MODELISATION DU FONCTIONEMENT D'UN LIMITEUR DE COURANT DE DEFAUT SUPRACONDUCTEUR INDUCTIF

Florian ŞTEFĂNESCU

Département d'Electrotechnique Théorique, Faculté d'Electrotechnique
Université de Craiova, Decebal 107, 200440 – Craiova, Roumanie
Tel.: 40-251 435 724 / 144; e-mail: florian@elth.ucv.ro

Résumé **– L'objectif de cet article est d'établir le modèle d'un limiteur de courant de défaut inductif supraconducteur monophasé, en utilisant le logiciel SIMPLORER. Ce modèle est nécessaire pour l'analyse du comportement et de l'efficacité de ce type de limiteur dans un réseau électrique.**

Mots - clés : *limiteur inductif, supraconducteur, modélisation*

1. INTRODUCTION

Le limiteur inductif le plus simple est constitué d'un noyau magnétique, d'un bobinage primaire classique en cuivre placé en série sur la ligne à protéger et un élément supraconducteur en court-circuit (cylindre) comme secondaire (Figure 1) [1].

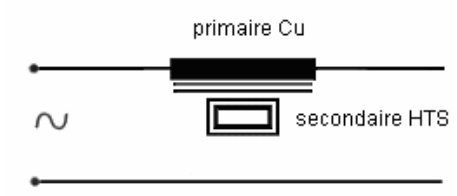

Figure 1: Schéma de principe du limiteur inductif.

Le fonctionnement du limiteur inductif supraconducteur (SFCL) est basé sur la nette augmentation de son impédance ramenée au primaire d'une valeur réduite en régime stationnaire et d'état supraconducteur du secondaire vers une valeur plus élevée de limitation et d'état conducteur normal du secondaire. En régime normal, le courant secondaire traverse l'élément supraconducteur avec de pertes minimes. Du point de vue du primaire, en régime normal, le limiteur est équivalent à l'inductance du transformateur en court-circuit. Lorsqu'un défaut surgit, le courant secondaire dépasse le courant critique du supraconducteur et le matériau transite vers l'état conducteur normal ce qui provoque une nette augmentation de l'impédance ramenée au primaire.

La performance du limiteur supraconducteur se fonde sur la transition très rapide de l'état supraconducteur vers l'état conducteur normal du secondairse au moment du dépassement d'une valeur limite du courant secondaire (valeur critique) établi en mode convenable par le dimensionnement du circuit supraconducteur. Il faut souligner que ce principe implique certains conditions liées du comportement thermodynamique du matériau supraconducteur pour faire face aux surchauffages dangereux et de l'assurance la restauration rapide de l'état supraconducteur.

Le fonctionnement du limiteur inductif nécessite un système cryogénique utilisant l'azote pour assurer la basse température nécessaire à l'enroulement supraconducteur.

Avec tous les difficultés de la technique cryogénique, ce dispositif devient supérieur aux autres systèmes de protection par sa vitesse de commutation inférieure à 100µs [2,3]. LA limitation rapide des courants de defaut (sous 5ms) reste un problème mal résolu dans les réseaux électriques dus aux limites mécaniques encore inévitables. Les avaries thermiques sont en général limitées par l'action des disjoncteurs après quelques demi-périodes. Mais, il est trop tard pour les effets électrodynamiques avec tous ses progrès réalisés dans le domaine des commutateurs.

Au présent, le développement des supraconducteurs à haute température critique permet la réalisation des dispositifs supraconducteurs ultrarapides (SFCL) pour la limitation des courants de défaut dans les réseaux électriques.

Les limiteurs de courant de défaut supraconducteurs sont les seuls capables d'assurer une protection contre ces dommages par un grand pouvoir de coupure due à la très grande différence entre l'état supraconducteur et l'état résistif.

Pour l'interruption complète du courant limité, il est nécessaire d'installer un disjoncteur classique en série avec le limiteur dans un système énergétique traditionnel ou nonconventionel cryogénique (générateurs, transformateurs, câbles supraconducteurs) [4].

Il faut souligner que le courant de défaut doit être limité à (3-4) I_N (le courant d'enclenchement de transformateur), ce qui est bien en dessous des courants de court-circuits sans limiteurs.
La modélisation et simulation d'un limiteur inductif de courants de défaut doivent servir à la réalisation des suivants buts :

- le dimensionnement optime du dispositif supraconducteur de protection;
- l'analyse du comportement de ceci dans un réseau électrique.

Le dimensionnement optime du limiteur inductif, en spécial de l'élément supraconducteur, on réalise par l'application des équations de Maxwell en respectant les lois de comportement du matériau supraconducteur utilisé [1].
Dans cet article, on étudie un modèle de limiteur inductif supraconducteur monophasé.
Le modèle du limiteur se fonde sur les paramètres d'un limiteur inductif réalisé avec le matériau supraconducteur YBCO massif [5].
Dans le schéma proposé pour la simulation du fonctionnement du limiteur inductif dans un réseau électrique on peut implémenter les paramètres réels d'un réseau concrète.

2. SCHEMA DE PRINCIPE

La modélisation du limiteur supraconducteur est réalisée à l'aide de deux inductances en série L1 et L2. L'inductance L2 peut être court-circuitée par l'intermède d'un commutateur commandé S. Le schéma équivalent est présenté à la Figure 2.

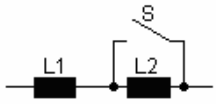

Figure 2 : Schéma équivalent du limiteur.

Conformément au données expérimentales, obtenues à l'occasion d'un premier test du limiteur réalisé dans le cadre d'un contrat de recherche, les inductances ont les suivantes valeurs :

L1 = 0,238 H
L2 = 0,434 H

La résistance de l'enroulement primaire très petit (1,5Ω) est négligeable.
Le réseau est modélisé par la résistance de charge Rs et la résistance de la ligne Rl. Le circuit électrique est alimenté par une source de tension alternative ET1. Le schéma équivalent est présenté à la Figure 3.
Le défaut est simulé par le court-circuit de la résistance Rs réalisé avec commutateur commandé S1.

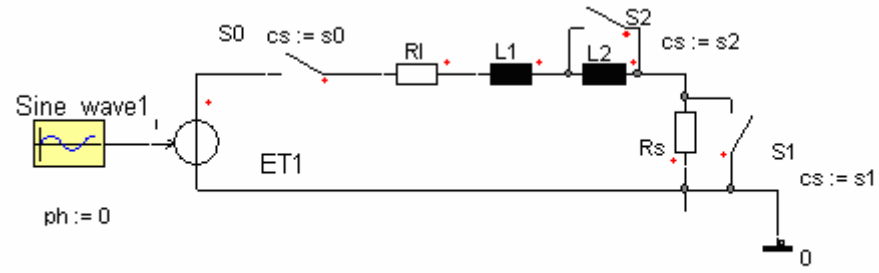

Figure 3: Schéma équivalent du circuit.

On a établi dans un mode convenable :

- la tension de la source U1 = 110V
- les résistances Rs = 430 Ω et Rl=3,6 Ω

Il résulte le courant nominal dans le circuit :

- In = 0.25 A

et le courant limité :

- Il = 1 A (4xIn)

3. SIMULATION

La simulation du défaut et du fonctionnement du limiteur inductif SFCL est réalisé par 3 séquences de commutations qui délimitent 4 états :

- l'état O du circuit non alimenté au temps t=0 (les commutateurs S0 et S1 ouverts, le commutateur S2 fermé);
- l'état N du circuit alimenté après 1ms (les commutateurs S0 et S2 fermé, le commutateur S1 ouvert);
- l'état S de court-circuit établi après 41ms (les commutateurs S0, S1, S2 fermés);
- l'état L de limitation du courant de défaut (les commutateurs S0 et S1 fermés, le commutateur S2 ouvert au dépassement de la valeur de 1 A).

À la Figure 4 on présente les séquences de commutations et les états correspondants.

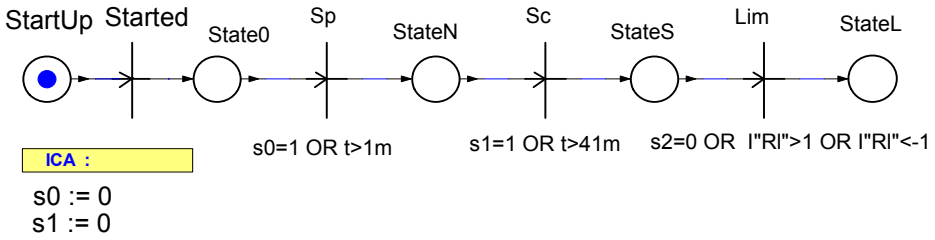

Figure 4 : Séquences des commutations (4 états).

De l'évolution du courant (présentée graphiquement à la Figure 5), on observe dépassement de la valeur de 1 A du courant maximal sur quelques demi-périodes de régime transitoire. En fait, ceci est le plus défavorable cas du régime transitoire de court-circuit (court-circuit au passage par zéro de la tension).

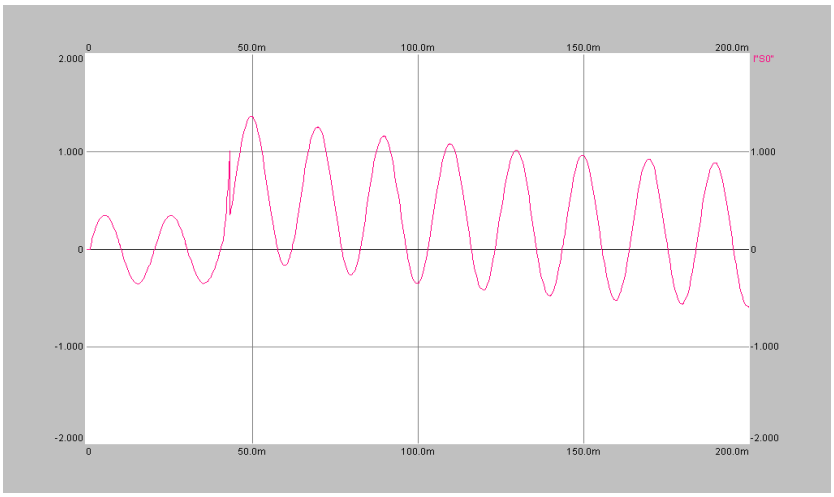

Figure 5: Evolution en temps du courant limité.

Les résultats obtenus sont similaires à ceux présentés dans l'article [6] en utilisant le logiciel PSCAD/EMTDC.

4. CONCLUSIONS

La modélisation à l'aide du logiciel SIMPLORER donne la possibilité de simuler plus de variantes constructives et d'évaluer l'efficacité d'une variante constructive de limiteur, tenir compte que les résultats quantitatifs peuvent être affectés par différentes approximations.

Ainsi, on peut choisir des options constructives en fonction des exigences imposées du réseau. Par exemple, dans le cas du régime stationnaire, le limiteur doit présenter une inductance réduite liée des paramètres du réseau électrique à protéger et où il est placé en série.

Ayant en vue les limites de la méthode numérique, aussi les approximations utilisées dans la modélisation, il est nécessaire la validation du modèle par de tests expérimentaux, pour pouvoir l'utiliser dans la conception de limiteurs de courant de défaut supraconducteur.

Remerciements

Le travail de recherche présenté dans ce papier a été en partie financé par le Ministère d'Education et Recherche de Roumanie sous contrat No. 138/2004.
L'auteur remercie la Société Nationale "TRANSELECTRICA" SA pour le support financier supplémentaire.

Références

[1] F. Ştefănescu, *Etude numérique d'un limiteur de courant de défaut supraconducteur inductif*, 8 th International Conference on Applied and 10th Theoretical Electricity and Symposium on Cryoelectrotechnics and Cryogenics, Băile Herculane 26-28 oct. 2006, Annals of the University of Craiova nr.30, 2006, pp. 378-381.

[2] M. Steurer, H. Brechna, K. Frohlich, *A Nitrogen Gas Cooled, Hybrid, High Temperature Superconducting Fault Current Limiter*, IEEE

Trans. on Applied Superconductivity, Mar 2000 pp. 840-844.

[3] M. Decroux, L. Antognazza, S. Reymond, W. Paul, M. Chen and O. Fischer, *Studies of YBCO strip lines under voltage pulses: optimisation of the design of fault current limiters*, IEEE Trans. on Applied Superconductivity, 2003,13(2), pp. 1988-1991.

[4] F. Ştefănescu, *Etude de faisabilité pour la réalisation d'un limiteur de courant de défaut resistif*, Proceedings of the 7th International Conference on Applied and Theoretical Electricity and 9th Symposium on Cryoelectrotechnics and Cryogenics, Craiova/Băile Herculane 14-15 oct. 2004, pp. 600- 602.

[5] A. Teişanu, F.Stefănescu, I. Puflea, *Physical model of superconducting faut current limiter-design and test*, 8th International Conference on Applied and Theoretical Electricity and 10th Symposium on Cryoelectrotechnics and Cryogenics, Băile Herculane 26-28 oct. 2006, ANNALS of the UNIVERSITY of CRAIOVA nr.30, 2006, pp. 386-390.

[6] J-D. Lee, M. Park, I.-K. Yu, *Formula based modeling of resistive type superconducting fault current limiter using PSCAD/EMTDC*, Proceedings of International Conference on Electrical Engineering, Khulna - Bangladesh 23-24 oct. 2002, pp. 1595-1598.