

Tests automatisés d'une protection différentielle barres à l'aide d'une méthode basée sur les paramètres du réseau

Christopher Pritchard | OMICRON electronics

Gestion de projets

Klaus (Autriche)

christopher.pritchard@omicronenergy.com

Résumé— En raison du niveau de courant de court-circuit élevé sur les postes de transmission et des gros postes de distribution, les protections différentielles de barres sont utilisées. L'impact d'une indisponibilité d'un jeu de barres implique un haut niveau d'exigence sur la rapidité et la stabilité d'une protection barres. En fonction des différentes topologies de poste, chaque configuration, et en particulier la logique de la protection est unique. Afin de garantir des performances fiables, il est indispensable de tester l'intégralité de la protection pendant la mise en service.

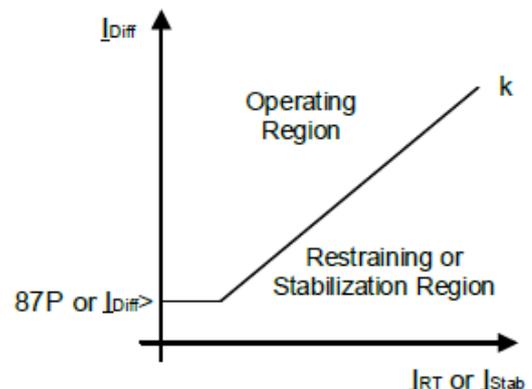
Pour des configurations complexes de jeux de barres comportant plusieurs sections, couplages et sectionnement de barres, les essais d'une protection barres constituent toujours une tâche complexe de la mise en service. Un simple test de la caractéristique à pourcentage ne permet pas de s'assurer du bon fonctionnement de la protection. L'utilisation d'une approche basée sur les paramètres du réseau, où toute la topologie du jeu de barres est modélisée avec l'ensemble des positions des sectionneurs, offre de nouvelles possibilités pour tester tous les scénarios de défaut.

Cet article partage les expériences de différents exploitants dans le monde utilisant cette nouvelle approche de test ainsi que les erreurs détectées.

Mots clés—Tests de la protection des jeux de barres, tests basés sur les paramètres du réseau

I. TESTS DES ELEMENTS DIFFERENTIELS

La principale fonction d'une protection barres est la fonction différentielle qui applique les lois de Kirchhoff pour identifier un défaut situé dans une zone définie. La stabilité de l'élément différentiel est généralement assurée par l'utilisation d'une caractéristique à pourcentage tel qu'illustré en figure 1.



$$I_{RT} = |I_1| + |I_2| \dots + |I_3|$$

$$I_{diff} = |I_1 + I_2 \dots + I_n|$$

FIGURE 1 : CARACTÉRISTIQUE A POURCENTAGE

Des solutions de test avancées permettent de visualiser la caractéristique et, en plaçant un point dans le plan, le module logiciel calcule les courants à injecter, puis évalue le fonctionnement de la protection. L'équipement de test injecte deux courants triphasés sur deux unités de travée.

Mais tester une simple caractéristique à pourcentage peut s'avérer complexe avec une protection barres. Pour obtenir un déclenchement sélectif de la barre, la protection reproduit la topologie des barres du poste en fonction de la position des sectionneurs (via les contacts auxiliaires). Pour fiabiliser la décision de déclenchement, une zone de supervision, doit aussi être activée. La zone de supervision est un élément différentiel supplémentaire qui prend en compte la mesure de tous les transformateurs de courant du poste. Cette zone de supervision est indépendante de la position des sectionneurs

[1]. Pour éviter toute stabilisation excessive, cette zone de supervision applique une logique particulière qui nécessite un montage spécial pour la tester : deux jeux de courant sont

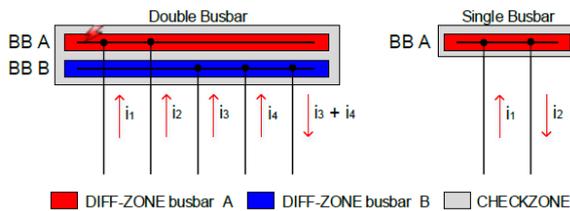


FIGURE 2 DIFFERENTES ZONES DU JEU DE BARRES

appliqués sur deux travées pour assurer la stabilité alors qu'un troisième jeu de courant est utilisé pour déstabiliser la protection sur une autre travée [2]. La zone discriminée par les positions sectionneur et la zone de supervision se chevauchent. Afin de tester facilement chaque caractéristique, les paramètres sont changés, ou désactivés et des contacts utilisés pendant le test. Nous estimons que cette méthode est dangereuse et non fiable. Il existe un risque potentiel de laisser la protection dans un état incohérent ou de non fonctionnement.

Un test basé sur les paramètres de la protection peut vérifier que la protection fonctionne correctement, conformément aux paramètres donnés. Mais réaliser ces simples tests ne serait pas suffisant au vu de la complexité d'une protection barres moderne. Une attention particulière est requise lors des tests :

- Des fonctions logiques, par ex. défaillance disjoncteur et détection de défauts en zone morte
- De la bonne configuration de la position des sectionneurs
- Du bon fonctionnement global, de l'ensemble des fonctions
- Du bon fonctionnement des entrées courant avec le rapport de TC adapté
- De l'interface avec la travée, et des protections complémentaires

Les erreurs liées à ces divers points sont généralement classées comme erreur de logique, ingénierie et paramétrage. Les études prouvent [3] que pour toutes les protections, il s'agit des causes d'erreur les plus probables. Comme les tests de la protection doivent toujours trouver le juste équilibre entre précision du test et temps affecté, il est important de consacrer du temps là où les erreurs sont le plus susceptibles de se produire. C'est pourquoi nous suggérons un test basé sur les paramètres du réseau pour tester les protections barres.

II. TESTS BASES SUR LES PARAMETRES RESEAU

Un test basé sur les paramètres de la protection vérifie les réglages et les fonctions d'un relais par rapport aux paramètres donnés. Au contraire, un test basé sur les

paramètres du réseau valide si le système de protection fonctionne correctement dans des conditions réelles de défaut. Au lieu de tester une caractéristique en régime permanent, les défauts (ou autres conditions du réseau) sont calculés avec une simulation du réseau et directement générés. On teste ainsi que la protection, avec sa logique et ses paramètres, protège correctement le réseau pour lequel elle a été configurée. Ce type de test permet également de gagner un temps précieux lors de la préparation, l'exécution et le dépannage lors d'un test, comme nous le verrons par la suite.

En raison de multiples configurations de jeux de barres possibles, chaque application d'un système de protection barres est quasiment unique. Il n'existe donc aucune façon standard de tester la réplique des positions des sectionneurs et autres logiques. Pour fonctionner correctement, la protection barres doit connaître l'état du poste avec la position des sectionneurs pour l'ensemble des travées. C'est pourquoi un système de test doit reproduire le schéma fantôme du jeu de barres en prenant en compte l'état des sectionneurs et en appliquant les courants de de chaque travée de manière cohérente. Cela signifie que les valeurs analogiques doivent être plausibles. Par exemple, un courant n'est mesuré que quand, les sectionneurs et disjoncteurs associés au circuit sont fermés. Si tel n'est pas le cas, les fonctions comme la supervision des circuits courant, la supervision des sectionneurs et les fonctions de protection défaillance disjoncteur empêcheront la protection de fonctionner dans des conditions réelles et le test échouera.

Idéalement, le courant est injecté sur toutes les travées simultanément, mais en fonction du nombre de travées et des équipements de test disponibles, ce n'est pas toujours possible. Mais deux équipements de test de six phases permettent de tester une configuration avec trois travées et un couplage, et d'exécuter presque tous les cas de test importants. Une fois que toutes les travées ont été correctement testées, les équipements de test peuvent être connectés aux travées suivantes. Selon la conception du poste et en cas de protection distribuée, les unités de travée peuvent être distantes de plusieurs mètres, ce qui détermine les principales caractéristiques d'un système de test :

- Simulation des états du sectionneur
- Calcul des courants de tous les équipements de test, pour chaque étape de test et chaque état dans la séquence de test
- Contrôle de plusieurs équipements de test synchronisés

Sans solution de test basée sur les paramètres du réseau, ces tâches sont souvent réalisées à l'aide d'un tableur. Chaque ligne ou étape de test possède plusieurs colonnes définissant les états des sectionneurs et courants des travées. Lors de l'exécution, les positions du sectionneur sont reproduites en fonction de la ligne de test, en pontant les entrées binaires au niveau des unités de travée ou à l'aide d'un banc de test spécifique. Les courants sont injectés en utilisant un ou plusieurs fichiers « state sequencer » sur les

équipements de test. La création de ce type de tableur et son exécution peuvent s'avérer très fastidieux. La complexité augmente exponentiellement avec la taille du poste. Un problème non technique est que ces tableurs ne sont pas très lisibles. Ils sont généralement préparés par un ingénieur d'essai transformant un scénario réel en ligne de tableur. Si le test sur site est réalisé par une autre personne qui essaie de comprendre la ligne de test, il retransforme le tableur en scénario réel dans son esprit. Cette conversion permanente est inefficace et source potentielle d'erreurs.

Un outil de test basé sur les paramètres du réseau peut être une solution complète à ce problème. Pour modéliser le réseau, la topologie du poste prenant en compte les rapports des TC et idéalement les courants de court-circuit, peut être éditée à l'aide d'un éditeur de schéma unifilaire. Tout ce qui permet de définir une étape de test peut être effectué sur le schéma unifilaire.

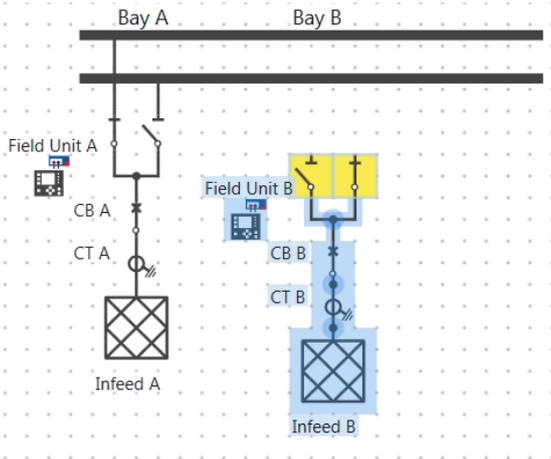


FIGURE 3 : ÉDITEUR DE SCHEMA UNIFILAIRE

A. Simulation des positions sectionneur

Dans un cas de test, les sectionneurs peuvent être simulés directement dans l'éditeur. Ainsi, la simulation du poste prendra en compte la répartition des courants sur les tronçons de barres. De plus, il est possible d'associer les entrées binaires de position sectionneur aux sorties binaires de l'équipement de test. Avant l'exécution du test, le logiciel détermine toutes les sorties binaires de l'équipement de test en fonction de la position définie du sectionneur. Ainsi, le test peut être entièrement automatisé sans avoir besoin de pointer manuellement les contacts du sectionneur avant chaque étape de test, réduisant la source d'erreurs et améliorant l'efficacité. Si tous les sectionneurs sont simulés par la solution de test, de nombreuses sorties sont nécessaires. Il est donc possible de rajouter des blocs de sorties complémentaires sur un équipement plutôt que d'utiliser un équipement de test supplémentaire, ce qui serait beaucoup plus coûteux.

B. Calcul du courant

Le calcul du courant est facile à réaliser, quelle que soit la complexité de la topologie du poste. En modifiant les

transits de charge, en plaçant des défauts et en prenant en compte les manœuvres de disjoncteur dans le logiciel, la simulation du réseau calcule les différents courants pour chaque travée connectée.

C. Utilisation simultanée de plusieurs équipements de test

Lorsque les courants sont calculés, ils sont appliqués par un ou plusieurs équipements de test. Le logiciel définit ensuite le top d'exécution du test. Comme tous les équipements de test sont synchronisés, ils lancent l'exécution en même temps. Après l'exécution, les équipements de test transmettent les événements enregistrés au logiciel, où ils peuvent être évalués. Toutes ces étapes peuvent être contrôlées par un seul logiciel et lancées en cliquant simplement sur le bouton d'exécution. Aucune coordination entre utilisateurs n'est requise et un document de test unique est édité.

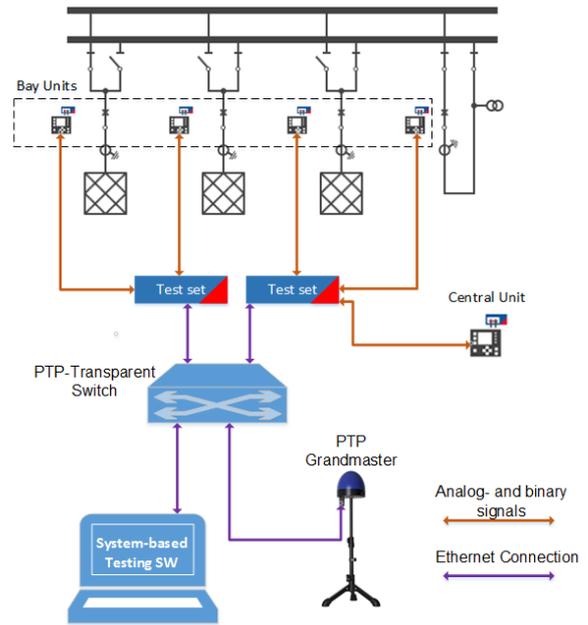


FIGURE 4 MONTAGE POUR UN TEST DE PROTECTION BARRES BASE SUR LES PARAMETRES DU RESEAU

La synchronisation horaire est nécessaire lorsque plusieurs équipements de test sont utilisés. Un décalage dans le temps de l'exécution de l'un d'entre eux peut générer un déphasage entre les courants des équipements de test, qui pourrait déclencher l'élément différentiel même à charge nominale. Pour éviter une configuration complexe avec plusieurs antennes GPS, les équipements de test peuvent être connectés à un réseau Ethernet PTP. Cette configuration ne nécessite qu'une seule source de temps maître PTP de référence connectée à un switch spécial (compatible PTP). La référence de temps est ensuite répartie à tous les équipements de test. Ce réseau peut également être utilisé pour communiquer entre le logiciel de test et les équipements de test.

D. Tests de séquences logiques complexes

Dans de nombreuses étapes de test, il est important de réagir aux commandes de protection. Lorsqu'une commande de déclenchement est envoyée, le disjoncteur doit s'ouvrir dans la simulation et interrompre la circulation du courant correspondante. Une fois encore, la simulation doit rester cohérente. Le cas contraire serait considéré comme une défaillance du disjoncteur et empêcherait la suite logique de la séquence. La capacité d'une simulation à réagir à une commande du système testé est généralement appelée « boucle fermée en temps réel ». Mais les systèmes de simulation en temps réel ne conviennent qu'en laboratoire, exigent une expertise approfondie et un investissement important. Alors qu'une simulation avec des équipements de test répartis est plus adaptée aux essais site. Une alternative adaptée à la complexité du test en temps réel, consiste à utiliser un algorithme d'itérations en boucle fermée. Lors de l'application de cet algorithme à une simulation de défaut barres, la première itération est injectée sans aucune commande de disjoncteur. Cependant, la protection répond

au défaut par une commande de déclenchement qui est enregistrée par le logiciel de test. Comme on suppose que le relais devrait répondre avec le même temps de déclenchement pour la même valeur de courant que dans l'injection précédente, nous réalisons la même injection suivie d'un ordre d'ouverture, peu après le déclenchement attendu. Lors de l'envoi d'une autre commande de déclenchement, qui ne fait pas partie des simulations précédentes, une troisième itération est exécutée, contenant maintenant deux événements de disjoncteur. Cet algorithme continue jusqu'à ce qu'aucune nouvelle commande de déclenchement inconnue ne soit générée par la protection. On obtient avec la dernière itération un résultat similaire à celui obtenu avec un simulateur en temps réel. L'avantage de cet algorithme est la simplicité de test de la logique. Après avoir placé le défaut, les itérations en boucle fermée exécutent la séquence. La Figure 5 illustre un exemple avec deux itérations.

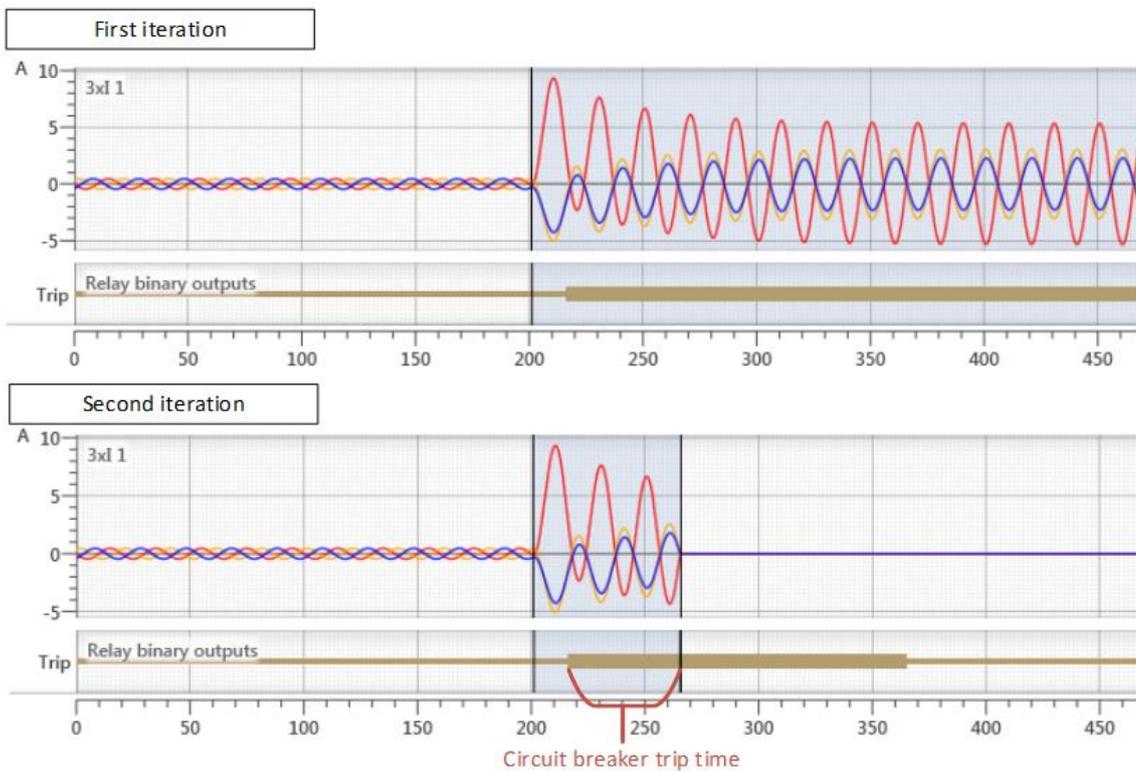


FIGURE 5 : EXEMPLE DE SEQUENCE D'ITERATIONS EN BOUCLE FERMEE

III. EXPERIENCE REELLE

Au cours des trois dernières années, nous avons recueilli de nombreuses expériences de tests de protections barres

réalisées avec cette méthode, comme nous l'avons vu en détail dans les points [4] et [5]. Dans cet article, nous tenions à insister sur l'importance des tests basés sur les paramètres du réseau. Nous avons donc résumé quelques-unes des

erreurs détectées au cours de plusieurs tests en usine et sur site. Dans la plupart des cas, la méthode basée sur les paramètres du réseau était utilisée pour la première fois par l'ingénieur d'essai, ce qui explique que les tests avaient été réalisés auparavant avec une méthode conventionnelle. On peut donc dire que la plupart des erreurs n'auraient pas été détectées sans l'outil de test basé sur les paramètres du réseau. En rétrospective, toutes les erreurs décrites ici peuvent également être détectées avec des outils de test traditionnels, mais nous avons constaté que la simplicité de la méthode basée sur les paramètres réseau améliore la qualité du test. Lorsque la création et l'exécution d'un cas de test consistent simplement à placer un défaut et à exécuter le test, les essayeurs réalisent plus de tests de manière plus approfondie.

A. Défaut dans la zone morte

Pour une sélectivité optimale sur une travée couplage, deux jeux de TC sont généralement installés de part et d'autre du disjoncteur afin d'avoir un recouvrement des zones. Pour des raisons économiques, un seul jeu de TC est souvent installé, ce qui crée une zone morte entre le TC et le disjoncteur. Les protections barres modernes intègrent une logique spécifique pour détecter les défauts dans la zone morte, en prenant en compte l'état du disjoncteur de couplage. Sur un poste à double jeu de barre, un cas de test a été défini afin de valider qu'un défaut en zone morte avec le couplage ouvert ne déclenche que la barre B (si le couplage est fermé, la barre A déclenche, suivi de la barre B grâce à la fonction « zone morte »). La protection a déclenché de manière non sélective lors du test. L'erreur due aux paramètres de la protection barres a été corrigée.

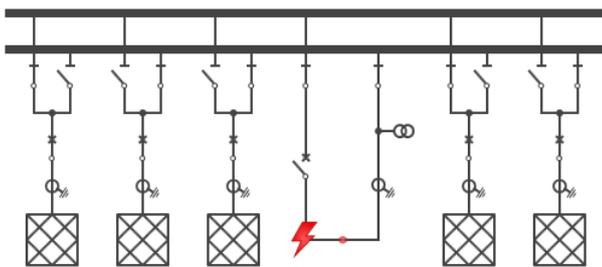


FIGURE 6 : DEFAUT EN ZONE MORTE

B. Deux unités de travée sur un couplage

L'erreur suivante a été détectée sur une protection barre distribuée sur un poste à double jeu de barre avec barre de transfert. En raison du nombre d'entrées binaires limité sur la première unité de travée, une seconde unité a été installée pour la travée couplage. Lors de la mise en service, des séquences de test pour valider la fonction « zone morte » ont d'abord échoué. Avec cette configuration, les deux unités de travée devaient être connectées aux contacts auxiliaires du disjoncteur, mais une seule unité de travée était câblée correctement. Le problème a été résolu en câblant également les contacts du disjoncteur à la seconde unité.

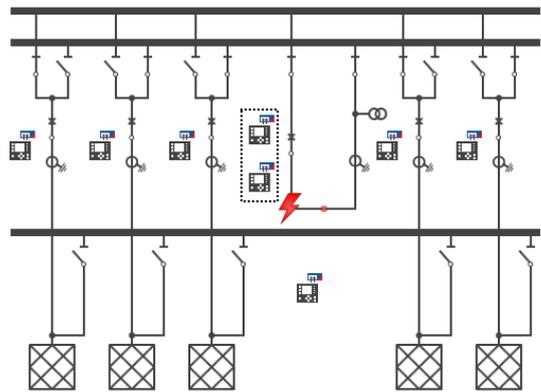


FIGURE 7 : DEUX UNITES DE TRAVEE SUR UN COUPLAGE

C. Déclenchement intempestif sur défaillance disjoncteur

L'erreur suivante a été détectée pendant la validation d'un concept de protection dans un laboratoire de test. Le système testé se composait d'une protection barres basse impédance intégrant la fonction « défaillance disjoncteur » et des protections départ ligne. Lors d'un cas de test, un défaut en dehors de la zone différentielle a été simulé. Bien que ce défaut doit être éliminé par la protection départ ligne, la défaillance disjoncteur a fonctionné provoquant le déclenchement de la barre. Comme le test basé sur les paramètres réseau simule également le temps d'ouverture du disjoncteur, on a découvert que la marge de sécurité de la protection défaillance disjoncteur était insuffisante, ce qui a entraîné un déclenchement non sélectif du jeu de barres lors du test.

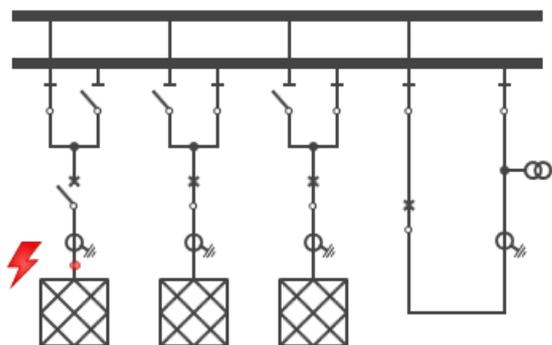


FIGURE 8 : DEFAUT EXTERIEUR A LA ZONE PROTEGEE

D. Câblage incorrect de l'entrée de courant neutre

L'erreur suivante a été détectée sur un poste à double jeu de barre avec une protection barre distribuée. Le réseau était connecté avec une faible impédance de terre pour limiter les courants lors de défauts phase - terre. Dans le réglage par défaut de l'élément différentiel, un courant de défaut aussi faible serait bloqué par le courant de retenue lié à la charge triphasée. Le gestionnaire du réseau a résolu ce problème en choisissant une protection barre avec une caractéristique à pourcentage spécifique pour le courant neutre (I_N). La valeur I_N a été mesurée via une entrée de courant séparée connectée

à un circuit Holmgreen. Un cas de test basé sur les paramètres du réseau a démontré que les défaut phase-terre extérieurs à la zone protégée entraînaient un déclenchement non sélectif de la protection barre, causé par la polarité incorrecte de l'entrée courant I_N . Un test conventionnel n'avait pas détecté cette erreur car chaque travée était testée indépendamment avec une seule injection de courant sans réaliser de test synchronisé.

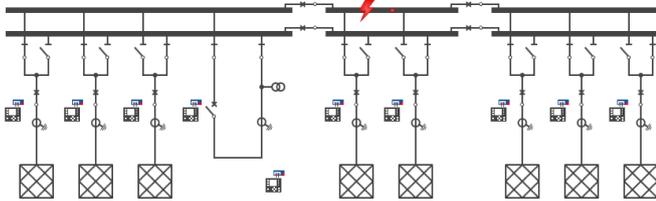


FIGURE 9 : DEFAUT BARRES SUR LA SECTION

IV. CONCLUSION

Les erreurs détectées sur site ont prouvé que les tests basés sur les paramètres du réseau étaient nécessaires pour des protections barres modernes. Une solution de test dédiée de ce type simplifie nettement la réalisation de tels tests.

V. BIBLIOGRAPHIE

- [1] G. Ziegler, Numerical Differential Protection: Principles and Applications, Erlangen: Publicis Publishing, 2012.
- [2] Siemens, Manuel SIPROTEC 7ss52x, Siemens, 2004.
- [3] Protection System Misoperations Task Force, « Misoperations Report », North American Electric Reliability Corporation (NERC), Atlanta, 2013.
- [4] C. Pritchard et T. Hensler, « Test and verification of a busbar protection using a simulation-based iterative closed-loop approach in the field », dans l'*Australian Protection Symposium*, Sydney, 2014.
- [5] F. Fink, J. Köppel et T. Hensler, « Effective commissioning of bus bar protection systems using a dynamic simulation in the field », dans *Development in Power System Protection 2016 (DPSP)*, Birmingham, 2016.

OMICRON est une société internationale qui développe et commercialise des solutions innovantes de test et de diagnostic pour l'industrie électrique. Les produits OMICRON offrent aux utilisateurs une fiabilité extrême dans l'évaluation de leurs équipements primaires et secondaires. Des services dans le domaine du conseil, de la mise en service, du test, du diagnostic et de la formation viennent compléter l'offre OMICRON.

Des clients dans plus de 160 pays bénéficient déjà de la capacité d'OMICRON à mettre en œuvre les technologies les plus innovantes dans des produits d'une qualité irréprochable. Les centres de support implantés sur tous les continents leur offrent en outre une expertise et une assistance de tout premier plan. Tout ceci, associé à un réseau solide de partenaires commerciaux a contribué à faire de notre société un leader sur son marché dans l'industrie électrique.

Pour un complément d'information, une documentation supplémentaire et les coordonnées précises de nos agences dans le monde entier, veuillez visiter notre site Internet.