Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 93 (2002)

Heft: 18

Artikel: GEstion du Neutre par un Elément Supraconducteur de type Inductive (GENESI)

Autor: Maerean, Ovidiu

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-855451

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 13.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

GEstion du Neutre par un Elément Supraconducteur de type Inductif (GENESI)[1]

Le but de l'étude est d'expliquer le comportement d'un limiteur de courant de défaut supraconducteur de type SCFCL intercalé dans la connexion du neutre. Ces limiteurs sont les seuls capables d'associer une basse impédance à l'état passant avec une fonction de limitation quasi instantanée.

■ Ovidiu Maerean

Abstract

La continuité de service en présence d'un défaut à la terre est également liée au régime du neutre. L'effet Petersen offre l'avantage de l'auto-extinction de l'arc électrique au lieu du défaut (pour un défaut monophasé) et permet donc dans certaines conditions de garder en fonction le départ affecté par le court-circuit. La qualité de la fourniture est meilleure dans ce cas par rapport à la situation où le neutre serait relié à la terre directement ou par une impédance de petite valeur. Malgré ceci, la sélectivité des systèmes de protections est médiocre.

Une méthode d'amélioration de la sélectivité consiste à modifier l'impédance homopolaire du réseau. Ce fait se traduit par la modification du courant de défaut, ce qui permet l'identification du départ en court-circuit.

L'objectif principal visé par le projet est d'évaluer la possibilité d'intégrer dans la connexion du neutre d'un réseau de moyenne tension un élément supraconducteur de type inductif.

Le changement d'état de l'élément supraconducteur inséré dans le neutre du réseau se reflète sur l'amplitude du courant de défaut sur le départ court-circuité.

La réactance inductive de l'élément supraconducteur dans sa transition autonome et réversible à l'état de conductivité normale, va augmenter en égalant à un certain moment la réactance capacitive totale du réseau «l'effet Petersen». Dans certaines conditions et selon la conception du limiteur, l'extinction de l'arc électrique aura lieu et donc l'auto-élimination du défaut.

[1] angl.: Shielded Core Fault Current Limiter

Adresse de l'auteur
Dr *Ovidiu Maerean*
Energie Ouest Suisse
Place de la Gare 12
1001 Lausanne

Description de la solution proposée

Les limiteurs de courant de défaut supraconducteurs (SFCL) sont les seuls capables d'associer une basse impédance à l'état passant avec une fonction de limitation quasi instantanée.

L'utilisation de la non-linéarité de la résistivité des supraconducteurs est très prometteuse. Ces matériaux ont un grand pouvoir de coupure par la très grande différence de résistivité entre l'état supraconducteur et l'état normal. En plus d'une résistivité nulle, les HTS (High Temperature Superconductors) permettent des densités de courant très élevées (à présent celle-ci dépasse 50×10^3 A/cm^2), ce qui peut être déterminant dans l'enjeu économique pour l'introduction de ces nouvelles technologies [2].

La solution proposée fait partie de la catégorie de limiteurs de courant supraconducteurs de type inductif qui n'intercalent pas l'élément supraconducteur directement dans le circuit électrique. Le noyau de la bobine est protégé par un écran supraconducteur qui a la propriété d'expulser un champ magnétique extérieur (l'effet Meissner) tant qu'il se trouve à l'état de supraconductivité. Les procédés actuels utilisés pour la construction des cylindres massifs consistent généralement en un dépôt de films épais d'une *encre* de YBCO sur un substrat de zirconia stabilisé par de l'yttrium polycristallin (YSZ).

Même si la construction d'un tel dispositif devient à présent possible, peu de choses sont connues sur certaines caractéristiques physiques (comme la densité critique de courant J_c) dans un élément en YBCO de grande taille (diamètre >1m).

Le limiteur de courant inductif est assimilé à un transformateur monophasé. Ce type de dispositif a un enroulement primaire classique en cuivre ou aluminium et un enroulement monospire au secondaire. Cet enroulement secondaire est un cylindre de HTS. Dans les conditions normales sans défaut, l'élément supraconducteur empêche le flux magnétique créé par le courant qui traverse l'enroulement primaire de pénétrer le noyau magnétique (l'effet Meissner); ainsi l'impédance de la bobine est quasiment nulle (figure 1) [1, 3, 5].

Inséré dans la connexion du neutre, à l'apparition d'un défaut monophasé la valeur du champ magnétique augmente rapidement. La valeur de celui-ci dépassera le seuil critique H_c et la réactance de la bobine augmente en réduisant l'amplitude du courant inductif contrôlé par le régime de neutre. L'auto-élimination d'un défaut simple par résonance ampèremétrique *«l'effet Petersen»* est équivalente avec l'ouverture de l'interrupteur fictif placé dans le schéma de connexion en série des impédances de séquence directe, inverse et homopolaire.

Si les conditions physiques de l'écran supraconducteur le permettent, il revient à l'état de supraconductivité. Les sollicitations thermiques sont nettement in-

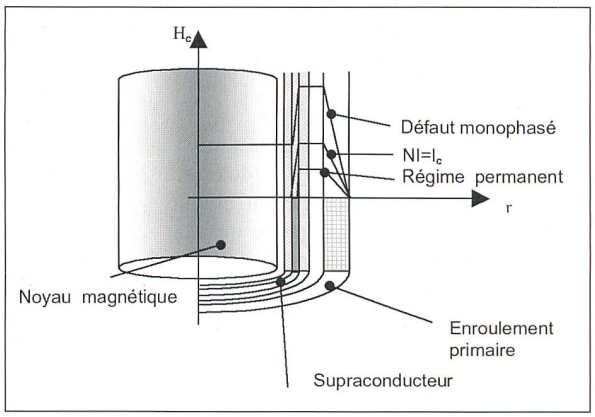

Figure 1 Pénétration du champ magnétique en régime de défaut.

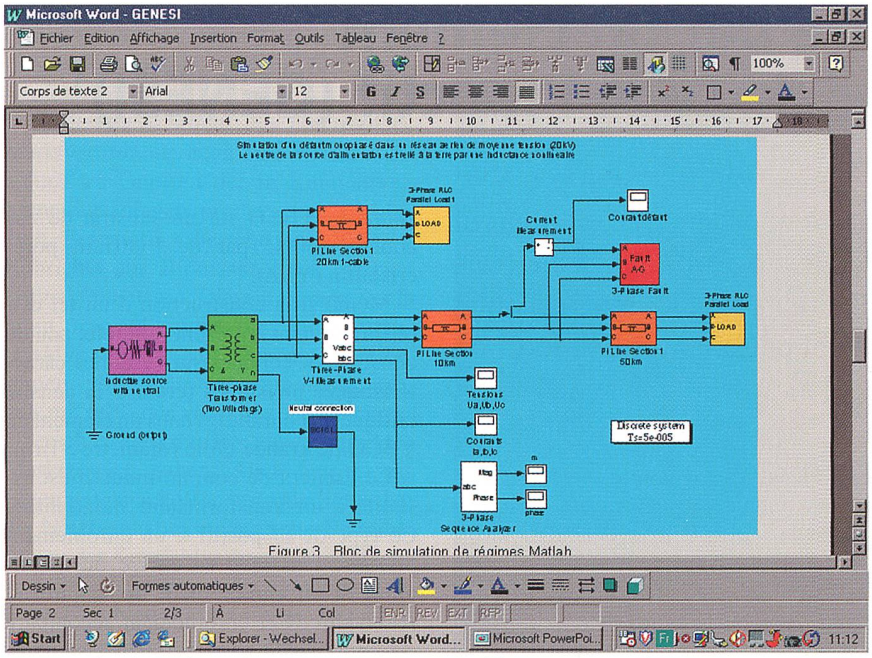

Figure 2 Bloc de simulation de régimes transitoires en Matlab pour un réseau de MT.

férieures dans le cas où la transition ne serait pas complète, c'est-à-dire lorsque l'élément migre entre l'état Meissner et l'état mixte.

Simulations numériques

Dans la figure 2 est représenté le schéma «Bloc de simulation de régimes transitoires» pour le cas où le réseau serait soumis à un défaut. Il permet l'analyse complète de la plupart des états de défaut rencontrés en pratique. De ce point de vue, l'environnement Matlab avec Simulink s'avère extrêmement flexible [4].

Le courant résiduel qui parcourt seulement la phase en défaut sera donc égal à la résultante entre le courant inductif de transition de la bobine non linéaire et le courant capacitif total du réseau. Il résulte donc un train d'impulsion qui parcourt seulement la phase en défaut et qui permettrait l'identification du départ affecté par le court-circuit.

L'arc électrique intermittent reste difficile à simuler en Matlab. Un courant quasiment nul au lieu de défaut signifierait l'absence du défaut parce qu'au-dessous de quelques ampères la rigidité diélectrique commence à se rétablir. Les surtensions sur les phases saines ne diffèrent pas par rapport aux méthodes classiques, avec la différence que la non-linéarité de la bobine se répercute sur l'aspect des tensions qui auront une allure légèrement déformée.

Le choix de la méthode d'intégration des équations intégro-différentielles constitue une étape importante. Pour cela le langage Matlab offre une palette de méthodes adaptées à la résolution des systèmes de type «stiff».

Même avec ces outils, il s'avère nécessaire de vérifier la solution mathématique obtenue en changeant la méthode et vérifier les résultats, pour éliminer les oscillations d'origine mathématique qui caractérisent le modèle physique.

Conclusions

Le but de l'étude est d'expliquer le comportement d'un limiteur supraconducteur de type SCFCL intercalé dans la connexion du neutre.

Les remarques suivantes en résultent:

- Une panne du système de réfrigération entraîne la destruction du limiteur de courant, qui peut avoir aussi des conséquences sur le fonctionnement de la ligne électrique ou du circuit protégé. Installé dans la connexion du neutre, ce risque est diminué car en régime permanent il n'y a pas de circulation de courant importante. En conséquence, même s'il y a une perte d'agent cryogénique ou une panne au niveau du système de réfrigération, le réseau risque de fonctionner avec le neutre isolé, ce qui n'affecte pas la fourniture.
- Le modèle créé en Matlab et les simulations numériques mettent en évidence le fait que pour la connexion du neutre en particulier des durées de transition rapides ne sont pas nécessaires. Celles-ci doivent assurer l'extinction complète de l'arc électrique pour bénéficier de l'avantage de l'autoréglage par changement d'état de l'élément supraconducteur.
- Le système de refroidissement qui permet l'évacuation de l'énergie de court-circuit joue un rôle important pour préserver le limiteur prêt pour un nouveau cycle de transition.
- Un modèle complet qui analyse simultanément les phénomènes thermiques et électriques est nécessaire, tenant compte du fait qu'une restriction sur la température est indispensable.
- Les défauts passagers seront auto-éliminés, ce qui fait que la qualité de la fourniture est meilleure. La variation de l'impédance homopolaire du réseau fournit l'information nécessaire pour une bonne sélectivité dans le cas où le défaut persisterait.
- Un système d'accord à la résonance n'est pas nécessaire parce que la réactance inductive va migrer pendant la transition à l'état de conductivité normale vers la valeur qui correspond à la réactance capacitive du réseau.
- Les caractéristiques et le comportement de l'écran ayant des dimensions géométriques importantes seraient utiles pour la construction du modèle numérique proche de la réalité.

Rappelons finalement que dans les conditions actuelles particulièrement concurrentielles dues à la libéralisation du marché d'électricité, la qualité de la fourniture représente un atout essentiel.

Bibliographie sélective

[1] *Reimann N.*: Modeling and simulation of high temperature superconducting fault current limiters inserted in a distribution level power system. Thèse EPFL n° 1836 (1998).

[2] *Jonathan L. M.*: Superconductivity – The threshold of a new technology.Tab books. Blue Ridge Summit, PA. 1988.

[3] *Balzer E., Schmitt H., Schultz W.*: Operating of superconducting fault current limiters in electrical networks. CIRED Conf. Pub. No. 438.

[4] *Chee-Mun Ong.*: Dynamic Simulation of Electric Machinery. Prentice Hall PTR, 1998.

[5] *IEEE Transaction on applied superconductivity.* Design considerations for an inductive high Tc superconducting fault current limiter. Vol. 3, No. 1, March 1993.