

De l'utilisation des fusibles pour réduire les risques de défaut d'arc

Risque de défaut d'arc

Pouvoir travailler sous tension devient de plus en plus important en raison de deux facteurs principaux: d'une part, les clients sont de moins en moins tolérants quant aux coupures de courant, d'autre part, les fournisseurs d'énergie réduisent les lignes de distribution redondantes pour des raisons de coût.

Les personnes travaillant sur des systèmes sous tension sont nécessairement exposées à un risque plus élevé de choc électrique et d'arcs électriques fortuits, mettant en danger leur santé voire leur vie. Lorsqu'ils demandent à leurs collaborateurs de travailler sur un système sous tension, les dirigeants doivent, à la fois, prendre en compte les risques liés au travail sous tension et les conséquences d'une coupure de courant. Bien que les défauts d'arc soient des événements très rares, le risque doit être considéré comme étant très élevé étant donné que les arcs électriques peuvent causer des blessures graves voire mortelles. L'évaluation des risques et la sélection d'équipements de protection individuelle appropriés (EPI) sont donc un préalable à tout travail sous tension.

La quantité considérable d'énergie libérée par les défauts d'arc en une fraction de seconde est responsable d'effets potentiellement désastreux pour les équipements et les êtres humains:

- Des conducteurs métalliques sont vaporisés, formant des vapeurs chaudes et des gouttelettes de métal en fusion.
- Ces vapeurs chaudes et éclaboussures de métal en fusion peuvent provoquer un incendie et des brûlures graves sur les personnes par voie directe ou au travers de l'inflammation des vêtements.
- La subite accumulation de pression causée par l'expansion thermique de l'air chaud et la vaporisation de métal peut provoquer une détonation qui elle-même peut occasionner une rupture des tympans, un collapsus pulmonaire et projeter violemment les personnes en arrière.
- Parmi d'autres exemples d'effets potentiellement nocifs, citons une lumière intense, un choc électrique, des produits toxiques et la projection d'éclats.

Limiter l'énergie d'arc potentielle au moyen de fusibles limiteurs de courant s'avère être la meilleure méthode pour réduire les risques de défaut d'arc. À titre d'exemple, il a été démontré aux Etats-Unis par des tests de défaut d'arc - durant lesquels on a mesuré la température et la pression - que les dispositifs de protection de surintensité limiteurs de courant non seulement limitent l'endommagement des composants du circuit, mais peuvent également réduire notablement l'exposition du personnel à des blessures graves. Des tests similaires basés sur la configuration des réseaux et les normes européennes sont encore à réaliser.

Les normes européennes

Les normes européennes relatives à la qualification des vêtements de protection et aux autres équipements pour la protection du corps humain contre les effets d'arcs sont les suivantes :

- CEI EN 61482-1-1: "Travail sous tension - Vêtements de protection contre les dangers thermiques d'un arc électrique"
Méthode de test numéro 1:
Méthode A: Détermination de la valeur de performance thermique à l'arc (arc thermal performance value - ATPV) des matériaux pour vêtements de travail. Méthode B: Evaluation de la conception des vêtements de protection.

- CEI EN 61482-1-2: "Travaux sous tension - Vêtements de protection contre les dangers thermiques d'un arc électrique" Méthode de test numéro 2 : Détermination de la classe de protection à l'arc des matériaux en utilisant un arc dirigé et contraint (test de la boîte).

Ces deux normes internationales mesurent le flux de chaleur au moyen de calorimètres et décrivent les propriétés des matériaux et des vêtements en réponse à l'énergie de convection et de rayonnement générée par un arc électrique. Malheureusement, les paramètres de test sont très différents et les résultats ne sont pas directement comparables (tableau I).

La partie 1-1 est principalement appliquée en Amérique du Nord et définit la valeur de performance thermique à l'arc (ATPV) d'un matériau, ce qui permet de prédire l'énergie incidente limite à partir de laquelle il y a risque de brûlure au second degré, basé sur la courbe de Stoll (fig. 1). Les tests sont réalisés à l'extérieur avec un arc électrique haute tension.

La partie 1-2 reflète les pratiques européennes et définit deux catégories de protection thermique contre l'arc (ATP) en fonction de la valeur potentielle du courant : 4 kA pour la classe 1 et 7 kA pour la classe 2. La série de tests met en œuvre une boîte de test parabolique qui forme un arc électrique contraint basse tension dirigé vers l'échantillon. Le critère d'approbation principal est que la valeur de l'énergie transmise soit en dessous de la courbe de Stoll (fig. 1).

Aucune de ces normes européennes ne saurait cependant indiquer des règles générales ou des conseils sur la façon d'évaluer les risques liés au travail sous tension. Cette évaluation reste donc de la responsabilité des opérateurs des réseaux électriques.

Evaluation du risque

Toute décision quant à l'opportunité de travailler sous tension et au choix de la classe d'équipement de protection individuelle appropriée doit être basée sur une évaluation approfondie des risques de défaut d'arc sur le site de travail. Les nombreux facteurs de risque à prendre en considération (par exemple le niveau de tension, l'environnement de travail, le niveau de formation et l'assiduité au travail de l'opérateur, la puissance disponible sur le site, etc.) font que l'évaluation des risques de défaut d'arc est plutôt difficile, spécifique à chacune des tâches des opérateurs et, dans une certaine mesure, imprévisible. D'un autre côté, il y a un intérêt certain à estimer le risque de la façon la plus réaliste possible non seulement afin de sélectionner l'équipement de protection individuelle adéquat, mais aussi afin d'éviter de gêner inutilement le travail de l'opérateur, ce qui pourrait également générer des défauts d'arc accidentels.

Tableau I - Paramètres du test d'arc

Paramètres	IEC 62482-1-1	IEC 62482-1-2
Tension d'alim.	≥ 2000 V	400 V
Courant de test présumé	8 kA	4 kA or 7 kA
Durée d'arc	Variable	500 ms
Ecartement d'arc	300 mm	30 mm
Matériau de l'électrode	Inox	Al / Cu
Distance test (specimen - arc)	300 mm	300 mm
Environnement de l'arc	Air libre	Boîte de test parabolique
Résultat du test	ATPV	Classe ATP

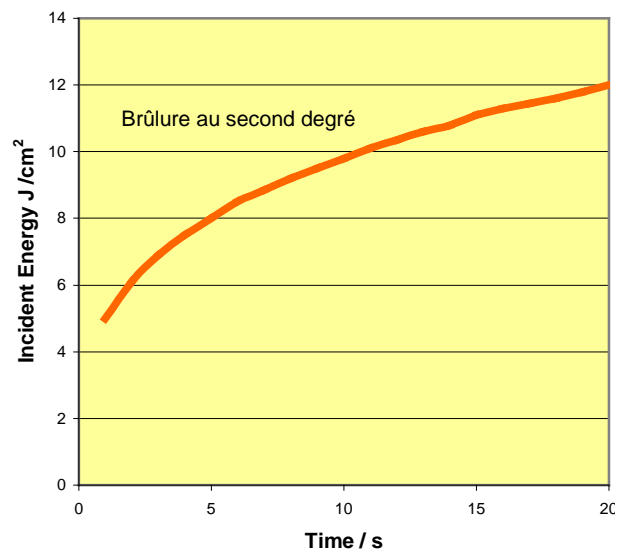


Fig. 1 - Tolérance du tissu humain à la chaleur (courbe de Stoll)

Les niveaux d'énergie incidente sont couramment utilisés pour évaluer le risque de brûlures au second degré sur la peau et la classe d'équipement de protection nécessaire. Les valeurs limites sont données par la courbe de Stoll (fig. 1). On peut espérer éviter toute brûlure au second degré en dessous d'un niveau d'énergie incidente d'environ 5 J/cm^2 .

Bien que l'énergie incidente soit relativement difficile à prévoir, le courant présumé de court-circuit sur le site de travail peut être calculé à partir des paramètres du réseau. L'énergie émise par l'arc, quantité déterminante du risque de défaut d'arc, est environ égale à l'énergie fournie $W_{\text{arc}} = U_{\text{arc}} I_{\text{arc}} t_{\text{arc}}$. Par conséquent, le risque de défaut d'arc est fortement lié au dispositif de protection contre les surintensités installé en amont du site de travail. Alors que la tension d'arc U_{arc} dans un système de distribution basse tension se trouve dans une fourchette relativement faible allant de 80 V à 130 V, le courant présumé et la durée d'arc suivent grossièrement la caractéristique du dispositif de protection (par exemple, le fusible limiteur de courant (fig. 2)).

Etant donné qu'il n'existe aucune formule pour calculer exactement l'énergie incidente du courant présumé de court-circuit et des caractéristiques du fusible, seules des règles générales peuvent être appliquées pour réduire les risques d'arc en réduisant l'énergie de défaut d'arc sur le site de travail.

Réduire les risques au moyen de fusibles

Les dispositifs de protection contre les surintensités présentent des caractéristiques temps/courant fonction de la tenue aux surintensités de l'équipement à protéger, c'est-à-dire que plus le courant est élevé, plus le temps pour interrompre le courant est court. **Comme les fusibles électriques ne présentent pas de retards mécaniques intrinsèques, ils sont très efficaces pour limiter des niveaux élevés de courant.**

À des niveaux de courant élevés, les fusibles agissent comme des limiteurs de courant, c'est-à-dire qu'ils sont capables d'interrompre les courants de défaut élevés en $1/4$ de cycle. Dans ce laps de temps, le temps de fonctionnement du fusible (temps de fusion t_f) est donné par la formule $t_f \sim I^{-2}$ (dérivée de $I^2 t_f = \text{constant}$). L'énergie de l'arc dans ce laps de temps représentent approximativement l'inverse du courant de défaut $W_{\text{arc}} \sim 1 / I_{\text{arc}}$:

Plus le courant de défaut sera élevé, plus les fusibles seront efficaces pour réduire l'énergie de défaut d'arc.

Des tests ont montré que l'énergie incidente à la distance de travail d'un arc électrique ne dépasse guère un niveau d'énergie de 5 J/cm^2 , valeur requise pour éviter toute brûlure au second degré de la peau, si les fusibles interrompent l'arc en limitant le courant. Par conséquent, **à chaque fois que cela est possible, des dispositifs de protection en amont seront sélectionnés pour limiter le courant en cas de défauts d'arc accidentels au cours de travaux sous tension.**

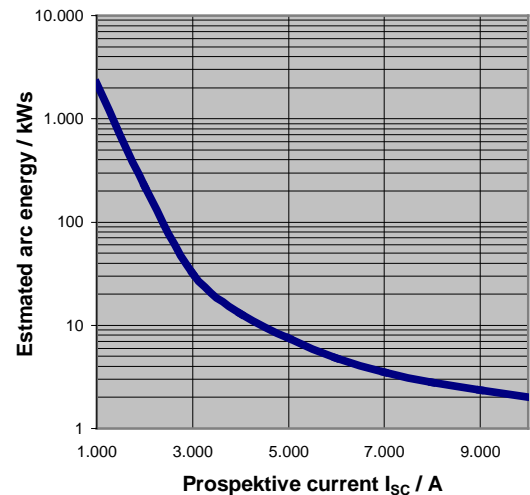


Fig. 2 - Approximation de l'énergie d'arc disponible (le dispositif de protection est un fusible gG 250 A)

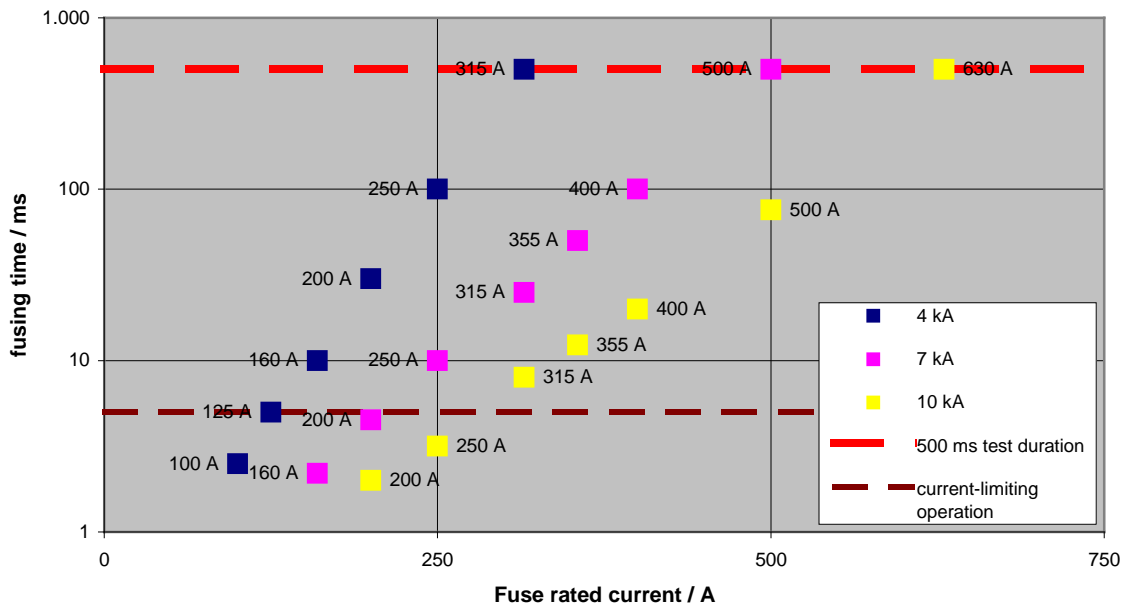


Fig. 3 - Limitation du temps d'arc au moyen de fusibles gG pour des courants présumés variés

Il faut toutefois garder à l'esprit que le courant d'arc est fonction de la tension d'arc et peut être considérablement minoré (jusqu'à 50%) de la valeur du courant de court-circuit. Les résultats des tests se référant à des courants de court-circuit présumés ne peuvent donc pas être appliqués à des configurations autres que celle testée.

Si les courants de défaut tombent en-deçà de la plage de limitation de courant, l'énergie incidente et le risque de défaut d'arc augmenteront significativement en raison d'un temps d'arc plus long (fig. 2). Cela signifie que ce n'est pas forcément l'emplacement le plus proche du transformateur d'alimentation qui présente le risque le plus élevé d'arc.

Il est à noter que même dans la plage de fonctionnement sans limitation de courant, les fusibles courants de type gG limiteraient normalement le temps d'arc et par conséquent les risques de défaut d'arc. La figure 3 compare le temps de fusion des fusibles gG par rapport à la durée d'essai de 500 ms pour les épreuves de classement des équipements de protection des classes 1 et 2 (un courant présumé de 10 kA a été inclus car ce test de courant non-standard est également assez commun). Les valeurs du temps de fusion dans la figure 3 sont basées sur les courants d'arc ramenés à 80% des courants présumés.

Le cas échéant, un niveau plus élevé de la limitation de l'énergie d'arc peut être atteint au moyen de fusibles d'action ra-

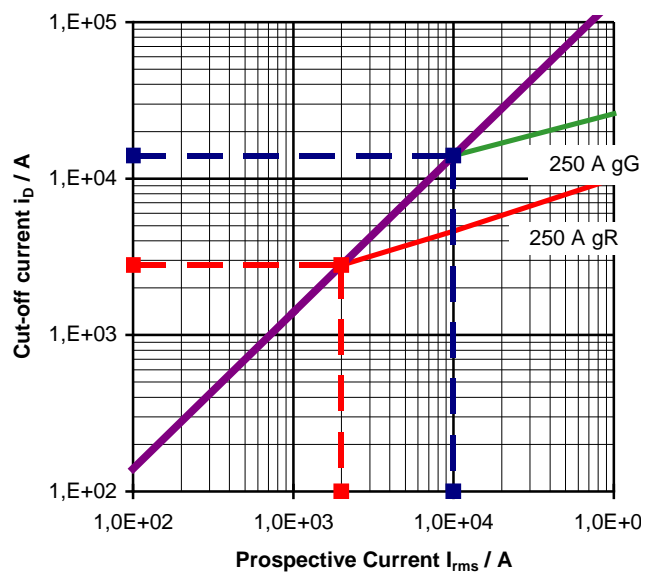


Figure 4 - Limitation de courant des fusibles gG d'usage général et des fusibles gR à action rapide

pide gR installés temporairement pour le travail sous tension. Les fusibles gR ont un seuil de fonctionnement en limitation de courant beaucoup plus bas (voir fig. 4) et sont donc encore plus efficaces pour réduire l'énergie du défaut d'arc. Les fusibles gR ne doivent être installés qu'à titre temporaire en raison de leur plus grande dissipation d'énergie.

Conclusion

Il apparaît que des fusibles appropriés sont en mesure de réduire de façon significative l'énergie d'un défaut d'arc et permettent dans certains cas l'utilisation d'équipements de protection individuelle de classe inférieure à celle déterminée uniquement par la durée standard d'arc et les courants de court-circuit présumés. Dans ces conditions, la relation entre le défaut d'arc protégé par fusibles et l'énergie incidente devra être préalablement établie au moyen des tests basés sur les normes européennes de test et la configurations du réseau.

Dans l'hypothèse où le courant maximum présumé représenterait le pire des cas de défaut d'arc, le même principe s'applique et l'énergie incidente au courant de défaut minimum devrait être également étudiée.

Pour plus d'informations sur le sujet, vous pouvez contacter vos spécialistes fusibles regroupés au sein de Pro Fuse International