lignes les résultats généraux obtenus lors de l'essai précédent. Des surtensions importantes ont endommagé le matériel d'exploitation du boîtier de raccordement du générateur PV qui n'avait pas été protégé par des parafoudres. Le paramètre déterminant pour l'apparition de surtensions provoquées par les effets inductifs est la pente du courant de foudre qui s'écoule dans les conducteurs de capture du système de protection contre la foudre. À cause de l'impédance de cet échantillon relativement grand, la pente du courant moyenne était limitée à $di/dt \approx 10 \text{ kA}/\mu\text{s}$. Cette pente de courant correspond à peu près aux indications de la pente de courant pour la classe de protection contre la foudre NPF III lors du premier courant de choc. Afin d'évaluer les courants de choc déterminants provoqués par des surtensions induites, courants définis par une pente moyenne de $200 \text{ kA}/\mu\text{s}$ pour un NPF I dans la partie 1 de la norme NF EN 62305, il est nécessaire d'entreprendre d'autres essais.

Les premiers résultats de ces analyses de courant induit sur des champs photovoltaïques en conséquence de chocs foudre subséquents seront présentés lors des conférences X SIPDA.

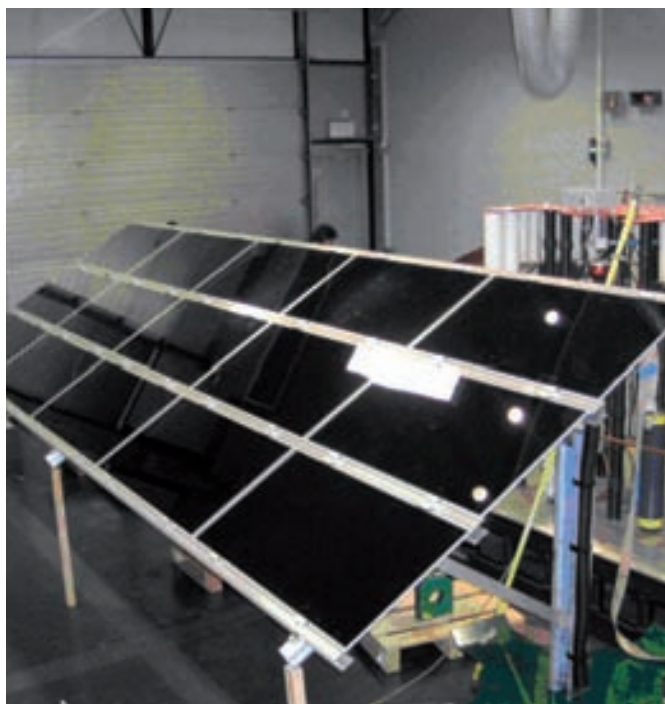


Fig. 6 : Laboratoire DEHN : Montage expérimental pour tester des surtensions induites dans un champ de modules provoquées par le champ magnétique généré par un courant de foudre à proximité

Coordination du niveau de protection U_p des SPD et de l'immunité aux perturbations de l'onduleur DC-AC

D'après la norme produit NF EN 61643, l'efficacité d'un parafoudre est déterminé par son "niveau de protection U_p ". L'immunité aux perturbations du matériel d'exploitation correspond à celle décrite dans la norme IEC 61000-4-5 [9] et sa tenue en tension est spécifiée dans la norme IEC 60664-1 [10]. Pour déterminer le niveau de protection U_p requis pour les parafoudres, l'immunité aux perturbations de l'onduleur doit être connue. On notera qu'il n'est pas uniquement nécessaire de comparer le niveau maximal de tension attendu U_{max} aux bornes du parafoudre avec la tenue en tension du matériel d'exploitation. Beaucoup d'autres paramètres peuvent être déterminants pour assurer une protection efficace, par exemple :

- courant de choc maximal I_{max} s'écoulant dans les équipements ;
- énergie maximale W_{max} transmise aux équipements ;
- intégrale Tension – Temps maximal $\int u dt$;
- variation de tension maximale $\frac{du}{dt}$.

Les parafoudres installés aux entrées AC et DC de l'onduleur doivent répondre à ces critères. Aussi bien les SPD de type 2, lorsque seuls des effets inductifs doivent être pris en compte, que des SPD de type 1, lorsque les effets d'un coup de foudre direct sur le système de protection contre la foudre du système PV doivent être considérés, doivent pouvoir répondre à ces exigences. Seul un essai de courant de foudre effectué dans des conditions réelles pour toute la configuration, à savoir les parafoudres et l'onduleur, offre la possibilité de prouver l'immunité aux perturbations du système global. [11], [12]. L'idée de base d'un tel essai est de comparer la philosophie d'essai standard de l'immunité aux perturbations d'un équipement avec les valeurs de perturbation majorées pour la protection contre la foudre et les surtensions. La fig. 7 montre le montage expérimental pour l'essai au courant de choc d'un onduleur central

avec des SPD de type 2 du côté DC et des SPD de type 1 du côté AC de l'onduleur.

Les résultats d'un tel essai du système constituent également une importante contribution au développement des parafoudres sur la base des technologies les plus modernes et les plus avancées.

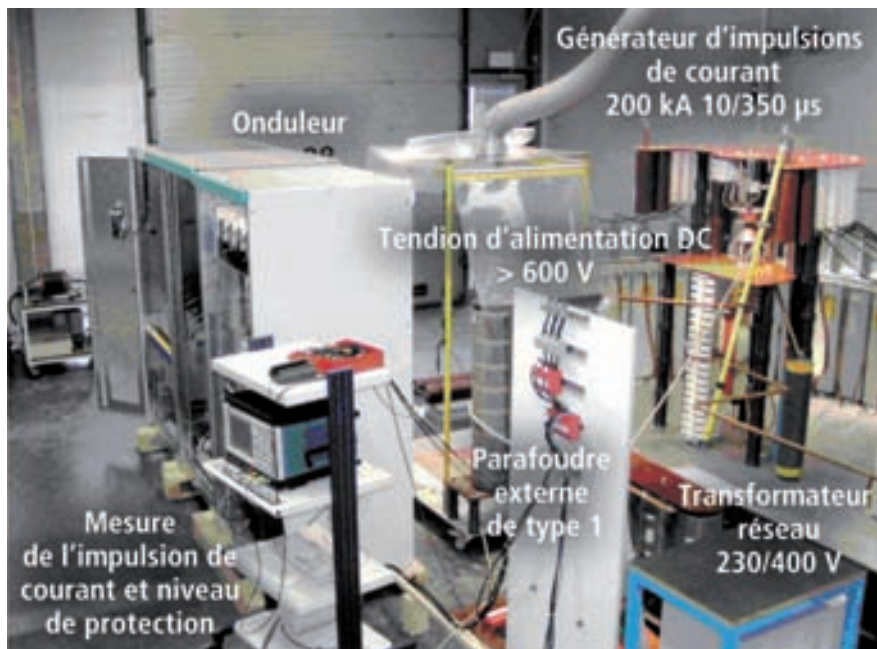


Fig. 7 : Laboratoire DEHN : Montage expérimental pour l'essai au courant de choc d'un onduleur central

EXIGENCES SYSTÈMES RELATIVES AUX PARAFOUDRES PLACÉS DU CÔTÉ DC DE SYSTÈMES PV

Des paramètres importants pour la sélection de parafoudres situés du côté DC de générateurs PV ont été décrits précédemment, paramètres qui tous concernaient des événements liés à la foudre et aux surtensions. Afin de garantir un fonctionnement sûr et fiable des parafoudres, il est également nécessaire de respecter certaines exigences importantes de l'installation qui découlent des caractéristiques particulières des générateurs PV.

Tension permanente maximale U_c des parafoudres

La tension permanente maximale U_c est un paramètre important pour la sélection de parafoudres. La règle générale suivante est également valable pour les parafoudres placés du côté DC des systèmes PV : U_c doit être plus élevée que la tension à vide maximale du générateur PV.

En exploitation, ce critère doit être rempli par toutes les lignes protégées (entre pôle "plus" et pôle "moins", entre pôle "plus" et "terre" et entre pôle "moins" et "terre").

Pour définir la tension à vide d'un champ de modules, le

paramètre $U_{OC\ Array}$ qui décrit la tension à vide d'un champ de modules dans des conditions normales, a été discuté dans le cadre de la future norme IEC CD-IEC 62548 "Installation and safety requirements for PV generators" [13]. Ces conditions normales, sous lesquelles des modules PV sont testés et dimensionnés, sont définies par une température des cellules PV de 25° C, une intensité d'irradiation sur la surface du module PV de 1000 W/m² et un spectre lumineux correspondant à une masse d'air de 1,5. Ces conditions normales sont par contre en contradiction avec l'exigence minimale selon laquelle U_c , dans toutes les conditions normales d'exploitation, doit être plus élevée que la tension à vide du champ de modules.

La fig. 8 montre la caractéristique courant-tension d'une cellule PV pour une intensité d'irradiation de 1000 W/m², la température des cellules PV correspondant à un paramètre variable. La tension à vide d'une cellule PV augmente lorsque la température de celle-ci chute. Dans l'exemple ci-dessous, la tension de ~ 42 V à une température standard de 25° C monte à ~ 52 V par - 25° C. Cette augmentation de la tension due à des températures basses des cellules doit également être prise en compte lors de la sélection de U_c pour un parafoudre installé dans un champ de modules.

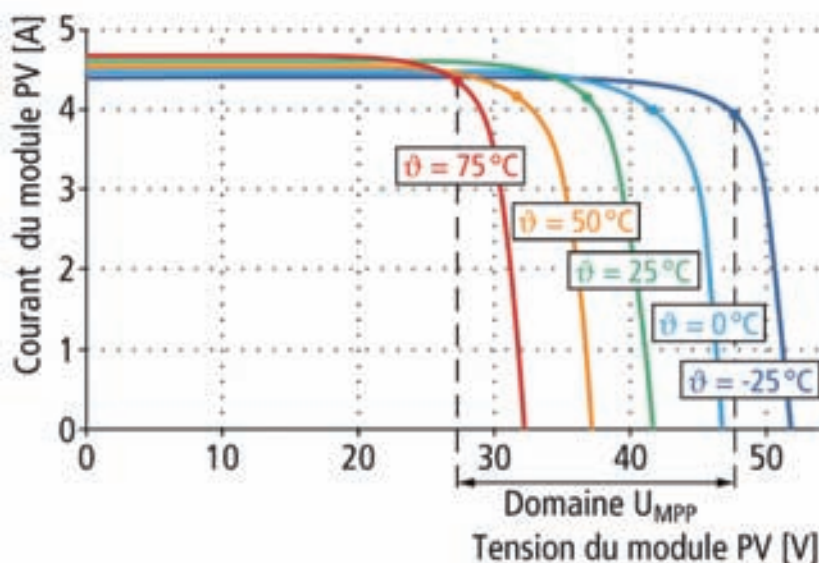


Fig. 8 : Caractéristique courant-tension d'un module PV pour différentes températures des cellules

Il est également important de savoir que la réelle tension à vide maximale d'un module PV s'écarte de cette valeur nominale. Et plus particulièrement pour les applications PV avec modules à couches minces, on attachera une grande importance aux tolérances de la tension à vide. Ainsi la sélection de U_c sur la base de $U_{OC\ Array}$ pour des parafoudres placés du côté DC d'applications PV ne paraît pas adéquate. C'est pourquoi dans la future norme d'application européenne prTS 50539-12 : 2009 déjà mentionnée précédemment, on a posé comme exigence minimale pour la tension d'exploitation des parafoudres placés du côté

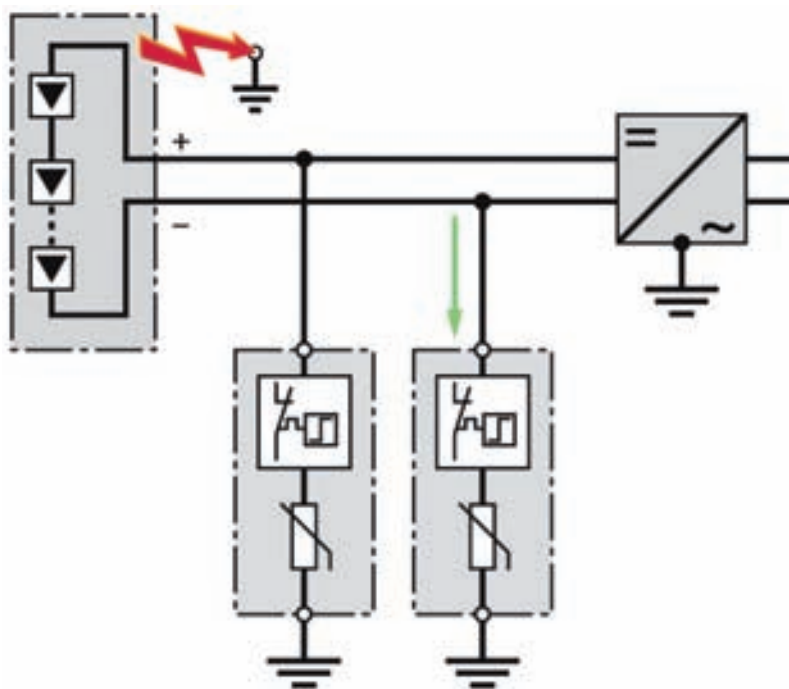


Fig. 9 : Défaut d'isolation dans un système PV non relié à la terre

Le scénario décrit dans la fig. 9 a servi de base pour le développement de parafoudres avec "montage en étoile résistant aux défaillances" (voir fig. 10). Cette conception permet de garantir que lors d'un défaut d'isolement le parafoudre ne soit pas surchargé. D'autre part, il possède un niveau de protection plus bas entre le pôle "plus" et le pôle "moins" et assure la coordination avec l'immunité aux perturbations de l'entrée courant continu de l'onduleur.

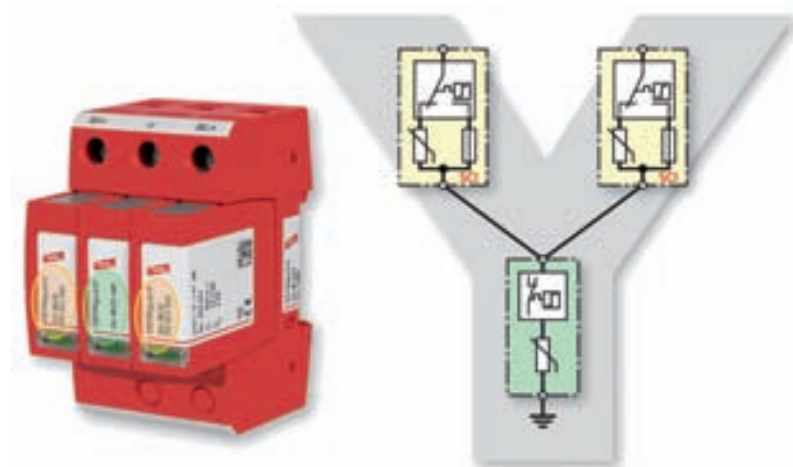


Fig. 10 : SPD avec "montage en étoile résistant aux défauts"

Grand nombre de coups de foudre ou de courants de choc

Malgré le "montage en étoile résistant aux défaillances" de dernière génération, les parafoudres peuvent être surchargés sur le côté DC des systèmes PV par un grand nombre de courants partiels de foudre ou de courants de choc. Durant les tests de pré-conditionnement et de fonctionnement, les parafoudres de type 1 et 2 doivent pouvoir supporter en tout 20 impulsions. Après cette série de tests, le niveau de protection U_p doit toujours se trouver à l'intérieur du

domaine de tolérance du parafoudre neuf. Un nombre plus élevé et excessif de coups de foudre ou de courants de choc dépassant la courbe caractéristique du parafoudre peut entraîner une lente dégradation et finalement la destruction des composants internes de celui-ci. Ceci peut conduire au communément appelé "Scénario de fin de vie". Contrairement aux applications SPD du côté courant alternatif, la coupure des parafoudres côté DC des systèmes PV par des dispositifs de protection contre les surintensités est problématique, car le courant nominal et le courant de court-circuit des champs de modules se situent au même niveau. Les dispositifs de coupure conventionnels qui offrent une coupure fiable dans le cas d'un "Scénario de fin de vie", sont conçus pour des applications AC. Le mécanisme de coupure pour les circuits courant continu est différent de celui destiné aux applications AC. Dans ce cas, il est nécessaire d'utiliser un dispositif de coupure DC spécifique. Le principe général permettant de couper un courant de fuite DC est de faire en sorte que la tension d'arc électrique du dispositif de coupure soit plus grand que la tension à vide de la source de courant continu.

Pour l'application spécifique aux circuits PV, on doit en plus tenir compte de la caractéristique courant-tension particulière du générateur PV (voir fig. 11) [17].

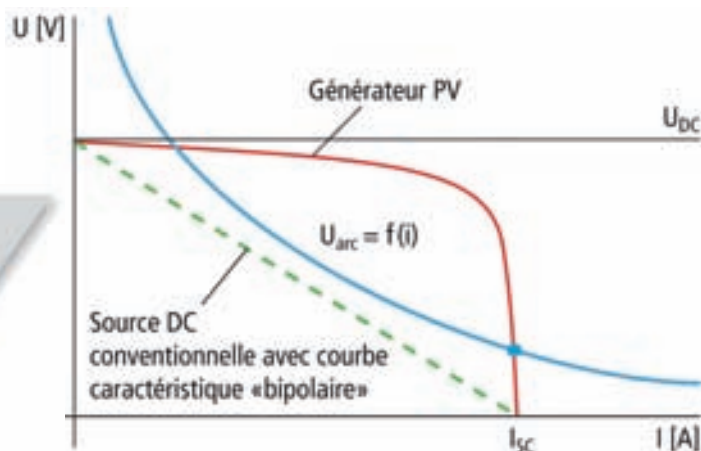


Fig. 11 : Comparaison de la courbe caractéristique statique d'une source de courant continu conventionnelle et d'un générateur PV

Un champ de modules, comparativement à une source de courant continu conventionnelle avec courbe caractéristique "bipolaire", a presque le comportement d'une "source de courant constant".

Une source de courant continu conventionnelle possède une courbe caractéristique courant-tension décroissant linéairement. Les différentes courbes caractéristiques courant-tension de ces différentes sources de courant continu conduisent aux différents oscillogrammes de la fig. 12. Sur ces diagrammes, on a représenté la tension sur un dispositif de coupure et le courant correspondant pour le test comparatif d'une source de courant continu conventionnelle ayant une courbe caractéristique bipolaire avec un générateur PV réel. Le générateur PV réel, malgré une tension d'arc électrique croissante lors de la déconnexion, fournit pendant le temps de coupure le courant désigné

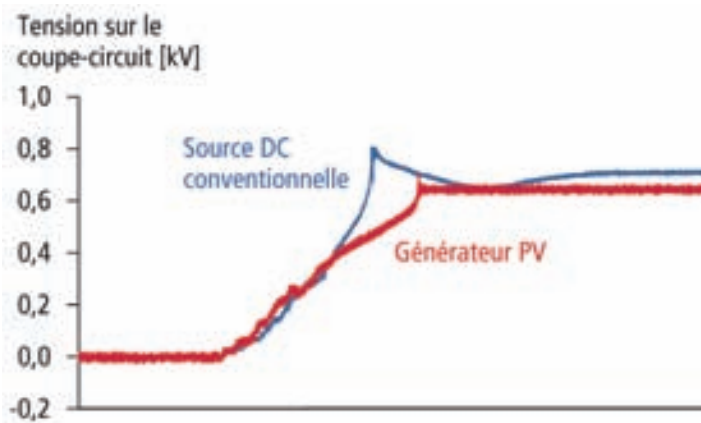
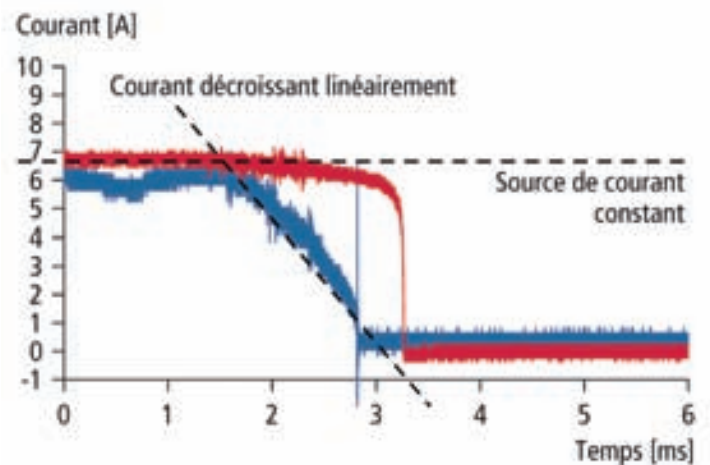


Fig. 12 : Essai comparatif de la coupure du courant continu d'une source de courant continu conventionnelle et d'un générateur PV réel

sur le diagramme par courant constant. Ce courant constant conduit à une dissipation d'énergie au niveau du déconnecteur beaucoup plus élevée qu'avec une source DC conventionnelle pendant le temps de coupure. De plus, la tension aux bornes du déconnecteur doit dépasser la tension à vide du générateur PV lorsque presque tout le courant de fuite DC s'écoule.

On peut donc en déduire que pour l'essai de coupure du courant continu de parafoudre pour des applications PV, il est nécessaire de procéder à une simulation de la courbe caractéristique courant-tension spécifique à un générateur PV pour un "Scénario de fin de vie". Cette constatation n'a pas que des conséquences sur un essai réaliste des dispo-



sitifs de coupure pour SPD dans des applications PV, mais également sur tous les coupe-circuits installés dans les systèmes PV et dans lesquels des arcs de coupure peuvent se produire.

Lors d'un essai futur sur des parafoudres avec éclateurs de classe 1 pour applications PV, la courbe caractéristique courant-tension spécifique à un générateur PV devrait également être prise en compte.

Ces résultats, fruits de minutieux essais en laboratoire, et les expériences faites lors d'essais sur le terrain avec des générateurs PV réels ont été pris en compte pour le développement des parafoudres pour les applications PV (voir fig. 10).

Que retenir ?

Compte tenu des caractéristiques particulières des systèmes PV côté courant continu et grâce à des expériences terrain, il s'avère que seuls des parafoudres ayant été développés et testés spécialement pour des applications impliquant des champs de modules devraient être utilisés. Les tentatives de guides PV nationaux (UTE 15712-1) ou traitant du parafoudre DC (UTE 61740-51, UTE 61740-52) constituent une avancée dans une quête de fiabilité face à une situation antérieure ou l'absence totale de référentiel normatif prédominait puisque la notion de fin de vie sans risque d'incendie est dorénavant intégrée dans le guide Produit UTE 61740-51.

Cependant, les conditions particulières d'une installation PV ne sont malgré tout pas complètement intégrées dans ces guides français puisque l'utilisation de sources stabilisées est permise et l'utilisation de générateurs PV ne constitue alors qu'une alternative au bon vouloir du fabricant de Parafoudres DC alors qu'elle devrait être la seule à être prise en compte pour crédibiliser les essais de fin de vie pratiqués.

Ce marché en pleine croissance ne doit donc pas uniquement représenter une opportunité commerciale pour les différents acteurs du marché mais aussi contribuer à agir pour mettre en œuvre les ingrédients d'une meilleure productivité et rentabilité avec la mise en œuvre de solutions de sécurité adaptée (comme la mise en place de parafoudres) mais en intégrant les spécificités des systèmes PV pour une meilleure fiabilité de ses solutions.

Les futures normes (Produit PR TS 50539-11 et d'application européenne PR TS 50539-12) destinées aux parafoudres PV par exemple ne doivent pas échapper à cette règle et intégrer les spécificités des systèmes PV en étant testés avec de véritables générateurs PV. □

Josef BIRKL et Dr. Peter ZAHLMANN – DEHN + SÖHNE

Traduction : Benoît LAUGEL et Philippe LELOIRE
DEHN FRANCE

GLOSSAIRE

AC: Alternating Current ou courant alternatif
DC: Direct Current ou courant continu
MOV: Metal Oxide Varistor ou Varistance à Oxyde Métallique
NPF: Niveaux de Protection contre la Foudre
SPD: Surge Protection Device ou système de protection contre les surtensions
SPF: Système de Protection contre la Foudre

BIBLIOGRAPHIE

- [1] NF EN 62305: 2006-10: Protection contre la foudre – partie 1 à partie 4.
- [2] IEC 60364-5-53: 2001 + A1: 2002: Sélection et installation d'équipement électriques: Chapitre 534 équipements pour la protection contre les surtensions.
- [3] NF EN 61643-12: 2005-03: Parafoudres basse tension – partie 12: Équipements de protection raccordés aux réseaux de distribution basse tension – Sélection et principes de mise en œuvre.
- [4] NF EN 61643-1: 2005-03: Parafoudres basse tension – partie 1: Performances, exigences et méthodes de test.
- [5] prTS 50539-12: Parafoudres basse tension – Surge protective devices for specific us including d.c. – partie 12: Sélection et principes de mise en œuvre – Parafoudres raccordés aux installations photovoltaïques.
- [6] IEC 61643-21: 2000: Parafoudres basse tension – partie 21: Parafoudres pour réseaux de données et de télécommunications – Performances, exigences et méthodes de test.
- [7] NF EN 62305-3 Bbl 5: Protection contre la foudre – partie 3: Dommages physiques sur les structures et risques humains – Chapitre 5: Protection contre la foudre et les surtensions des installations photovoltaïques.
- [8] J. Birkl und B. Schulz, "Protection contre la foudre et les surtensions pour applications photovoltaïques – Tests de performances de panneaux PV et de convertisseurs DC-AC", Rapports de la 28^{ème} Conférence Internationale sur la Protection Foudre, pp. 1292-1297, Kanazawa, Sep. 2006.
- [9] IEC 61000-4-5: 2007-6 Compatibilité Electromagnétique (CEM) – partie 4-5: Test et mesures techniques – test d'immunité aux surtensions.
- [10] IEC 60664-1: 2008-1: Coordination de l'isolement des matériels dans les systèmes (réseaux) à basse tension – partie 1: principes, exigences et tests.
- [11] J. Birkl "Protection contre la foudre et les surtensions pour installations photovoltaïques" – Systemtests im Labor; VDE-Fachbericht 62; 6.VDE-ABB-Blitzschutztagung, Neu-Ulm, Oktober 2005.
- [12] J. Birkl und P. Zahlmann, "How to verify lightning protection efficiency for electrical systems?" Testing procedures and practical applications, Proceedings of the IX International Symposium on Lightning Protection, pp. 450-455, Foz do Iguacu, Nov. 2007.
- [13] 1st CD on IEC 62548 "Installation and safety requirements for Photovoltaic (PV) generators" 82/514/CD 2008-02-08.
- [14] J. Ehrler und B. Schulz "Besonderheiten bei der Auslegung von Überspannungsschutzgeräten für Photovoltaik-Anlagen"; VDE-Fachbericht 64; 7.VDE-ABB-Blitzschutztagung, Neu-Ulm, Oktober 2007.
- [15] J. Ehrler: "Conception de parafoudres pour installations photovoltaïques conformes aux exigences de protection contre les surtensions, contre les risques d'incendie et de protection des personnes", Compte rendu des conférences foudre VDE-ABB-Blitzschutztagung, Neu-Ulm, Oktober 2009.
- [16] H. Häberlin "Photovoltaïque", AZ-Verlag, Arau-CH, 2007.
- [17] J. Birkl und und P. Zahlmann: "Prüfung von Schaltgeräten für Photovoltaik-Generatoren"; etz Heft 08/2009.