

# Risque d'éclairs d'arc ...

## Réduire l'exposition dans les systèmes de distribution à basse tension

Par Maurice D'Mello, ing. – ingénieur de systèmes, GE Énergie – Solutions industrielles, Canada

Le Code canadien de l'électricité 20121 recommande que les équipements électriques comme les appareillages de commutation, les panneaux de distribution, les systèmes de commande de processus, les bâtis de socles de compteur et les centres de commande des moteurs qui vont vraisemblablement exiger une surveillance particulière lorsqu'ils sont sous tension doivent être identifiés afin de mettre le personnel en garde contre les risques d'éclairs d'arc. L'annexe B du même code fait référence aux normes CSA Z4622, ANSI Z535.43 et IEEE 15844 qui doivent servir à déterminer la sévérité, la sélection de l'équipement de protection individuelle (EPI), l'étiquetage et la limite de protection contre les éclairs d'arc et l'énergie incidente (EI) à une distance de travail.

Un court-circuit à fond est le défaut le plus important à prendre en considération lors de la conception des systèmes de distribution. Un court-circuit à fond, comme son nom l'indique, survient lorsque les conducteurs sous tension entrent en contact durant un défaut. Le courant de défaut circule à travers les conducteurs. Résultat: chaleur et force sont appliquées sur les conducteurs et les supports. Règle générale, ce type de défaut survient très rarement. Un défaut d'arc peut être causé par un conducteur mal fixé entrant en contact avec des conducteurs sous tension. Ce conducteur mal fixé fondra presque instantanément ou être projeté et le courant s'envole dans les airs. Ce type de défaut est commun. Un défaut d'arc cause un éclair d'arc et les risques liés à celui-ci comme une lumière extrême, une expansion rapide de l'air chaud, des éclats de métal, des ondes sonores et de pression, du métal fondu et des vapeurs pouvant atteindre une température de 20 000 °C. La décharge d'énergie d'un éclair d'arc dépend de la tension du système ainsi que de l'amplitude et de la durée du courant du défaut d'arc. Les études sur les courts-circuits et la coordination des dispositifs de protection prennent en considération les courants de courts-circuits à fond et non pas les courants des défauts d'arc. L'analyse des risques d'éclair d'arc utilise l'information provenant des deux études antérieures, mais prend en considération les courants de défaut d'arc et les temps de déclenchement basés sur les courants de défaut d'arc.

La norme CSA Z462 exige que l'employeur établisse un milieu de travail sécuritaire. S'il ne peut pas l'assurer, il doit effectuer une analyse des risques électriques. Cette analyse comporte deux parties : une analyse des risques électriques et une analyse des risques des coups d'arc. Une analyse des coups d'arc détermine la limite de protection contre les coups d'arc, l'énergie incidente à la distance de travail et les articles de protection individuelle que le personnel se trouvant à l'intérieur de la limite de protection contre les coups d'arc doit porter. Effectuer un calcul détaillé à l'aide de l'annexe D de la norme CSA Z462 est une des méthodes servant à déterminer les exigences relatives aux articles de protection individuelle. Les travailleurs doivent (clause 4.3.7.3.1) porter des articles de protection individuelle chaque fois qu'ils sont à l'intérieur de la limite de protection contre les coups d'arc. L'autre méthode consiste à utiliser le tableau 4A ou 4B de la norme CSA Z462 pour déterminer la catégorie de risques basé sur la tâche à effectuer, le type et la tension nominale de l'équipement, le niveau de défaut maximum et le temps maximum de relèvement de dégagement. Par exemple,

La norme IEEE 1584 fournit des formules (et un fichier Excel) pour le calcul de l'énergie incidente à une distance de travail et de la limite d'éclair d'arc pour différents types de matériel. Les formules montrent clairement que la durée d'élimination d'un défaut d'arc a une influence importante sur l'énergie incidente de l'éclair d'arc et la limite d'éclair d'arc. Par exemple, prenons un transformateur de 1 500 kVA, 13,8 kV/600 V, qui alimente une charge par l'entremise d'un disjoncteur secondaire. Le court-circuit à fond est de 30 kA, mais le court-circuit d'arc est de 20 kA. Un disjoncteur qui élimine le court-circuit d'arc en 0,13 secondes laissera une énergie incidente de 6 cal/cm<sup>2</sup> toucher le visage et la poitrine à une distance de travail de 609 mm de la source de l'arc. Un EPI d'une capacité nominale de 6 cal/cm<sup>2</sup> est nécessaire pour protéger adéquatement le travailleur d'une telle énergie. Si les paramètres du disjoncteur étaient établis en fonction du court-circuit à fond, la durée d'élimination pour le courant de court-circuit d'amorçage d'arc serait de 1,25 seconde. Ceci se traduirait par une énergie incidente de 57 cal/cm<sup>2</sup> à une distance de 609 mm de la source de l'éclair d'arc. Ceci est supérieur au maximum de 40 cal/cm<sup>2</sup> de l'EPI et il peut ne pas être possible d'y survivre. Il est très important de noter que les courants de court-circuit d'arc sont toujours inférieurs au courant de court-circuit à fond. Par exemple, d'après la





Par Maurice D'Mello, ing. – ingénieur de systèmes, GE Énergie – Solutions industrielles, Canada

norme CSA Z462, à 480 V, le niveau minimal pour la production d'un court-circuit d'arc est de 38 % du courant de court-circuit à fond. Les données d'autres sources<sup>7</sup> montrent que pour 600 V, le minimum est de 28 % et que pour 480 V, il est de 21 %.

Les promoteurs des fusibles indiquent que ceux-ci réduisent le niveau d'énergie incidente dans un système et que le remplacement des disjoncteurs par des fusibles devrait être l'une des mesures les plus importantes à envisager pour réduire l'énergie incidente dans un système de distribution. Les calculs montrent que lorsque les fusibles sont en mode limiteur de courant, ils réduisent vraiment l'énergie incidente d'un système de distribution mieux que les disjoncteurs. Mais la plupart des courts-circuits d'arc surviennent lorsque les fusibles ne sont pas en mode limiteur de courant, alors que leur action est plus lente que celle des disjoncteurs. Par exemple, un disjoncteur de 400 A produira, pour un courant de court-circuit à fond de 8,2 kA, une énergie incidente de 0,4 cal/cm<sup>2</sup> tandis qu'un fusible de 400 A produira une énergie incidente de 8,4 cal/cm<sup>2</sup>. Les disjoncteurs modernes ont de meilleures caractéristiques de limitation du courant que leurs prédécesseurs, un fait dont il n'est pas tenu compte dans la norme IEEE 1584.

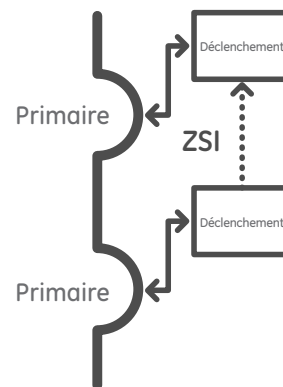
Certains systèmes de distribution doivent avoir une sélectivité complète. On la réalise toujours en allongeant la durée d'élimination du défaut ou le temps de déclenchement des dispositifs en amont, ce qui augmente l'énergie incidente engendrée par les courts-circuits du côté de la charge de ces mêmes dispositifs. Des solutions sont proposées plus loin dans le présent article pour la réalisation simultanée de la sélectivité et de la réduction de l'énergie incidente d'éclair d'arc.

L'analyse du risque d'éclair d'arc consiste à effectuer des calculs en utilisant les formules fournies dans la norme IEEE 1584. Le fichier qui accompagne la norme ne peut être utilisé que pour les petits systèmes de distribution. Dans ce fichier, il faut entrer manuellement les durées d'élimination des défauts des dispositifs de protection pour l'intensité du courant de court-circuit d'arc. Pour de plus grands systèmes, il faut utiliser un logiciel professionnel d'analyse de réseau électrique permettant d'intégrer l'étude des courts-circuits, la coordination des dispositifs de protection et les calculs de risque d'éclair d'arc pour pouvoir réaliser une analyse pour différentes intensités du courant du court-circuit d'arc et différentes durées d'élimination d'un défaut des dispositifs de protection afin d'en arriver à une solution optimale pour la

totalité du système de distribution. Ces trousse de logiciels impriment des rapports et même des étiquettes sur lesquelles figurent toutes les informations pertinentes sur le matériel.

Une analyse du risque d'éclair d'arc pourrait montrer qu'il y a un certain nombre d'emplacements où les niveaux d'énergie incidente sont très élevés et certains pourraient même être supérieurs à 40 cal/cm<sup>2</sup>, le niveau le plus élevé établi par la norme CSA Z462. En plus d'apposer des étiquettes appropriées et de fournir un EPI et une formation appropriée au personnel, vous devez examiner votre système de distribution pour pouvoir réduire les risques d'éclair d'arc à des niveaux plus sécuritaires. Voici quelques solutions à envisager.

- Verrouillage sélectif de zone dynamique – permet aux disjoncteurs de se déclencher aussi vite que possible (en moins de 92 msec) en cas de court-circuit dans leur zone tout en retardant le déclenchement pour les courts-circuits qui surviennent en dehors de leur zone. Ceci permet au dispositif en aval d'éliminer le court-circuit sans perte de sélectivité. On dit que le système est dynamique lorsque les zones sont redéfinies automatiquement en fonction de l'état (activé/désactivé) des divers disjoncteurs (primaire-lien-primaire) de l'appareillage de commutation.



- Protection différentielle des bus – permet aux disjoncteurs qui alimentent un court-circuit de bus (zone de bus) de se déclencher aussi vite que possible (en moins de 92 msec) mais pas pour un court-circuit de creux. Combinée au verrouillage sélectif de zone, cette protection est fiable de 20 % de la plus forte intensité nominale du disjoncteur (800 A pour un disjoncteur principal ayant une intensité nominale de 4 000 A) au niveau du court-circuit complet de l'appareillage de commutation. Les zones de bus doivent être redéfinies automatiquement en fonction de l'état (activé/désactivé) des divers disjoncteurs de l'appareillage de commutation.





Par Maurice D'Mello, ing. – ingénieur de systèmes, GE Énergie – Solutions industrielles, Canada

- IHM à distance – permet à l'opérateur de travailler à l'extérieur de la limite d'éclair d'arc du matériel et de pouvoir quand même faire fonctionner, examiner, ajuster, dépanner et entretenir l'appareillage de commutation.



- Opérateur de bâti à distance – permet d'introduire le disjoncteur dans son bâti et de l'en retirer à une distance d'au moins 10 mètres (qui peut être bien en dehors de la limite d'éclair d'arc). La norme CSA Z462 indique quelle est le HPC le plus élevé lorsque l'introduction ou le retrait du disjoncteur ou du compartiment des CCM se fait avec la porte ouverte.



- Condition de court-circuit à énergie réduite – fixe temporairement les paramètres de courte durée au minimum et/ou permet une activation instantanée. Ceci permet au disjoncteur d'éliminer le court-circuit beaucoup plus vite qu'aux réglages habituels. Cette méthode peut être utilisée lorsqu'une personne doit s'approcher de l'appareillage de commutation pour y fixer l'opérateur de bâti à distance ou lorsqu'une personne travaille en aval du disjoncteur.
- Mise à la terre à forte résistance – limite la fuite de terre à 5 A dans les systèmes de distribution BT et permet à la première fuite de la phase à la terre d'exister pendant que l'on tente de localiser et d'isoler le circuit défaillant. Le déclenchement prioritaire peut être utilisé pour relever le circuit le moins important si un court-circuit apparaît dans une autre phase à la terre. Les systèmes de mise à la terre pulsants peuvent être utilisés pour déterminer l'alimentation, la phase et même l'emplacement du court-circuit.
- Bus isolé – réduit considérablement la possibilité d'un court-circuit d'arc dans l'appareillage de commutation.



La conciliation de la sélectivité et de la réduction du risque d'éclair d'arc était un compromis établi avec la technologie disponible. Une technologie novatrice a permis de réaliser la sélectivité tout en réduisant le risque d'éclair d'arc entre des courants de court-circuit d'arc faibles et des courants de court-circuit à fond élevés.





Par Maurice D'Mello, ing. – ingénieur de systèmes, GE Énergie – Solutions industrielles, Canada

L'appareillage de commutation Entellisys® BT de GE fait appel à cette technologie novatrice pour réaliser la sélectivité tout en réduisant les risques d'éclair d'arc à la valeur nominale totale de court-circuit de l'appareillage de commutation et en assurant la flexibilité de la conception, du contrôle et de l'entretien.



L'appareillage de commutation Entellisys® BT de GE peut utiliser efficacement le verrouillage sélectif de zone dynamique et la protection différentielle des bus pour réduire l'énergie incidente d'un éclair d'arc. De plus, il est muni de bus isolés pour réduire le potentiel d'un éclair d'arc. Les commandes et les diagnostics peuvent être faits à l'aide d'un IHM à distance. Ceci réduit le risque de blessures pour l'opérateur. La condition de court-circuit à énergie réduite et le bâti à distance diminuent l'impact d'un éclair d'arc sur le personnel d'entretien. Les autres solutions énumérées ci-dessus sont aussi disponibles dans l'appareillage de commutation Entellisys® BT.

En conclusion, dans le passé, les systèmes de distribution étaient conçus en fonction du courant de court-circuit le plus élevé possible (courant triphasé de court-circuit à fond). Le matériel était sélectionné pour résister à ce courant de court-circuit élevé et l'interrompre sans danger. Les paramètres de protection étaient fixés à la valeur maximale pour assurer la sélectivité et pour demeurer dans les limites de stress thermiques et mécaniques du matériel. Cependant, l'analyse du risque d'éclair d'arc nous indique maintenant que le réglage

des dispositifs de protection sur cette base pourrait être néfaste pour les membres du personnel des opérations et de l'entretien si un court-circuit d'amorçage d'arc survenait alors qu'ils travaillent sur du matériel électrique sous tension. Nous devons tenir compte des limites thermiques du corps humain (déclenchement des brûlures au second degré à 1,2 cal/cm<sup>2</sup>) lorsque nous sélectionnons des dispositifs de protection et leurs réglages. Les éclairs d'arc sont un élément très important à prendre en considération lors de la conception des systèmes de distribution électrique.

- 1 Règlement contre les chocs et les arcs électriques
- 2 CSA Z462, Sécurité électrique au travail
- 3 ANSI/NEMA Z535.4, Panneaux et étiquettes de sécurité pour les produits
- 4 IEEE 1584, Guide de calcul des risques de coup d'arc
- 5 La limite de protection contre les éclairs d'arc est la distance entre une source d'arc prospective à l'intérieure de laquelle une personne pourrait subir des brûlures au second degré. Le déclenchement des brûlures au second degré est causé lorsque le niveau d'énergie atteint 1,2 cal/cm<sup>2</sup>.
- 6 Pour le HRC 4, la capacité nominale de l'ÉPI doit être de 40 cal/cm<sup>2</sup>. Ceci requiert une chemise et un pantalon ou une combinaison expressément conçu pour les éclairs d'arc, et un ensemble pour éclairs d'arc sélectionné afin que l'éclair d'arc du système satisfasse à une capacité minimale de 40 cal/cm<sup>2</sup>.
- 7 Practical Solution Guide to Arc Flash Hazards par Chet Davis et al.
- 8 Optimum Safety, Reliability and Electrical System Performance through Balanced Selective Coordination and Protection par Kevin Lippert & Charles Nochumson
- 9 The Single-Processor Concept for Protection and Control of Circuit Breakers in Low Voltage Switchgear par Marcelo Valdes, Indrajit Purkayastha et Tom Papalo

**GE Solutions industrielles**  
2300 Meadowvale Boulevard  
Mississauga ON L5N 5P9  
Canada  
marketing.cdn@ge.com

© 2013 Compagnie Générale Électrique



l'imagination en action

[www.ge-ed.ca](http://www.ge-ed.ca)