

Protection fiable des circuits, la clé de voûte de vos machines

Intégrer & protéger.



Dr. Peter Terhoeven
1^{ère} édition

EAT•N

Powering Business Worldwide



Optimiser le temps d'utilisation machine, la productivité et la sécurité à l'aide d'une stratégie efficace de protection des circuits.

Dans tous les secteurs de l'industrie, les constructeurs veulent depuis toujours des machines à haut débit et à performance fiable. La réduction des coûts d'exploitation et une sécurité plus grande jouent également un rôle décisif. En plus de ces exigences, les constructeurs sont confrontés à des défis de plus en plus grands du fait de la globalisation croissante du marché. La concurrence est rude et les constructeurs doivent livrer de plus en plus vite et à des prix réduits, tout en tenant compte de cycles de vie des produits plus courts et des coûts croissants.

Par ailleurs, les utilisateurs finaux se concentrent de plus en plus sur leurs compétences spécifiques et sous-traitent la recherche de solutions à leurs fournisseurs de machines. Autre tendance à prendre en compte : en raison de la plus grande fiabilité des installations techniques, il y a moins de techniciens disponibles pour la maintenance ou les tâches élaborées. Or la complexité grandissante des machines et des équipements mis en œuvre requiert des connaissances toujours plus spécialisées et une multiplicité de technologies afin d'obtenir une protection optimale. Pour résoudre cette problématique, les machines doivent être, dans leur conception, aussi simples et sûres que possible tant au niveau du fonctionnement que de la maintenance.

Les utilisateurs finaux et leurs fournisseurs ont l'obligation de garantir la conformité avec l'ensemble des normes de sécurité tout en respectant les nouvelles lois et l'évolution des réglementations. Les blessures ou les accidents des opérateurs à cause de dispositifs de sécurité insuffisants sur les machines sont de moins en moins tolérés et la législation moderne en est le reflet.

Les constructeurs de machines peuvent tirer un avantage concurrentiel en améliorant la rentabilité de leurs clients grâce à la maîtrise de la technologie de la protection des circuits. C'est un domaine vaste et complexe, mais travailler avec des experts qualifiés peut s'avérer très bénéfique. Une protection adaptée des circuits permet non seulement d'améliorer la sécurité des opérateurs, mais aussi d'éliminer ou de réduire considérablement la perte de production causée par des déclenchements intempestifs, des coupures d'électricité ou des pannes d'équipement, des excès d'électricité suite aux surintensités, surtensions, etc.

La productivité et la disponibilité sont optimisées du fait qu'en cas de défaut, seul le circuit d'alimentation concerné est coupé, le reste du système assurant la production sans interruption. Une protection correcte améliore par conséquent la disponibilité du circuit concerné en coupant l'alimentation avant que des dégâts sérieux et permanents ne se produisent. De plus, de nombreux

composants modernes de protection de circuit permettent une indication locale ou à distance de leur état et avertissent, des problèmes imminents, ce qui facilite la maintenance préventive et réduit les arrêts.

Par ailleurs, une fois conçue, la machine est parfois reproduite et installée dans plusieurs sites du client dans le monde, mais avec la même exigence de conformité aux normes, aux conditions et réglementations locales. Il faut un partenaire d'une certaine envergure qui puisse être conscient de cette problématique, aider à trouver des solutions et développer des variantes localisées.

Pour mieux comprendre comment élaborer une politique de protection des circuits efficace et compétitive, commençons par regarder l'infrastructure électrique qu'un constructeur de machines doit livrer en tant que sous-ensemble à l'utilisateur final industriel. Prenons les défauts et autres problèmes d'ordre électrique survenant au sein de cette infrastructure avec leurs éventuelles conséquences. Cela fournira une base pour étudier les constituants et les stratégies de protection des circuits pouvant servir à résoudre ces problèmes.

Un constructeur de machines fournit en général une machine unique ou une série de machines à un utilisateur final pour intégration dans ses chaînes de production. La fourniture pourrait tout aussi bien concerner une ligne de production complète ou une usine entière. De telles solutions incluent une infrastructure électrique complète qui distribue l'énergie à partir de l'alimentation principale, l'amenant au site de production pour la répartir sur chaque machine. La plupart des usines sont alimentées en tension alternative triphasée de 400 ou 415 VAC passant en tension monophasée de 220 à 240 VAC. De nombreux automates, capteurs et actionneurs fonctionnent sous 24 VDC.

Toutefois, le succès d'une stratégie de protection de circuit dépend pour beaucoup du choix du bon partenaire commercial. Pourquoi ? Tout d'abord parce que les disjoncteurs, les fusibles et autres dispositifs fonctionnent rarement de manière optimale s'ils sont montés individuellement. Ils sont généralement intégrés dans des systèmes hiérarchiques où la « responsabilité » de la protection est partagée en fonction de leur rôle et de leur charge. Par conséquent, il est plus judicieux d'acquiescer ces constituants auprès d'un seul partenaire qui est en mesure de garantir leur bonne association et de conseiller une solution optimale.

Revenons brièvement sur l'alimentation électrique en courant continu plutôt qu'alternatif. Par exemple, une ligne de production ou une section d'usine alimentée en 380 VDC plutôt qu'en 415/240 VAC. Bien que ce cas soit inhabituel aujourd'hui sur les sites de production, il est intéressant d'en connaître les possibilités et les implications. Les applications photovoltaïques devenant plus courantes, il n'est plus rare de trouver des réseaux continus sous cette tension. De plus, certaines industries et des

applications telles que les datacenters commencent à utiliser la tension continue à la place de la tension alternative. Le rendement énergétique est amélioré car le nombre de conversions AC/DC est diminué sur l'ensemble de l'installation. Dans le secteur industriel, il est en outre question d'utiliser des réseaux DC intelligents pour les systèmes d'entraînement à haute performance.

En revanche, l'alimentation continue 24 V est largement répandue depuis longtemps dans les unités de production. C'est la distribution d'énergie appliquée notamment pour les automates industriels auxquels sont reliés capteurs et actionneurs.

Dans le cas d'un schéma DC à tension plus élevée, les constituants de protection de circuit sont soumis à des contraintes particulières. Les disjoncteurs-limiteurs AC s'ouvrent en deux ou trois millisecondes minimum pour réduire le passage de l'énergie. Mais ceci devient plus difficile à réaliser lorsque la tension et le courant augmentent. La possibilité de se servir du passage par zéro en tension continue prend d'autant plus d'importance quant au comportement d'ouverture des disjoncteurs. Au-dessus de 1 000 VAC, ce principe est déterminant. Or, le passage par zéro étant impossible avec le courant continu, les disjoncteurs DC sont obligés de s'en remettre entièrement à leur capacité d'ouverture rapide et de limitation de l'énergie les traversant.

Défauts pouvant survenir et leurs conséquences possibles

Dans la pratique, la plupart des réseaux d'alimentation des usines et des machines se composent ainsi : câbles, appareillage de commutation, transformateurs abaisseurs/élevateurs, moteurs à induction, électronique de puissance (convertisseurs de fréquence), consoles de commande et interfaces utilisateur, tableaux de distribution et commandes moteur centralisées. Il y a également des API, des appareils de mesure et d'autres organes de commande ainsi que les capteurs et actionneurs associés.

Les défauts possibles sont généralement de l'ordre suivant : surintensités, courants résiduels ou de fuite, défauts d'arc, chocs, surtensions dues à la foudre ou aux équipements voisins. Tous ces défauts représentent un danger pour les opérateurs et un risque d'endommagement pour l'équipement.

Les surintensités peuvent être causées par des environnements sévères, une détérioration générale, des dommages dus à des accidents ou à des causes naturelles, trop d'extension ou de surcharge du système de distribution. Elles prennent la forme de courants de surcharge ou de court-circuit. Un courant de surcharge est supérieur au courant d'exploitation normal, mais reste confiné dans les branches de circuit normales via les conducteurs et autres composants et récepteurs du réseau de distribution. Le courant de court-circuit passe en-dehors des conducteurs normaux.

Une surcharge, atteignant jusqu'à six fois le niveau de courant normal, est généralement provoquée par une crête temporaire de courant inoffensive, survenant au démarrage d'un moteur ou à la mise en marche d'un transformateur. Cette surcharge étant de courte durée, l'échauffement est faible et n'endommage pas les constituants du circuit ; les appareils de protection ne réagissent pas. Mais une surcharge peut persister à cause de moteurs défectueux, de roulements usés, d'équipement en surcharge ou d'un trop grand nombre de charges raccordées sur un circuit. Ayant un effet destructeur, la surcharge doit être stoppée à l'aide de dispositifs de protection. Les courants de surcharge étant toutefois relativement faibles par rapport aux courants de courts-circuits, le fait de les couper en quelques secondes ou minutes empêche l'endommagement des équipements. Mais en cas de surcharge prolongée, il y a risque d'échauffement des conducteurs et des autres constituants avec destruction de l'isolement. Si le courant n'est pas coupé à temps, de sérieux dommages et des courts-circuits peuvent survenir.

Contrairement aux faibles courants d'une surcharge, le courant de court-circuit ou de défaut pourra être cent fois supérieur au courant normal d'exploitation et aller jusqu'à 50 000 A, voire plus. Si la coupure n'intervient pas en quelques millisecondes, des dommages et des destructions peuvent se produire : endommagement de l'isolement, fusion des conducteurs, vaporisation de métal, ionisation de gaz, formation d'arc, feu. En même temps, les courants élevés de court-circuit créent des forces magnétiques énormes pouvant atteindre plusieurs kilos par mètre entre les jeux de barres et les autres conducteurs. Les fixations les plus solides ne suffisent pas à empêcher des déformations irréparables.

Les courants résiduels ou de fuite ne sont pas aussi élevés ni puissants que les courts-circuits, mais si un courant de fuite de

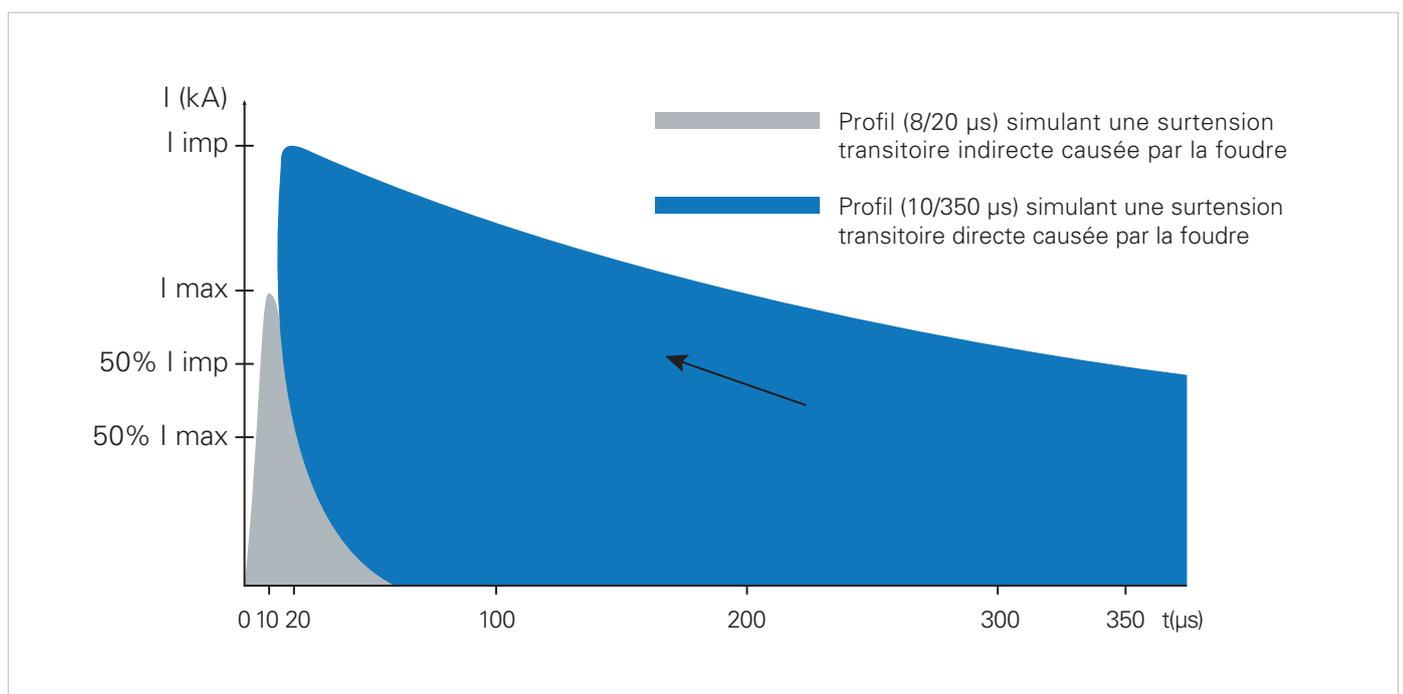


Fig. 1 : Surtension transitoire causée par la foudre

Protection des constituants par limitation du courant

Un appareil de connexion non limiteur de courant laisse passer des courants de court-circuit jusqu'à leur intensité maximale, ce qui entraîne un très fort dégagement d'énergies magnétique et thermique avant la coupure du court-circuit.

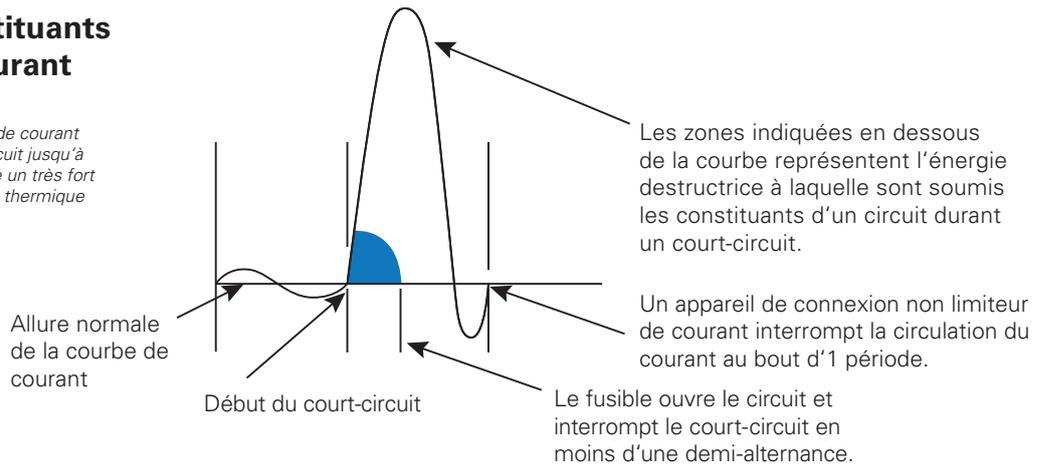


Fig. 2 : Prévention des surintensités destructrices avec les limiteurs de courant

seulement 30 mA traverse un corps humain pendant une fraction de seconde seulement, il peut entraîner un arrêt cardiaque ou des problèmes graves. D'autres blessures peuvent survenir si une personne tombe après une électrocution. Par conséquent, les systèmes de distribution électrique doivent inclure un bloc différentiel (Residual Current Device ou RCD) qui s'ouvre quand il détecte un déséquilibre entre les conducteurs sous tension et le neutre. Ce déséquilibre indique la présence d'un court-circuit ou d'un défaut électrique. Outre les risques d'électrocution, les courants résiduels élevés augmentent le risque d'incendie.

Les systèmes électriques des machines comportent souvent des convertisseurs de fréquence pour les entraînements à vitesse variable, générant des courants de fuite à la terre. Il est donc essentiel que le bloc différentiel réagisse de façon pertinente aux courants de défaut réellement dangereux, et non aux courants de fuite inhérents au fonctionnement des entraînements.

Un arc intempestif dans un circuit est qualifié de défaut d'arc. S'il n'est pas contrôlé, il peut libérer assez d'énergie pour causer des dommages importants à l'installation ou des blessures graves aux personnes. De plus, il peut causer des dégâts à grande échelle en déclenchant un incendie. Les arcs en série et en parallèle sont provoqués par des défauts d'isolement, des ruptures de conducteur, des contacts intermittents ou des conducteurs endommagés dans le réseau ou les appareils et équipements raccordés.

Du fait que les arcs ne provoquent normalement ni surintensités ni courants résiduels, les disjoncteurs ne les détectent pas et ne peuvent fournir une protection. Il faut ainsi doter les installations électriques de dispositifs de protection réagissant vite aux arcs potentiellement dangereux, mais sans déclenchement intempestif.

La nécessité d'une protection contre les surtensions dans l'ensemble du réseau de distribution devient de plus en plus grande avec l'utilisation croissante de microprocesseurs et autres composants électroniques sensibles dans les ordinateurs, les automates programmables et les divers équipements électriques et électroniques fréquemment utilisés. Les surtensions peuvent faire de gros dégâts, entraînant des défaillances sévères, des interruptions de processus et un vieillissement prématuré conduisant à une panne complète. L'origine des surtensions peut résider dans des événements extérieurs comme la foudre ou les défaillances du réseau. Mais des événements internes peuvent aussi causer des surtensions. Ballasts de lampes fluorescentes, variateurs de lumière, photocopieuses, fax et entraînements à vitesse variable sont les causes plus courantes. La fig. 1 montre le profil d'une surtension transitoire due à la foudre.

Dispositifs de protection des circuits

Nous avons vu précédemment les problèmes susceptibles de survenir dans un réseau de distribution électrique classique dans

le secteur de la production, avec les dommages possibles aux personnes et aux équipements. Nous abordons maintenant les différents types de dispositifs de protection de circuit existants, les avantages relatifs des technologies et des produits pour les diverses applications de protection et leur complémentarité dans le cadre d'une stratégie globale de protection.

Protection contre les surintensités

Les deux grandes familles de produits pour la protection contre les surintensités sont les fusibles et les disjoncteurs. Les disjoncteurs sont souvent perçus comme une alternative plus moderne ce qui n'est pas toujours le cas et en particulier dans les applications d'équipement industriel. En réalité, fusibles et disjoncteurs se complètent et sont utilisés en association dans un même réseau. L'avantage principal des fusibles est leur réponse rapide. Le temps d'ouverture est d'un quart de cycle du défaut alors que celui des disjoncteurs d'un demi-cycle ou plus. Les courants de défaut élevés sont ainsi évités, et cette capacité de limitation de courant présente des avantages dans de nombreuses applications, en particulier celles impliquant l'électronique de puissance comme les transistors bipolaires à grille isolée (IGBT) et autres semi-conducteurs. Des économies d'espace et de coût peuvent être réalisés sur les spécifications des câbles et des disjoncteurs puisque les fusibles les protègent contre les courants de défauts élevés.

Les caractéristiques et paramètres de fusible sont définis par la norme IEC 60269 relative aux fusibles. Celle-ci comporte plusieurs parties indiquant les paramètres et les caractéristiques

Sélectivité : pour éviter les pannes de courant

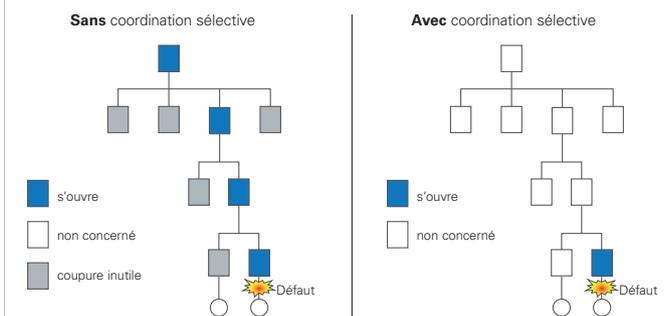


Fig.3 : Coordination sélective pour réduire les coupures et les pannes de courant

de déclenchement : gG pour la protection de ligne, gM et aM pour la protection des moteurs et gR et aR pour la protection des semi-conducteurs.

Les fusibles existent en différents calibres qu'il convient de définir afin que le meilleur choix soit garanti pour l'application concernée. La tension nominale est importante et doit être au moins égale ou supérieure à la tension du circuit. Elle détermine la capacité d'un fusible à supprimer l'arc interne généré après la fusion du fusible. Une tension nominale insuffisante limite cette capacité et le défaut peut ne pas être supprimé correctement.

Chaque fusible doit également avoir un courant nominal spécifique ne dépassant pas l'ampérage du circuit dans lequel il est monté. Néanmoins dans certains cas, ce courant nominal peut être plus élevé. Par exemple, dans les circuits pour moteur, les fusibles à deux catégories d'emploi comme les 100M125 ont des courbes de déclenchement similaires à celles des 125 A de la classe gG pour un courant constant de 100 A autorisant l'utilisation avec des câbles jusqu'à 100 A.

Le pouvoir de coupure donné d'un fusible indique la capacité du fusible à résister à l'énergie destructrice des courants de court-circuit. Lorsqu'un courant de défaut dépasse la valeur assignée, le fusible peut être détruit, entraînant d'autres dégâts. Les cartouches-fusibles standard IEC ont typiquement un pouvoir de coupure de 80KA ou 120 KA et certains fusibles rapides IEC spéciaux 200KA, ce qui est suffisant pour la plupart des applications.

Les dispositifs de protection (fusibles et, comme nous le verrons, disjoncteurs) peuvent être coordonnés afin de prévenir les coupures ou les pannes de courants dues aux surintensités. Une telle coordination est dite « sélective » : seul le fusible le plus proche du défaut ouvre le circuit tandis que les fusibles plus puissants en amont ne réagissent pas. La fig. 3 illustre la coupure

du circuit défaillant avec fonctionnement ininterrompu du reste du système. Il est facile de coordonner de manière sélective les fusibles modernes en maintenant un rapport de 1,6 entre les ampérages des fusibles des dispositifs amont/aval. Ce rapport ne doit toutefois être utilisé qu'à titre indicatif et la coordination des fusibles est à réaliser à l'aide des courbes temps/courant et des valeurs $i2t$ pour le choix des appareils sélectifs. Les règles générales d'association d'appareils basse tension en ce qui concerne la sélectivité et les dispositifs de protection supplémentaires dans les installations électriques sont indiquées dans plusieurs normes dont IEC 60364-1 et IEC 60364-5-53.

Il est souvent utile, voire indispensable d'obtenir de l'aide lors de la sélection des fusibles. L'étendue des applications possibles et l'offre existante sont vastes. Eaton, par exemple, répertorie 8 500 types différents de cartouches-fusibles, ce qui est exceptionnel.

Contrairement aux fusibles, les disjoncteurs peuvent être réarmés, même à distance. Dans certaines applications, le fait de pouvoir réenclencher le disjoncteur à distance au lieu d'envoyer un technicien sur le site est un argument décisif. Les disjoncteurs sont plus performants que les fusibles dans le cas des circuits à charges inductives tels que moteurs ou transformateurs qui entraînent des courants transitoires élevés au démarrage. Il est plus facile de régler les disjoncteurs sur de « vrais » défauts, sans déclenchement intempestif en présence de tensions inductives transitoires.

De plus, les disjoncteurs ont des propriétés de protection réglables pour s'adapter à de nombreuses applications, alors qu'il faut sélectionner un fusible avec des paramètres précis selon l'application concernée. Les disjoncteurs présentent également des fonctions de type arrêt d'urgence et d'interrupteur général. Par exemple, les disjoncteurs NZM d'Eaton intègrent ces multiples fonctions dans un seul appareil. Ils combinent la protection contre les surintensités avec une solution flexible et modulaire de poignée rotative ainsi que l'arrêt d'urgence, et répondent ainsi aux

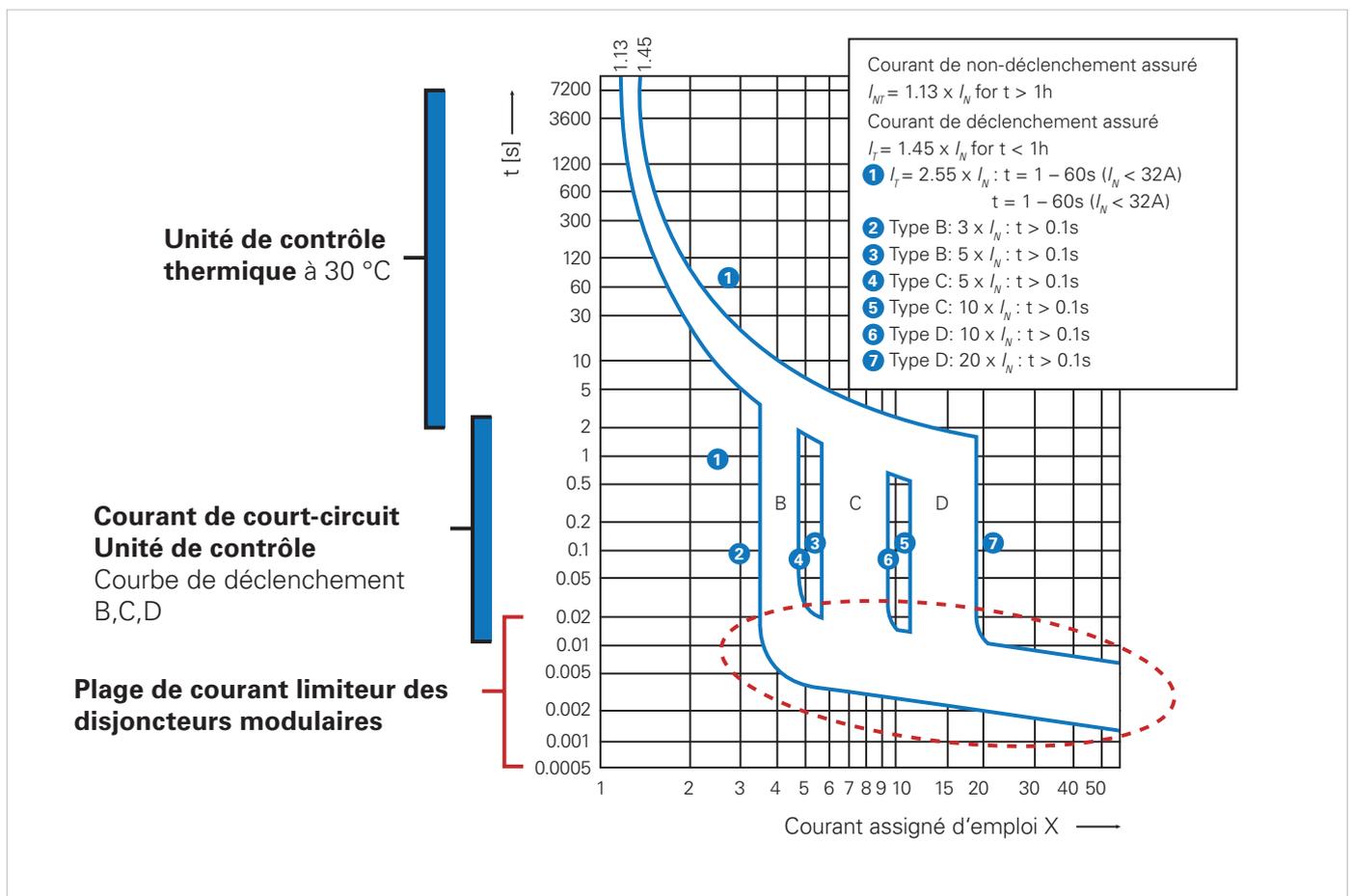


Fig. 4 : Courbes de déclenchement B, C et D pour disjoncteurs modulaires (MCB)

exigences les plus élevées. Les poignées rotatives sont montées sur le côté ou à l'arrière de l'appareil et s'adaptent à la plupart des configurations d'installation. Les solutions disponibles vont de 24 VDC à 1000 VAC, avec arrêt d'urgence et déclenchement à distance. Dans tous les cas, le levier et les contacts auxiliaires du disjoncteur indiquent de manière précise et fiable si le circuit est ouvert ou fermé, une protection étant ainsi offerte pendant la maintenance et l'utilisation.

Les disjoncteurs utilisés pour la protection contre les surintensités peuvent être classés selon leur capacité conductrice et leur forme. Les disjoncteurs modulaires (Miniature Circuit Breaker ou MCB) sont définis par la norme IEC/EN 60898 et conçus pour un courant nominal jusqu'à 125 A. Utilisés principalement dans le résidentiel ou en environnement similaire, ils sont également mis en œuvre dans les machines comme appareillage selon la norme IEC/EN60947-2. La norme IEC/EN 60898 définit les courbes de déclenchement B, C et D qui indiquent les limites de déclenchement sur courant de court-circuit. La fig. 4 compare les courbes B, C et D.

Les disjoncteurs boîtier moulé (Moulded Case Circuit Breaker ou MCCB) et les disjoncteurs ouverts (Air Circuit Breaker ou ACB) sont utilisés par les constructeurs OEM dans la construction des machines et autres applications industrielles. Ils protègent les câbles et les jeux de barres, les équipements de commande et les entraînements tels que moteurs, générateurs et transformateurs. Pour obtenir une protection et une performance optimales, il faut que les courbes de déclenchement correspondent le plus précisément possible aux besoins des installations concernées. La performance dépend également d'un fonctionnement sans déclenchements inutiles ou intempestifs.

Les disjoncteurs ouverts ont en général une puissance nominale entre 630 A et 6300 A, alors que les disjoncteurs boîtier moulé fonctionnent à des courants moins élevés. Les conditions de construction et de performance sont définies selon IEC/EN 60947-2, partie de la norme IEC 60947 relative à l'appareillage basse tension.

Les contacts des disjoncteurs MCCB sont intégrés dans un boîtier moulé en matière isolante et ne peuvent être ni remplacés ni

réparés. La taille du boîtier définit les paramètres électriques, mais le choix de l'appareil dépend en premier lieu de la nécessité d'un disjoncteur limiteur de courant ou non. Les disjoncteurs limiteurs de courant utilisent la technologie moderne des disjoncteurs boîtier moulé qui, en présence d'un court-circuit, déclenchent en moins d'un demi-cycle d'onde du courant de court-circuit symétrique présumé. Cela diminue considérablement l'énergie transmise du fait que l'énergie est une fonction du temps de passage du courant (I^2t).

Les disjoncteurs non limiteurs de courant utilisent des tailles de disjoncteurs boîtier moulé plus grandes avec systèmes de contacts robustes coupant le courant au passage normal par le zéro. Ils ont une limite élevée de courant de court-circuit qu'ils peuvent supporter pendant une courte durée. Dans le cas d'une résistance encore plus élevée aux courants de court-circuit pendant une courte durée, il est possible d'utiliser des disjoncteurs ouverts.

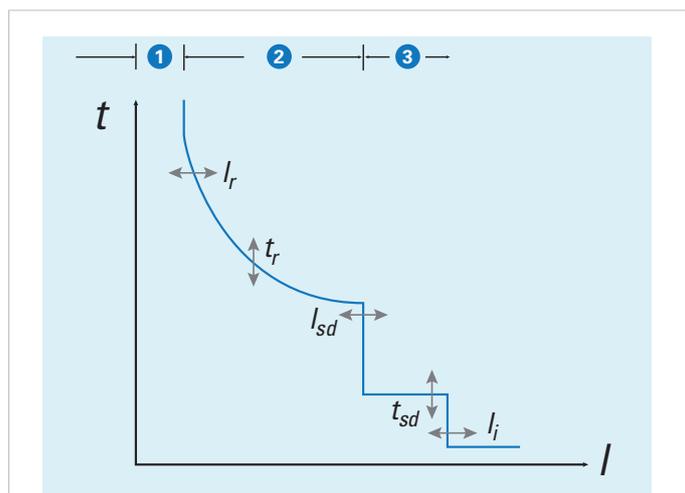
La fig.5 montre la courbe de déclenchement moyenne d'un disjoncteur boîtier moulé (MCCB) ou ouvert (ACB) dans des conditions de fonctionnement normales et exceptionnelles.

À la fig. 5, la zone 1 correspond à la plage de courant de fonctionnement normal dans laquelle le disjoncteur ne doit en théorie jamais déclencher. La zone 2 est la plage de surcharge où le déclencheur de surcharge temporisé, thermique (bimétallique) ou électronique, répond. Eaton propose des dispositifs dont le déclenchement peut être réglé comme l'indiquent les flèches grises de la figure. La courbe de déclenchement, conçue de sorte qu'elle corresponde à la capacité de charge des équipements à protéger, est longue pour les surintensités faibles et diminue lorsque le courant de surcharge augmente. Dans le cas de la protection des moteurs, des unités de contrôle électroniques peuvent régler le courant de déclenchement sur l'axe du temps de façon à maîtriser les crêtes de courants du démarrage. Avec les disjoncteurs MCCB (gamme NZM d'Eaton par ex.), les utilisateurs peuvent spécifier les unités de contrôle en fonction des circuits de distribution, de la protection des moteurs avec ou sans surcharge, de la protection sélective ou de la protection des générateurs.

Si le courant vers les appareils dépasse la surcharge admissible, la courbe de déclenchement se situe dans la plage de court-circuit de la zone 3 où le disjoncteur coupe le courant le plus vite possible. Le temps de réaction est réglable selon l'application. Dans le cas des moteurs et des transformateurs, il est possible de régler une protection évitant un déclenchement intempestif au moment du démarrage. Certains disjoncteurs sont équipés de déclencheurs avec et sans temporisation. Une sélection et un réglage appropriés des disjoncteurs permet de prévenir les déclenchements intempestifs sur l'ensemble de la plage de courant.

S'il est nécessaire d'avoir une plage de tolérance exacte, indépendante de la température, pour le point de déclenchement, il est possible d'utiliser des disjoncteurs hydro-magnétiques (Hydraulic-Magnetic Circuit Breaker ou HMCB). Leur tolérance, de - 0 % à + 25 % du point de déclenchement obligatoire, est beaucoup plus limitée que celle des fusibles ou des disjoncteurs à déclencheur thermique. Tout déclenchement intempestif pour cause de températures ambiantes élevées à l'intérieur ou à l'extérieur de l'équipement est éliminé. En outre, contrairement aux appareils thermiques, les disjoncteurs hydro-magnétiques peuvent être réarmés immédiatement après élimination du défaut. En cas de températures élevées, ils réagissent plus vite et augmentent la sécurité. Autre intérêt : ces disjoncteurs conservent toute la plage de courant nominal même en présence de températures élevées. Le déclassement (derating) ou toute autre forme de compensation de température sont inutiles.

Les disjoncteurs hydro-magnétiques sont utilisés dans les applications avec des changements de température liés à l'environnement de l'équipement plutôt qu'à la charge. Citons notamment les armoires de commande d'installations industrielles où la température ambiante varie énormément (industrie du papier, industrie métallurgique,...). Sans ces disjoncteurs, il y aurait des déclenchements intempestifs. Ainsi, avec un disjoncteur boîtier moulé ou ouvert réglé à 10 A, un déclenchement surviendrait dès 8 A à une température atteignant 80°C.



La figure illustre les différentes plages de la courbe de déclenchement :

- 1 Plage de non-déclenchement / service normal à gauche ou en dessous de la courbe de déclenchement bleue
- 2 Plage de surcharge : les surcharges transitoires sont admises
- 3 Plage de court-circuit

Fig. 5 : Courbe de déclenchement générale des disjoncteurs boîtier moulé (MCCB) et ouverts (ACB)

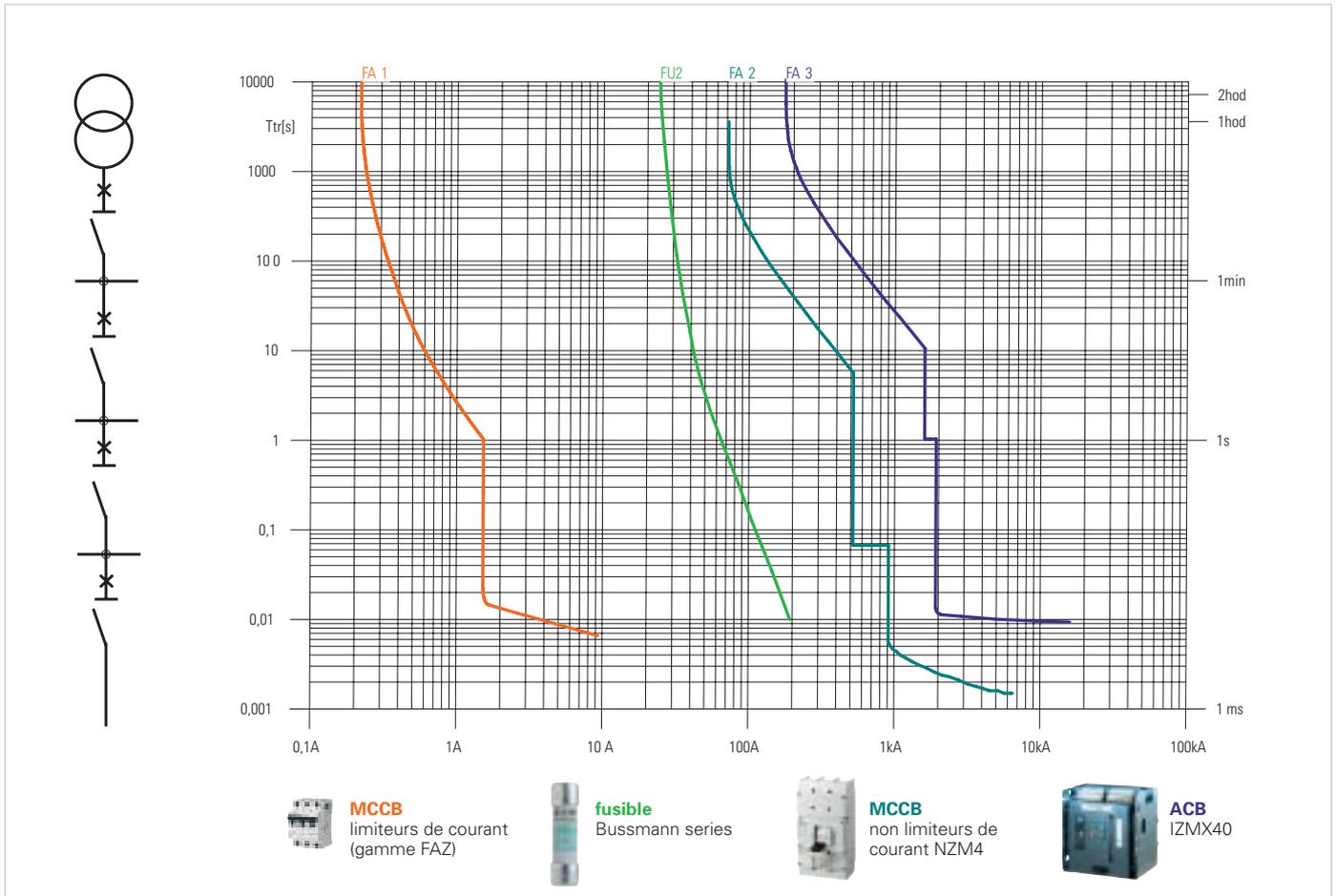


Fig. 6 : Evaluation de la sélectivité par représentation graphique (logiciel dédié)

La sélectivité a été évoquée plus haut avec les fusibles. Or elle s'avère nécessaire dans les installations avec des disjoncteurs ou avec des disjoncteurs et des fusibles – en fait, dans tous les systèmes où il faut coordonner la réponse des dispositifs de protection pour protéger chaque circuit et éviter des pannes de courant générales. Dans le cas des disjoncteurs, la norme IEC 60947-2 comporte une série de définition de la sélectivité :

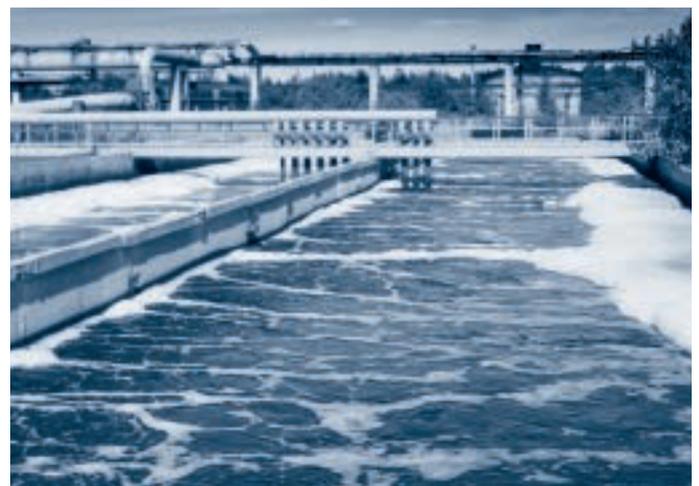
La sélectivité en cas de surintensité est la coordination entre les caractéristiques de fonctionnement de deux disjoncteurs ou plus, avec un seul appareil qui déclenche en présence d'une surintensité aux limites définies.

La protection de secours est la coordination de deux appareils montés en série, avec l'appareil le plus proche du côté alimentation prenant en charge la protection contre les surintensités avec ou sans l'aide du second appareil.

La sélectivité totale signifie que deux appareils de protection sont montés en série. L'appareil côté charge assume la fonction de protection jusqu'à son pouvoir de coupure maximum sans déclenchement de l'autre appareil.

La sélectivité partielle, contrairement à la sélectivité totale, signifie que l'appareil côté charge garantit la protection jusqu'à un niveau donné de surintensité sans déclenchement de l'autre appareil.

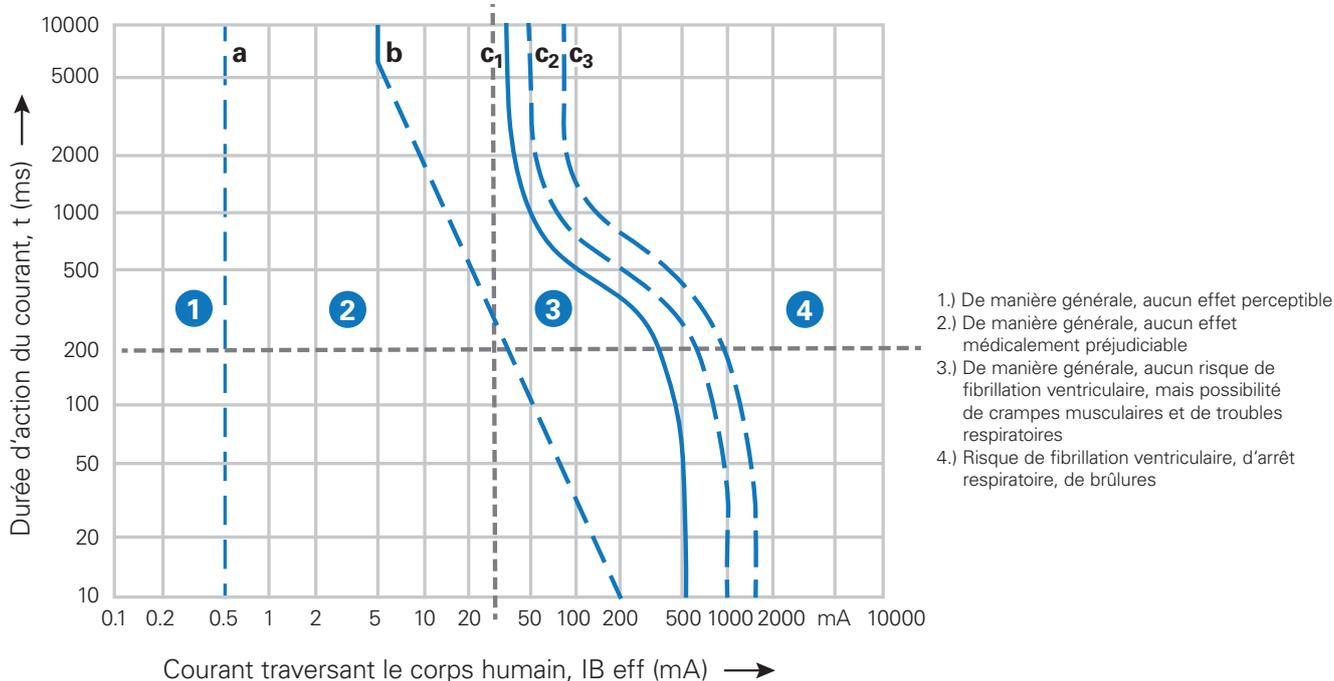
Il y a également la **sélectivité temporisée** où l'appareil situé en amont ou le plus près du côté alimentation applique une temporisation, permettant à l'appareil monté en aval et plus proche du défaut de déclencher. En définissant la sélectivité temporisée, il faut prendre en compte la valeur des courants admissibles de courte durée pour les disjoncteurs et les constituants associés



dans l'installation car la temporisation supplémentaire augmente la valeur de l'énergie passante pendant un défaut.

Du fait de la présence de différents courants dans un réseau de distribution, des disjoncteurs de tailles différentes sont raccordés en série sur une branche de circuit. Selon IEC 60947-2, la sélectivité entre ces disjoncteurs est vérifiée par simulation ou par des tests. Eaton propose des logiciels d'aide tels que xSpider ou Curve Select. xSpider calcule les courants de court-circuit réels au niveau du disjoncteur en fonction de la topologie du réseau. La

Fibrillation ventriculaire en fonction de l'intensité du courant et de la durée



- 1.) De manière générale, aucun effet perceptible
- 2.) De manière générale, aucun effet médicalement préjudiciable
- 3.) De manière générale, aucun risque de fibrillation ventriculaire, mais possibilité de crampes musculaires et de troubles respiratoires
- 4.) Risque de fibrillation ventriculaire, d'arrêt respiratoire, de brûlures

Fig. 7 : Effets du courant sur le corps humain

sélectivité ainsi obtenue est très précise. Curve Select permet une représentation simple des courbes de déclenchement de divers appareils dans une échelle temps/courant et met en évidence la sélectivité très facilement. La fig. 6 montre quatre disjoncteurs de taille différente montés en série avec la comparaison graphique de leurs courbes.

Les disjoncteurs peuvent être dotés de déclencheurs électroniques offrant un certain nombre d'avantages. Ils permettent des plages de réglage plus larges ainsi que des réglages plus nombreux. Les caractéristiques de protection des disjoncteurs s'adaptent exactement à celles des applications requérant une protection. Les autres avantages concernent la communication et le diagnostic. Les données de diagnostic sont transmises sur PC par USB ou interface de communication ; l'utilisateur est alors en mesure de consulter l'historique d'exploitation et d'analyser les causes possibles de défaut. Des mesures peuvent également être réalisées, permettant de générer des courbes de tendance pour la consommation d'énergie qui seront exportées dans des fichiers Excel.

Comme indiqué au début de ce chapitre, la plupart des applications utilisent les fusibles et les disjoncteurs en tirant profit de leur complémentarité. Un constructeur de machines, lors de la conception de réseaux de distribution électrique, optimisera ses travaux s'il collabore avec un partenaire spécialisé dans la protection des appareils et proposant les deux technologies. C'est la garantie d'un conseil objectif et d'un accès optimal aux caractéristiques des produits et au stock. Malheureusement, l'évolution de l'industrie électrique fait qu'il n'y a que très peu de partenaires pronant, développant et fabriquant les deux types d'appareils, fusibles et disjoncteurs. Souvent les deux technologies sont présentées comme des applications séparées alors que les meilleures solutions les associent. Eaton a des experts dans les deux domaines et des décennies d'expérience dans l'accompagnement des constructeurs de machines pour mieux répondre à leurs attentes.

Protection différentielle

Les courants résiduels ou de fuite à la terre surviennent pour de nombreuses raisons et sous diverses formes. Lors de la conception d'une machine, le défi le plus important est de garantir une coupure de courant sans risques en présence d'un défaut, tout en conservant la disponibilité de la machine. Les opérateurs et l'appareillage doivent être protégés des dangers tels que l'électrocution ou l'incendie. En même temps, il faut éliminer les déclenchements intempestifs dus aux courants de fuite liés à l'exploitation pour que la disponibilité de la machine soit garantie. La solution est de connaître les divers courants de défaut et les blocs différentiels existants capables de les éliminer.

Les blocs différentiels ont différents niveaux de protection. Leur rôle essentiel est de protéger les personnes si la protection de base ou la protection contre les défauts ne fonctionne pas et qu'une personne est en contact direct avec les parties sous tension. La tension de contact représente un risque sérieux pour le corps humain (cf. fig. 7) et peut, dans le pire des cas, provoquer un arrêt cardiaque.

Les courants de défaut susceptibles de causer des problèmes apparaissent sous forme de : courant alternatif, courant continu pulsé, demi-onde, demi-onde avec composants DC ou courant continu lissé. Afin de répondre à ces types d'onde, il existe trois types de blocs différentiels : AC, A et B. Le type AC, principalement utilisé dans le résidentiel, est sensible aux courants alternatifs. Il faut toutefois noter que le type AC n'est pas autorisé dans les pays suivants : Allemagne, pays scandinaves, Belgique, Luxembourg, Suisse et Irlande. Les blocs différentiels de type A sont semblables à ceux de type AC, mais sensibles aux courants continus pulsés. Les types AC et A doivent être conformes à la norme IEC/EN 61008-1.



Fig. 8 : Blocs différentiels électroniques avec LED d'alarme pour attirer l'attention du personnel de maintenance avant une panne

Les constructeurs de machines sont plus intéressés par les blocs différentiels de type B afin de pouvoir respecter les exigences de protection. L'enjeu consiste à maintenir une disponibilité du système élevée tout en combinant un haut niveau de protection pour l'équipement et les personnes, quel que soit l'endroit où la machine est installée. C'est pourquoi il est essentiel de veiller à la conformité avec l'ensemble des normes et réglementations.

Les blocs différentiels Eaton de type B sont sensibles à toutes formes de courant de défaut. Leurs courbes de déclenchement jusqu'à 2 kHz sont définies par la norme IEC 62423 et peuvent détecter les courants de défaut DC lissés survenant dans les commandes avec convertisseurs de fréquence. Les blocs différentiels de type B+ correspondent à la norme VDE 0664-400 (anciennement VVDEV 0664-110) relative à la protection des personnes et à la prévention des incendies jusqu'à 20 kHz comme requis par la Fédération des Compagnies d'Assurance Allemandes. Les appareils de type Bfq ne sont pas sensibles aux courants de fuite à la terre de fréquence élevée. Les déclenchements intempestifs sont ainsi évités dans les installations industrielles utilisant des convertisseurs de fréquence performants, ce qui garantit en même temps la protection des personnes.

Il convient ici de faire attention aux problèmes de compatibilité entre les blocs différentiels et les systèmes d'entraînement élec-

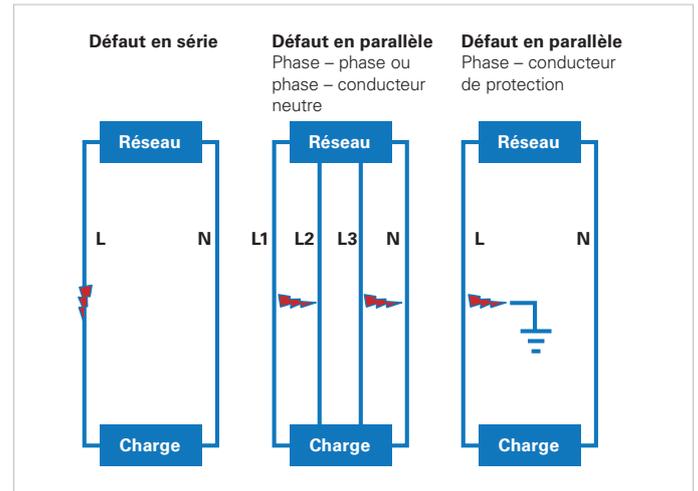


Fig. 9 : Les différents types de défaut d'arc

triques, ainsi qu'entre les éventuels courants continus résiduels lissés et les courants résiduels à haute fréquence.

Les courants continus résiduels lissés, comme ceux causés par de rares défauts d'isolement, entraînent une pré-magnétisation du transformateur dans les blocs différentiels de type AC ou A. Il en résulte une réduction de la capacité du transformateur à détecter les changements et si un courant alternatif de défaut sinusoïdal survient, un déclenchement sûr risque de ne plus être garanti. Toutefois les types B couvrent cette situation et assurent la protection nécessaire

Les composantes de fréquence dans le courant de défaut doivent également être prises en compte. Les composantes critiques suivantes peuvent survenir lors d'association avec un convertisseur de fréquence :

- fréquence d'horloge du convertisseur de fréquence (en général jusqu'à 20 kHz)
- fréquence de moteur (en général de 0 à 50 Hz, jusqu'à 1 kHz max.)
- 3e harmonique de 50 Hz (150 Hz dans applications triphasées)

Les blocs différentiels des types B, B+ et Bfq avec leurs courbes respectives (jusqu'à 2 kHz, 20 kHz et 50 kHz) sont conçus pour ce champ d'application, ce qui n'est pas le cas des types AC et A. Du fait qu'un bloc différentiel ne puisse pas faire la distinction entre des courants résiduels à haute fréquence et des courants de fuite générés par l'installation, les courbes de déclenchement sont un bon compromis qui va garantir une protection efficace et une disponibilité accrue de la machine.

Eaton propose également des blocs différentiels électroniques avec plusieurs avantages pour les utilisateurs des machines. Ces appareils mesurent les courants de défaut en temps réel et génèrent ainsi des alarmes préalables directement sur site avec des LED et à distance avec des contacts hors potentiel. Les défauts sont détectés avant de causer un déclenchement. Cela réduit la nécessité de réparations non planifiées et augmente la disponibilité des installations.

Défauts d'arc

Les défauts d'arc viennent surtout à la suite de défauts d'isolement ou de contacts desserrés, et sont la cause principale d'endommagement des installations électriques. De plus, ils peuvent provoquer facilement des incendies avec des conséquences graves sur les personnes, les équipements et les bâtiments. Une cause typique de défaut d'arc est par exemple la détérioration par un chariot-élévateur d'un câble alimentant plusieurs sous-ensembles d'une machine. Les compagnies d'assurance estiment que 25 % de tous les incendies venant de pannes électriques sont à mettre sur le compte de défauts d'arc. Les dispositifs pour la détection de défaut d'arc ou DPDA (Arc Fault Detection Devices



ou AFDD) ont été conçus à l'origine pour la protection anti-incendie dans le résidentiel (coupure pompiers). Leur technologie s'étant avérée fiable et peu coûteuse, ces appareils sont devenus très attractifs pour les constructeurs de machines.

La détection d'arc est gérée par des circuits électroniques complexes qui captent les signaux HF sur la ligne. Les arcs présentent une courbe de bruit générale qui diffère de celle des autres bruits de haute fréquence. Dès qu'un arc est détecté, un disjoncteur modulaire, ou mieux, un disjoncteur différentiel (Residual Current Circuit Breaker with Overcurrent protection ou RCBO), déclenche et coupe le courant vers l'arc.

La qualité la plus importante pour un dispositif de détection d'arc interne est d'éviter tout déclenchement intempestif, véritable enjeu pour les constructeurs de machines car de nombreux signaux HF peuvent être pris pour des arcs internes, comme les arcs de commutation. La détection (et limitation) rapide et en toute sécurité de l'arc fait l'objet de tests lors de la période d'homologation des appareils.

Selon les normes IEC, les stratégies de protection contre l'arc interne reposent sur les dispositifs pour la détection de défaut d'arc. Ils sont associés à des disjoncteurs modulaires ou des disjoncteurs différentiels. Les DPDA doivent pouvoir déclencher sur la détection de tout arc à partir d'un niveau d'énergie de 100 J, le temps de déclenchement admissible diminuant tandis que le courant de l'arc augmente. En présence de courants d'arc interne très élevés, le dispositif doit détecter l'arc et déclencher en moins de 120 ms. Une protection réussie dépend essentiellement de la rapidité de déclenchement afin de réduire l'énergie de l'arc interne.

Les pays-membres de l'IEC ont approuvé la norme internationale IEC 62606 définissant le dispositif pour la détection de défaut d'arc (DPDA) et la procédure des tests DPDA normalisés. Une autre norme, IEC 60364, régit la conception, le montage et la vérification d'installations électriques protégées par un DPDA.

Les DPDA sont essentiels même dans les systèmes qui ont déjà une protection contre les surtensions. Les disjoncteurs et les blocs différentiels ne peuvent pas détecter les défauts d'arc provoqués par exemple par un raccordement défectueux puisque ces défauts ne génèrent en général ni surintensité ni courants résiduels. La norme IEC 62606 définit les rôles complémentaires des divers dispositifs pour la protection des défauts : les DPDA protègent contre les défauts d'arc en série, les DPDA et les disjoncteurs modulaires (ou les disjoncteurs différentiels) contre les défauts parallèles phase-neutre ou phase-phase. Les DPDA et les blocs différentiels protègent des défauts de conducteur de protection parallèle-phase.

Protection contre les surtensions

Les surtensions transitoires (de courte durée) les plus élevées sont causées par les coups de foudre directs. Des événements de faible énergie peuvent être causés par des coups de foudre plus éloignés ou par une commutation d'installations de grande taille. La puissance du courant de décharge généré est influencée par la situation du bâtiment concerné. Des bâtiments isolés vont absorber toute l'énergie de la foudre, tandis que des bâtiments juxtaposés peuvent répartir et diminuer cette énergie. Les paratonnerres jouent également un rôle. Ils sont essentiels à la protection des bâtiments, mais envoient beaucoup d'énergie dans le système électrique via la terre commune.

Dans le passé, les parafoudres (Surge Protection Device ou SPD) étaient rarement utilisés pour la protection contre les surtensions et leur absence n'était pas importante car les équipements électriques traditionnels résistaient bien aux surtensions transitoires. Or aujourd'hui les constructeurs de machines font davantage appel à des appareillages électroniques de plus en plus sensibles. Il devient courant d'installer au moins un parafoudre par armoire de distribution, par appareil sensible et par ligne de capteur quittant un bâtiment. La démarche est rentable considérant le fait que le coût de ces parafoudres est dérisoire comparé à celui des dégâts encourus sans leur protection.

Un malentendu très répandu repose sur l'aspect technique des parafoudres. En effet, les disjoncteurs et les dispositifs différentiels déclenchent en cas de défaut. Or les parafoudres ne donnent aucun signe d'activité et sont souvent considérés comme étant inactifs et inutiles. Il faut une catastrophe (causée par la foudre notamment) pour que leur valeur et par là, leur présence ne soient plus remises en question.

La norme IEC 62305-2 définit quatre niveaux de protection contre la foudre pour les parafoudres, les niveaux I & II s'appliquant aux coups de foudre directs avec une décharge escomptée jusqu'à 200 kA, et les niveaux III & IV pour les coups de foudre directs avec décharge jusqu'à 100 kA. Le bon niveau de protection pour une installation donnée dépend non seulement du courant de décharge escompté, mais aussi des réglementations et des tableaux de valeur. Le facteur le plus déterminant dans le choix de la protection est l'augmentation très rapide des surintensités jusqu'à des niveaux dangereux, en quelques nanosecondes. Cela signifie que les fusibles et les disjoncteurs ne peuvent pas réagir assez vite pour prévenir les dégâts éventuels. Il faut par conséquent des solutions pour remplacer les dispositifs déjà installés contre les surintensités. Les technologies les plus utilisées actuellement sont les éclateurs et les varistances. En fonctionnement normal, ils ont une résistance très élevée et, en cas de surtension,

fournissent une liaison conductrice à faible résistance. L'énergie est envoyée à la terre en toute sécurité au lieu de passer dans l'installation électrique.

Chaque approche comporte des avantages et des inconvénients. Les éclateurs nécessitent une certaine énergie d'activation pour déclencher lorsque les tensions dépassent 1,5 kV, mais créent une séparation galvanique sans courant de fuite en fonctionnement normal. Ils ont une longue durée de vie et une capacité de décharge élevée. Les varistances sont très rapides et deviennent conductrices au-dessus de 400 VAC pour une application sous 230 V. De coût avantageux, ne requérant aucune énergie pour déclencher, ils fournissent une protection fiable dès l'apparition de petites crêtes de tension.

La conception d'un dispositif de protection dépend de la configuration et de la classe de test requises, ainsi que de l'emplacement de l'appareil dans le réseau de distribution électrique. Selon cet emplacement, par ex. tableau général, tableau divisionnaire, appareils à protéger, les classes de test diffèrent. Les fabricants comme Eaton proposent un large choix de parafoudres avec différentes caractéristiques, avec éclateurs ou varistances ou les deux, selon l'utilisation. Il est à noter que le constructeur de machines n'a pas de choix explicite à faire entre éclateur, varistance ou tout autre technologie de protection contre les surtensions. Il doit plutôt se concentrer sur les niveaux de protection dont il a besoin, tandis que le fabricant quant à lui met en œuvre les technologies les plus appropriées selon le produit fourni.

Conclusion

Nous avons abordé dans ce livre blanc les risques électriques auxquels peuvent être exposés un système d'alimentation et ses utilisateurs, ainsi que les éventuelles conséquences lorsque les mesures de protection de circuit sont inexistantes ou insuffisantes pour prévenir ces risques ou en limiter les effets. Puis nous avons passé en revue les diverses technologies de protection de circuit et les produits actuellement disponibles pour maîtriser les situations de défaut.

Alors que ces défauts représentent un danger, ils créent aussi des opportunités pour les constructeurs de machines qui appliquent les stratégies de protection de circuit les meilleures et les plus efficaces. Leurs clients, qui utilisent les systèmes dans leurs installations, bénéficient d'une productivité accrue du fait de la réduction des arrêts d'exploitation. La sécurité des opérateurs est améliorée, les endommagements d'équipement évités ou limités à l'endroit où le défaut survient sans causer de pannes générales. Les dispositifs de protection des circuits permettent également de diminuer le coût des machines grâce aux propriétés de limitation de courant, avec l'utilisation de câbles et d'appareillage de taille réduite et par conséquent moins onéreux.

La maintenance est simplifiée et plus sûre du fait des appareils de protection de circuit capables de signaler les problèmes existants ou potentiels. Le réglage par l'utilisateur final est également éliminé ou simplifié par les disjoncteurs dotés de courbes de déclenchement pré-configurées.

Afin de faire profiter leurs clients et eux-mêmes de ces avantages, les constructeurs de machines doivent travailler avec des partenaires du secteur de protection des circuits qui disposent des ressources requises en termes de produits, de savoir-faire et d'envergure internationale. Des stratégies optimales, rationalisées et simplifiées sont fonction de l'intégration et de la complémentarité de conception à tous les niveaux. Par exemple, les dispositifs pour la protection de défaut d'arc sont associés aux disjoncteurs modulaires et différentiels pendant que les fusibles se complètent avec les disjoncteurs. Les fusibles et les disjoncteurs sont également complémentaires pour la protection sélective. En outre, il faut un grand choix de caractéristiques et si possible une capacité d'adaptation de chaque type de produit pour satisfaire aux exigences de chaque application.

Ainsi, les fournisseurs de produits pour la protection des circuits doivent couvrir l'ensemble des technologies : fusibles, disjoncteurs, blocs différentiels, dispositifs pour la protection des défauts

d'arc et de surtension. Ils doivent aussi offrir un grand choix de gammes et de produits et le savoir-faire pour leur intégration, tout en accompagnant le constructeur de machines dans l'élaboration des meilleures solutions possibles. Dans la pratique, un défi supplémentaire apparaît, à savoir qu'après la conception de la solution, le constructeur de machines doit en général reproduire cette solution pour la mettre en œuvre dans le monde entier.

Pour obtenir le succès à ce niveau de production, il faut que le partenaire fournisseur des constituants de protection des circuits soit capable de soutenir le constructeur de machines sur son site, où qu'il se trouve dans le monde. Cela implique à la fois le support logistique et la livraison des composants ainsi que le respect des réglementations du pays et leur impact sur les produits livrés. Nous avons constaté que la conception de tous les produits repose sur des normes internationales, principalement sur le système IEC pour l'Europe et sur d'autres directives dans le reste du monde.

Globalement, le plus grand avantage à travailler avec un partenaire dans le secteur de la protection des circuits tel qu'Eaton réside dans le conseil véritablement éclairé qu'il fournit. Du fait que toutes les technologies se retrouvent dans son portefeuille de produits, le partenaire peut se concentrer sur la meilleure solution adaptée à chaque application sans avoir à tenir compte d'intérêts d'ordre économique ou de disponibilité des produits.

Ainsi, les fournisseurs de produits pour la protection des circuits doivent couvrir l'ensemble des technologies : fusibles, disjoncteurs, blocs différentiels, dispositifs pour la protection des défauts d'arc et de surtension. Ils doivent aussi offrir un grand choix de gammes et de produits et le savoir-faire pour leur intégration, tout en accompagnant le constructeur de machines dans l'élaboration des meilleures solutions possibles. Dans la pratique, un défi supplémentaire apparaît, à savoir qu'après la conception de la solution, le constructeur de machines doit en général reproduire cette solution pour la mettre en œuvre dans le monde entier.

Pour obtenir le succès à ce niveau de production, il faut que le partenaire fournisseur des constituants de protection des circuits soit capable de soutenir le constructeur de machines sur son site, où qu'il se trouve dans le monde. Cela implique à la fois le support logistique et la livraison des composants ainsi que le respect des réglementations du pays et leur impact sur les produits livrés. Nous avons constaté que la conception de tous les produits repose sur des normes internationales, principalement sur le système IEC pour l'Europe et sur d'autres directives dans le reste du monde.

Globalement, le plus grand avantage à travailler avec un partenaire dans le secteur de la protection des circuits tel qu'Eaton réside dans le conseil véritablement éclairé qu'il fournit. Du fait que toutes les technologies se retrouvent dans son portefeuille de produits, le partenaire peut se concentrer sur la meilleure solution adaptée à chaque application sans avoir à tenir compte d'intérêts d'ordre économique ou de disponibilité des produits.

Si vous êtes constructeur de machines et que vous réfléchissez à votre prochain projet ou prochaine mise à niveau, pourquoi ne pas contacter Eaton pour recueillir des suggestions et des conseils ? Les experts d'Eaton sont à votre disposition 24 heures sur 24 pour vous aider à choisir la meilleure protection possible pour votre installation en termes de caractéristiques techniques, de rentabilité et de compétitivité.

Rendez-vous sur :
www.eaton.eu/fr/cp/gen

Chez Eaton, notre mission consiste à relever le défi d'alimenter en énergie un monde dont la demande ne cesse de croître. Avec plus de 100 ans d'expérience et d'expertise en gestion de l'alimentation énergétique, nous savons adopter une vision à long terme. Produits révolutionnaires, conceptions clés en main, services en ingénierie, l'offre d'Eaton a la confiance d'industries majeures dans le monde entier.

Nous proposons aux entreprises des solutions fiables, efficaces et sûres de gestion de l'alimentation énergétique. Associées à nos prestations et à notre soutien personnalisé ainsi qu'à notre approche innovante, ces solutions prennent en charge aujourd'hui les besoins de demain. Avec Eaton, le futur est en marche.

Consultez eaton.fr/electrique.



Pour contacter un représentant Eaton
ou un agent/distributeur, veuillez consulter
www.eaton.eu/electrical/customersupport