

Simulation en temps réel complètement numérique de grands réseaux de transport EHT, en vue d'analyser et de tester leurs circuits de commande et de protection.

1.0 Introduction

Traditionnellement, les simulateurs de réseaux électriques étaient montés à partir de composantes de taille réduite et complètement analogiques pour modéliser les lignes de transport, les transformateurs et les charges. Hydro-Québec, et tout particulièrement l'IREQ (Institut de recherche d'Hydro-Québec), sont largement reconnus pour leur contribution à la réalisation et à l'exploitation de l'un des plus gros simulateurs analogiques en temps réel au monde. À la fin des années 80, la capacité de calcul accrue des ordinateurs fit en sorte qu'on est passé du simulateur analogique à un simulateur hybride (analogique/numérique). Ce dernier comportait des modèles numériques de machines synchrones qui tournaient sur des DSP et qui étaient interfacés aux autres composants par des convertisseurs N/A. En 1996, l'IREQ a mis au point Hypersim, un simulateur de réseaux électriques tout numérique en temps réel qui, comparé à la version hybride, a l'avantage d'être moins volumineux et plus flexible, en plus d'être doté d'une architecture évolutive. À ce jour, Hypersim peut tourner sur deux différentes plates-formes : un système maison reposant sur des processeurs Alpha à 533 MHz et une machine haute performance d'usage général à architecture parallèle, fabriquée par la firme Silicon Graphics.

L'École de technologie supérieure (ÉTS), une école d'ingénierie à Montréal, a acheté une version maison d'Hypersim à 15 nœuds de calcul, grâce à des subventions de la Fondation canadienne pour l'innovation, du ministère de l'éducation du Québec et de TEQSIM International. C'est ainsi que l'IREQ, TransÉnergie Technologies et l'ÉTS ont pu récemment faire équipe pour monter une version maison d'Hypersim à 30 nœuds de calcul, considérée encore aujourd'hui comme le simulateur de réseaux tout numérique en temps réel le plus puissant jamais conçu. Cet article a pour but de décrire le grand réseau qu'on a simulé et quelques uns des résultats de simulation en temps réel.

2.0 Description du réseau simulé

Le réseau d'Hydro-Québec, l'un des plus grands en Amérique du Nord, consiste principalement en des centrales hydrauliques éloignées produisant plus de 35 000 MW et en onze lignes de transport à 735 kV, qui acheminent cette énergie 1000 kilomètres plus loin à deux grandes concentrations de charge: les villes de Montréal et de Québec. La stabilité, tant en régime continu qu'en régime transitoire, d'un système d'une telle étendue est assurée par l'emploi de compensation shunt adaptative (compensateurs synchrones et statiques) et de compensation série protégée par MOV (Metal-Oxide Voltage suppressors, parafoudres à oxyde de métal). Ce réseau de transport simulé sur Hypersim correspond à un débit de charge typique en période estivale avec des simplifications qui consistent à regrouper certaines centrales, lignes de transport et charges. Ce réseau comprend :

- 6 alternateurs hydrauliques et toutes leurs commandes (excitation, régulateur de vitesse, turbine et stabilisateur);



Figure 1 : Simulateur numérique en temps réel à 30 nœuds de calcul

par : Bahram Khodabakhchian, TransÉnergie Technologies
Louis-A. Dessaint et Michel Lavoie, École de technologie supérieure

Abstract

Real-time simulation of large AC/DC EHV transmission systems have been until now realized on costly and more-or-less-flexible hybrid simulators which offer some advantages in producing continuous real currents and voltages. Fully digital power system simulators used until now in limited scaled real-time simulations, have reached maturity due particularly to the development of high performance parallel computers. Recent real-time simulations of the Hydro-Québec main 735 kV transmission system with a time-step of 56 μ s realized on a 30 processors parallel machine witness the sound applications of such technology in real-time control and protective systems testing of large transmission systems.

Sommaire

La simulation en temps réel de grands réseaux électriques de transport CA/CC à très haute tension a été réalisée jusqu'à maintenant à l'aide de simulateurs hybrides coûteux et relativement peu flexibles. Les simulateurs hybrides offrent néanmoins des avantages quant à leur capacité de produire des tensions et des courants réels. Par ailleurs, les simulateurs entièrement numériques relégués jusqu'à tout récemment à l'étude de réseaux électriques de taille relativement modeste, ont désormais acquis leur pleine maturité grâce à de nouvelles plates-formes basées sur des ordinateurs parallèles. Des simulations récentes du réseau de transport de 735 kV d'Hydro-Québec sur un ordinateur parallèle de 30 nœuds de calcul en utilisant un pas de calcul de 56 μ s confirment la viabilité et la précision de cette nouvelle technologie pour la conception des systèmes de commande et de protection.

- 4 compensateurs synchrones et leur circuit d'excitation complet;
- 5 compensateurs statiques, soit 1 branche de TCR (Thyristor-Controlled Reactor, inductance commandée par thyristor) et 4 branches de TSC (Thyristor-Switched Capacitor, condensateur commuté par thyristor) et leurs commandes internes intégrales;
- 20 transformateurs saturables à 2 ou 3 enroulements;
- 40 lignes de transport avec compensation série;
- 3 charges dynamiques (de type stabilisé contre les transitoires, avec coefficients de charge réglables);
- 5 MOV pour la protection de surtension des condensateurs branchés en série;

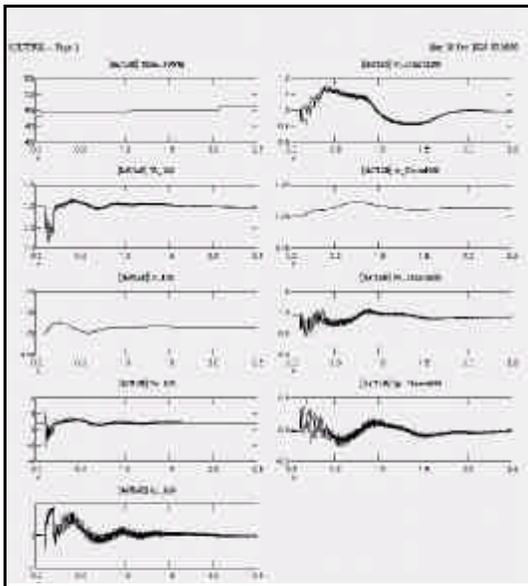


Figure 2a : Formes d'onde aux alternateurs lors d'un court-circuit trois phases à LG2

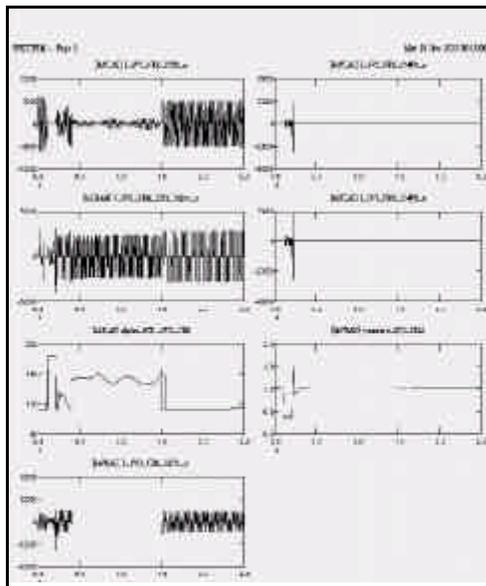


Figure 2b : Formes d'onde aux SVC lors d'un court-circuit trois phases à LG2

- 1 éclateur et un disjoncteur de contournement, et leurs commandes, pour la protection d'énergie absorbée dans les MOV.

Des 30 nœuds de calcul assemblés (figure 1), 28 furent utilisés par le répartiteur de tâches automatique pour distribuer les diverses opérations de traitement de simulation du réseau, en utilisant un pas de calcul de 56 ms. Il est bon de mentionner que certains de ces nœuds étaient également équipés de cartes d'E/S (16 N/A et 16 A/N) pour l'acquisition des données, autant analogiques que numériques.

3.0 Résultats représentatifs de simulation

Un grand nombre de scénarios de perturbations et fautes statistiques furent soumis au simulateur sur une période d'une semaine. Ces scénarios visaient divers objectifs tel que vérifier les systèmes d'acquisition et d'E/S, s'assurer de la stabilité numérique à long terme (plus de 72 heures), etc., et nous avons été satisfaits des résultats. Les figures 2a et 2b montrent les formes d'ondes associées à des données typiques générées numériquement, présentes à un groupe turbo-alternateur et aux SVC, lors d'un défaut trois phases à la terre d'une durée de 6 périodes sur le jeu de barres 735 kV à la centrale LG2. La réponse dynamique du groupe et le comportement des SVC se situent bien à l'intérieur des limites de variation auxquelles nous nous attendions. On effectue présentement, à l'aide du logiciel EMTP (Electromagnetic Transient Program), une validation en profondeur du comportement en transitoire, qui sera publiée dans un article futur. La figure 3 compare les données obtenues de façon numérique et celles obtenues de façon analogique des tensions présentes sur les commutateurs de TCR des SVC. Là encore, les résultats démontrent une très bonne concordance entre les deux, en ce qui a trait à la bande passante et au retard temporel (moins de 1,5 pas de calcul ou 85 ms).

4.0 Conclusion

Le simulateur à 30 processeurs Hypersim a démontré la haute performance de la simulation complètement numérique en temps réel d'un grand réseau de transport EHT. Les séries d'essais et de simulation ont démontré que la technologie Hypersim a atteint un niveau de performance qui lui permet d'être utilisé économiquement pour des simulations en temps réel à grande échelle, en gérant la pleine dynamique des groupes turbo-alternateurs et en réalisant une représentation plus détaillée du réseau électrique. Il en résulte que les grands simulateurs tout numériques en temps réel permettent maintenant d'effectuer, sur les systèmes de commande et de protection, des analyses et des essais qui collent très bien à la réalité.

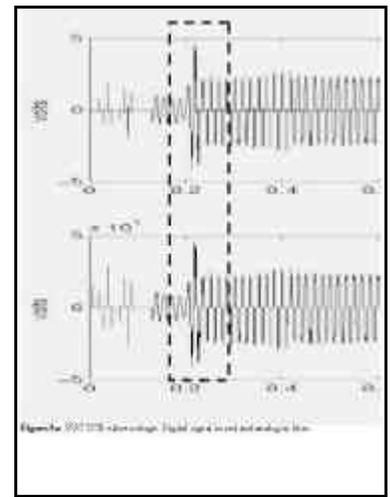


Figure 3a : Tension aux commutateurs de TCR de SVC. En haut, signal numérique; en bas, signal analogique.

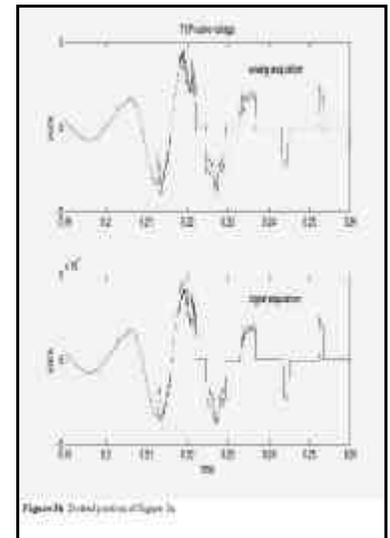


Figure 3b : Portion encadrée de la figure 3a

À propos des auteurs

Bahram Khodabakhchian est titulaire d'un baccalauréat et d'une maîtrise en génie électrique de l'École polytechnique de Montréal. Il compte plus de 18 ans d'expérience en analyse et en simulation de réseaux électriques. Il est présentement directeur des produits chez TransÉnergie Technologies qui commercialise les technologies de simulateurs d'Hydro-Québec.

Louis-A. Dessaint est professeur de génie électrique à l'École de technologie supérieure, à Montréal, et directeur du GRÉPCI (Groupe de recherche en électronique de puissance et commande industrielle). Il est co-auteur d'un logiciel de simulation de Mathworks sur les réseaux électriques et les entraînements. En 1997, l'IEEE-Canada lui a décerné le Prix de grande distinction de l'ingénieur.

Michel Lavoie est professeur de génie électrique à l'École de technologie supérieure à Montréal. Il est membre de l'IEEE et de l'Ordre des ingénieurs du Québec.