

PUISSANCE

Calcul des courants de court-circuit

Les disjoncteurs protègent l'installation électrique des dégâts causés par un courant de court-circuit. Problème : ce dernier varie en fonction de l'application. De quelles références normatives CEI et EN les concepteurs de matériel électrique disposent-ils pour déterminer la protection contre les surintensités ?



Joachim Becker
ABB Stotz-Kontakt GmbH
Heidelberg (Allemagne)

joachim.becker@
de.abb.com

Nos sociétés modernes sont complètement dépendantes de l'électricité qui alimente nos maisons, nos usines et nos magasins. La distribution électrique doit être à la fois sûre et fiable ; c'est là qu'interviennent les appareillages d'interruption.

L'appareillage d'interruption protège l'installation en coupant l'alimentation du circuit en défaut tout en assurant la continuité de service des autres circuits.

Tableaux électriques ou dispositifs de coupure ont la même mission : protéger l'installation des défauts et des dangers associés en sectionnant le circuit défectueux tout en assurant la continuité de service des autres circuits.



—
01 De nombreux dispositifs assurent la protection du matériel électrique contre les courants de court-circuit. Les disjoncteurs ABB (ici, un disjoncteur principal S753DR-E63) couvrent la quasi-totalité des valeurs de tension et de courant.

Choix du type d'appareillage

Un court-circuit représente un énorme danger pour l'installation. Il convient donc de dimensionner le tableau ou l'appareillage en fonction des contraintes thermiques et électrodynamiques occasionnées par le courant de court-circuit maximal au point de raccordement. La protection de l'installation (ou du personnel) est assurée par des dispositifs capables de couper le courant de court-circuit à cet endroit →1.

—
Le tableau de distribution ou l'appareillage de coupure est dimensionné en fonction des contraintes thermiques et dynamiques occasionnées par le courant de court-circuit maximal au point de raccordement.

Il s'agit très souvent de disjoncteurs en boîtier moulé →2, de disjoncteurs modulaires et de disjoncteurs différentiels avec ou sans protection de surintensité. Le pouvoir de coupure est clairement indiqué sur chaque disjoncteur, ce qui permet au tableautier de choisir son équipement en connaissance de cause. Si les disjoncteurs assurent l'isolement du circuit, ils sont souvent complétés par des interrupteurs-sectionneurs pour une mise hors tension complète de l'installation en vue d'une intervention.

Courant de court-circuit permanent

Une installation basse tension (BT) est généralement alimentée par un transformateur. Le courant de court-circuit permanent I_k dépend alors de la tension assignée et de la résistance en courant alternatif (impédance) du court-circuit. Il a aussi une composante continue i_{cc} qui décroît lentement jusqu'à s'annuler →3. La valeur de crête de I_k est un paramètre important et normalisé du court-circuit.

Normes sur les disjoncteurs

En fonction de l'application envisagée, le concepteur de l'installation se référera à différentes normes pour dimensionner les disjoncteurs ou autre dispositif de protection réseau associé :

- La CEI/EN 60898-1 porte sur les disjoncteurs de protection contre les surintensités à usage domestique ou assimilé (commerces, bureaux, établissements scolaires et petit tertiaire), conçus pour être utilisés par des personnes non averties et ne pas exiger d'entretien ;
- La CEI/EN 60947-2 concerne les disjoncteurs à usage industriel, réservés à des personnes averties ;
- La CEI/EN 60947-3 spécifie les caractéristiques des interrupteurs-sectionneurs ;
- La CEI/EN 61439 précise les règles applicables aux ensembles d'appareillage ou aux tableaux de distribution.

Chaque norme ayant son domaine d'application, un même phénomène électrique peut être défini différemment d'un référentiel à l'autre. L'ingénieur de conception doit donc être sûr d'avoir parfaitement assimilé la définition de « pouvoir de coupure », par exemple, dans l'application cible.

Disjoncteurs normalisés CEI/EN 60898-1

Le « pouvoir de coupure assigné » I_{cn} désigne ici le pouvoir de coupure mesuré au moyen d'une séquence d'essai donnée. Cette dernière ne teste pas la capacité du disjoncteur à supporter 85 % de son courant de non-déclenchement pendant un temps spécifié, ou « temps conventionnel » ; c'est la procédure d'essai du pouvoir de coupure de service en court-circuit I_{cs} qui s'en charge.

01





02

La norme stipule un rapport fixe entre I_{cs} et I_{cn} (exprimés en valeur efficace des courants présumés de court-circuit).

De plus, elle impose dans les deux cas de tester les manœuvres d'ouverture-fermeture de chacun des trois disjoncteurs. Pour l'ouverture, le courant de court-circuit est enclenché à un angle de déphasage spécifique selon la forme de l'onde de tension. On teste les trois disjoncteurs sous des angles différents. La séquence d'essai pour I_{cn} est « O-t-CO », « O » étant la manœuvre d'ouverture et « CO » celle de fermeture-ouverture. Autrement dit, le disjoncteur à l'essai est mis sous tension et subit le courant de court-circuit pendant un certain temps. La durée t entre manœuvres est de 3 min. Pour I_{cs} , la séquence d'essai est « O-t-O-t-CO » pour les disjoncteurs unipolaires et bipolaires, et « O-t-CO-t-CO » pour ceux à trois et quatre pôles. Avec la procédure d'établissement du courant de court-circuit imposée par la norme, au moins un des disjoncteurs doit déclencher à l'angle de déphasage le plus important.

Disjoncteurs normalisés CEI/EN 60947-2

Le « pouvoir de coupure ultime en court-circuit » I_{cu} désigne le pouvoir de coupure mesuré au moyen d'une séquence d'essai normative, avec vérification du déclenchement de surcharge dans le disjoncteur. La caractéristique I_{cs} , quant à elle, correspond au pouvoir de coupure dans une séquence d'essai donnée, incluant la vérification du fonctionnement du disjoncteur au courant assigné, un essai d'échauffement et la vérification du déclenchement de surcharge. La norme prescrit un rapport I_{cs}/I_{cn} compris entre 0,25 et 1,00. Là encore, ces valeurs sont exprimées en valeur efficace des courants présumés de court-circuit. La norme impose en outre de tester le fonctionnement en court-circuit des deux disjoncteurs.

Au moins un des disjoncteurs doit couper le courant à l'angle de déphasage le plus important.

Comme dans la norme CEI/EN 60898-1, pour l'ouverture, le courant de court-circuit est enclenché à un angle de déphasage spécifique selon la forme de l'onde de tension, si ce n'est que l'angle est le même pour les deux disjoncteurs. Les séquences d'essai normatives pour I_{cu} et I_{cs} sont respectivement « O-t-CO » et « O-t-CO-t-CO », t entre deux manœuvres étant encore de 3 min. L'angle de déphasage de tension à l'enclenchement du courant de court-circuit correspond à la valeur du courant de crête, qui est en même temps le pouvoir assigné de fermeture en court-circuit I_{cm} , défini comme le pouvoir assigné de coupure ultime en court-circuit multiplié par un facteur spécifié dans la CEI 60947-2.

—
02 Disjoncteur basse tension en boîtier moulé A1 d'ABB, conforme CEI/EN 60947-2

—
03 Caractéristiques du courant de court-circuit

Interrupteurs-sectionneurs normalisés CEI/EN 60947-3

La norme CEI/EN 60947-3 s'applique aux installations électriques intégrant des interrupteurs, sectionneurs, interrupteurs-sectionneurs et combinés-fusibles. Un interrupteur-sectionneur peut établir et interrompre le courant dans des conditions spécifiées.

L'interrupteur-sectionneur doit pouvoir supporter le courant limité par le DPCC.

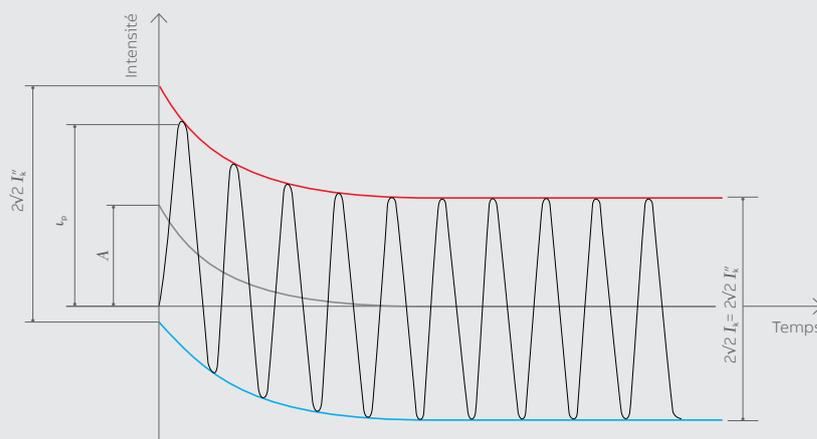
Lorsqu'il est ouvert, il assure l'isolement du circuit. Par contre, ne disposant pas de déclenchement de surintensité, il doit être protégé par un disjoncteur modulaire, un disjoncteur en boîtier moulé ou un fusible. Le pouvoir de coupure de l'ensemble « interrupteur + disjoncteur » constitue le courant assigné de court-circuit conditionnel ; il s'agit de la valeur du courant présumé de court-circuit que peut supporter l'interrupteur-sectionneur lorsqu'il est protégé par un dispositif de protection contre les courts-circuits (DPCC). Rappelons que l'interrupteur-sectionneur doit pouvoir supporter le courant limité par le DPCC.

La méthode vaut également pour les disjoncteurs différentiels résiduels (DDR) sans protection de surintensité : le courant de court-circuit indiqué sur l'appareil est le courant assigné de court-circuit conditionnel de l'ensemble « DDR + DPCC ».

Les normes CEI/EN 60947-3 et CEI/EN 60947-2 définissent également un courant assigné de courte durée admissible I_{cw} , applicable aux différents interrupteurs et disjoncteurs ainsi qu'aux jeux de barres. I_{cw} est la valeur du courant que le matériel peut supporter sans aucun dommage pendant 0,05, 0,1, 0,25, 0,5 ou 1 s pour la CEI/EN 60947-2, et 1 s pour la CEI/EN 60947-3. En alternatif, I_{cw} est la valeur efficace du courant.

Le courant I_{cw} est important dans le cas d'appareils raccordés en série où la sélectivité des protections est assurée par temporisation. Par exemple, pour un circuit d'alimentation équipé d'un disjoncteur à coupure dans l'air avec protection des circuits aval par des disjoncteurs en boîtier moulé, le déclenchement du disjoncteur à coupure dans l'air est retardé pour garantir la sélectivité. La portion de circuit entre les disjoncteurs successifs doit supporter le courant de court-circuit spécifié pendant la durée de la temporisation.

03



I_k'' Courant de court-circuit initial symétrique

t_p Courant de court-circuit maxi

I_k Courant de court-circuit permanent

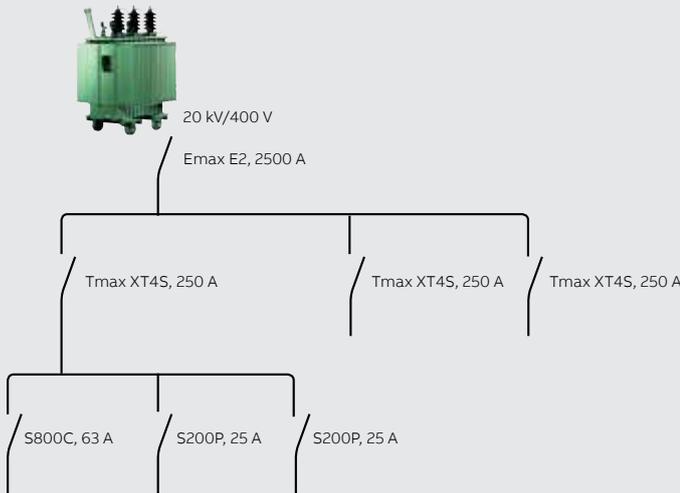
i_{cc} Composante continue décroissante du courant de court-circuit

A Valeur initiale de la composante CC

— Partie supérieure de l'enveloppe

— Composante CC décroissante

— Partie inférieure de l'enveloppe



04

Appareillage basse tension normalisé CEI/EN 61439-1

La norme CEI/EN 61439-1 s'applique aux ensembles d'appareillage à basse tension. Quand un ensemble comporte un DPCC en tête de tableau, le constructeur doit préciser le courant présumé de court-circuit maximal au bornier d'entrée.

La norme internationale CEI/EN 61439-1 s'applique aux ensembles d'appareillage à basse tension.

La valeur I_{cu} ou I_{cn} du DPCC doit être supérieure ou égale au courant présumé de court-circuit afin d'assurer la protection. Si le DPCC est un disjoncteur retardé ou si l'ensemble n'a pas de DPCC, il convient d'indiquer I_{cw} et la temporisation maximale.

Étude de cas : usine de production de cuivre

Prenons l'exemple d'une usine de production de cuivre alimentée par le réseau moyenne tension (MT) 20 kV moyennant un transformateur abaisseur de 20 kV/400 V. La puissance assignée S_n du transformateur est de 1600 kVA, et sa tension de court-circuit (impédance interne) U_{cc} de 6 %. Pour les puissances inférieures à 3150 kVA, l'impédance du réseau peut être négligée. La tension de court-circuit du transformateur limite le courant de court-circuit permanent, qui vaut alors :

$$I_k = \frac{S_n}{\sqrt{3} \times U_n \times U_{cc}} = \frac{1600 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \times 400 \text{ V} \times 0,06} = 38,5 \text{ kA}$$

Le transformateur d'alimentation est protégé par un disjoncteur Emax E2 d'ABB de courant assigné 2500 A. Des disjoncteurs ABB Tmax XT4S de 250 A assurent la protection de la distribution, tandis que les circuits terminaux sont équipés de disjoncteurs modulaires S800C et S200P →4.

Les considérations suivantes permettent d'assurer un déclenchement en cascade correct : la valeur I_{cw} de l'Emax E2 (version B) est de 42 kA. La temporisation étant de 0,1 s, l'Emax peut supporter le courant de court-circuit. Au niveau distribution, le Tmax XT4S affiche un I_{cu} de 50 kA. Le câble reliant le disjoncteur Tmax et le jeu de barres de répartition aval a une section de 95 mm² et une longueur de 15 m ; la documentation produit indique une résistance linéique de 0,246 Ω/km.

L'impédance du transformateur étant de 0,00597 Ω, le courant de court-circuit permanent au niveau répartition est donc :

$$I_k = \frac{U_n}{\sqrt{3} \times (Z_r \times Z_i)} = \frac{400 \text{ V}}{\sqrt{3} \times (0,00597 + 0,00369) \Omega} = 23,9 \text{ kA}$$

Les disjoncteurs S800C et S200P ayant un pouvoir de coupure ultime en court-circuit de 25 kA, aucune protection d'accompagnement n'est nécessaire. Cette configuration assure une sélectivité totale entre Tmax XT4S et S800C-S200P.

—
04 Exemple de configuration des protections dans une usine de production de cuivre

—
05 Exemple de configuration des protections dans un immeuble de bureaux

Étude de cas : immeuble de bureaux

Soit un réseau MT 20 kV qui alimente un immeuble de bureaux par un transformateur 20 kV/400 V, tel que $S_n = 630$ kVA et $u_{cc} = 4\% \rightarrow 5$. Là encore, la tension de court-circuit du transformateur limite le courant de court-circuit, soit :

$$I_k = \frac{S_n}{\sqrt{3} \times U_n \times u_{cc}} = \frac{630 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \times 400 \text{ V} \times 0,04} = 22,7 \text{ kA}$$

La valeur I_{cu} du disjoncteur Tmax XT4 (version N) est de 36 kA, celle du disjoncteur principal sélectif S750DR d'ABB de 25 kA. Les deux dispositifs sont donc capables d'interrompre le courant de court-circuit. Le câble reliant le S750DR et le réseau de répartition a une section de 16 mm² et une longueur de 10 m ; sa documentation technique indique une résistance de 1,32 Ω/km. L'impédance du transformateur est de 0,01012 Ω.

Le courant de court-circuit au niveau répartition est donné par :

$$I_k = \frac{U_n}{\sqrt{3} \times (Z_r + Z_t)} = \frac{400 \text{ V}}{\sqrt{3} \times (0,01012 + 0,0132) \Omega} = 9,9 \text{ kA}$$

Le disjoncteur modulaire S200M ayant un pouvoir de coupure ultime en court-circuit de 15 kA, aucune protection d'accompagnement n'est nécessaire ; la sélectivité entre S750DR et S200M est totale.

La valeur assignée de courant de court-circuit conditionnel est un paramètre important pour le disjoncteur modulaire SD200 →5 ; elle est de 10 kA pour l'association SD200/S750DR. Le SD200 est donc protégé par le S750DR puisque le courant maximal de court-circuit en ce point est de 9,9 kA.

—
Une bonne configuration des protections suffit à garantir la sûreté de fonctionnement de l'appareillage de distribution en cas de court-circuit.

Ces exemples montrent qu'une bonne configuration des protections garantit la sûreté de fonctionnement de l'appareillage de distribution en cas de court-circuit. Les normes CEI/EN évoquées dans l'article guident les concepteurs dans le choix des caractéristiques assignées des dispositifs utilisés. Ainsi, quel que soit la nature du défaut, le courant ne s'interrompt jamais. ●

