

Gestion de la surcharge des transformateurs - Relais intelligents

1.0 Possibilités des relais intelligents

Les compagnies d'électricité ont pendant longtemps utilisé les relais de protection (relais électromagnétiques et numériques de première génération) pour n'exécuter qu'une seule fonction, la protection contre les défauts. Parmi les raisons justifiant cet usage limité, la capacité de traitement restreinte vient en premier lieu. Avec la venue des relais numériques de seconde génération, qui utilisent de puissants processeurs de signaux numériques haute vitesse (DSP, etc.), le relais de protection assure les fonctions de protection usuelles de façon sécuritaire et efficace, avec la capacité de traitement en prime. Grâce à cette capacité de traitement supplémentaire, le relais s'avère être plus qu'un simple moyen de protection standard. En effet, les relais de seconde génération, gérés avec un logiciel de réglage des paramètres fonctionnant sous Windows, constituent une solution simple et efficace offrant les avantages suivants : capacité d'entrée et de sortie accrue, enregistrement numérique des défauts et fonctionnalité de gestion de l'équipement à la fois plus puissante et plus simple. La fonctionnalité de gestion de l'équipement permet aux relais, par exemple, d'assurer la surveillance de la température et de la surcharge des transformateurs. Le présent article traite de l'utilisation d'un relais « intelligent » qui protège les transformateurs contre les défauts et les surcharges.

Les transformateurs comptent parmi les pièces d'équipement les plus dispendieuses des compagnies d'électricité (voir photo en page couverture). La déréglementation et la dynamique des affaires forcent celles-ci à optimiser l'utilisation de leurs ressources. Il faut donc recourir de plus en plus à des outils qui assureront non seulement la protection des transformateurs, mais aussi la surveillance intelligente de leur fonctionnement, de leur état et de leur historique, rôle que remplissent parfaitement les relais intelligents. Parfois, les relais de surintensité sont réglés pour assurer une protection contre les défauts et aussi une certaine protection contre les surcharges. Dans nombre de cas, c'est le personnel des centres de répartition des charges qui exploitent les transformateurs en fonction des surcharges, cette fonction étant trop complexe pour la majorité des relais de surintensité ordinaires.

2.0 2.0 Détection des conditions de surcharge

Les caractéristiques de fonctionnement des relais de transformateur intelligents relatives à la gestion des surcharges sont déjà définies dans la norme C57.91-1995 de l'IEEE, qui traite de la charge des transformateurs. Cette norme établit les règles de calcul des « points chauds » des transformateurs. Grâce aux signaux fournis par les diverses sondes de température du niveau d'huile supérieur, de température ambiante, de courant et de tension, le relais de transformateur intelligent offre une fonctionnalité unique de gestion de l'équipement. Cette dernière comprend le suivi des surcharges (surcharge adaptative) et le délestage automatisé d'après la température et/ou le courant ainsi que le signalement précoce des surcharges prévisibles. En plus de permettre l'évaluation de la perte de durée de vie utile, le relais intelligent est un outil intégré assurant la protection, la surveillance et la commande des transformateurs.

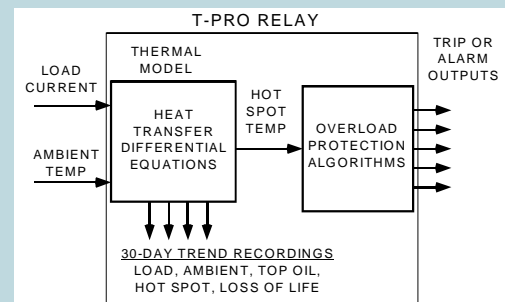
La caractéristique principale des relais de transformateur intelligents est leur capacité de modéliser le comportement du transformateur au moyen d'une méthode acceptable. La température de point chaud, indiquée par la sonde de température des enroulements, signale la détérioration de l'isolant en un point quelconque du transformateur. En fait, on reconnaît qu'il s'agit du meilleur indicateur de surcharge des transformateurs. La nouvelle norme C57.91-1995 [1] de l'IEEE (Guide) donne la formule de calcul suivante :

par Dave Fedirchuk et Curtis Rebizant

APT Power Technologies, Winnipeg, MB

This article provides an overview of a smart relay for transformer protection, monitoring and overload control based on the IEEE C57.91-1995 standard. Application of this IEEE standard with a suitable relay enables adaptive overload, automated load shedding and predictive overload early warning system functions to be integrated into the protective relay. The standard is introduced and the related functions and their applications are then described.

Le présent article donne une vue d'ensemble d'un relais intelligent, conforme à la norme C57.91-1995 de l'IEEE, qui assure les fonctions de protection, de surveillance et de gestion des surcharges des transformateurs. L'application de cette norme à un tel relais de protection intègre les fonctions d'adaptation de surcharge, de délestage automatisé et de signalement précoce des surcharges prévisibles. La présentation de la norme en question et les fonctions qui en découlent sont suivies d'une description des applications du relais intelligent.



Load Current : Courant De Charge

Ambient Temp : Temp. Ambiante

Hot Spot Temp : Temp. Point Chaud

Thermal Model : Modèle Thermique

Heat Transfer Differential Equations: Équations Différentielles Du Transfert De Chaleur

T-pro Relay : Relais T-pro

Trip Or Alarm Outputs : Signaux De Déclenchement Ou D'alarme

Overload Protection Algorithms: Algorithmes De Protection Contre Les Surcharges

30-day Trend Recordings : Tendances De 30 Jours

Load, Ambient, Top Oil, Hot Spot, Loss Of Life : Charge, Temp. Ambiant, Niveau Huile Sup., Point Chaud, Perte De Durée De Vie

Figure 1 : Modèle de relais de transformateur intelligent

Tableau 1: Perte de durée de vie utile selon diverses températures de point chaud

Température de point chaud (°C)	Facteur de perte de durée de vie en fonction de la durée de vie normale
110 (valeur nominale)	1
117	2
124	4
131	8
139 (bulles d'huile?)	16
147	32

$$\frac{dL}{dt} = e^{(39.164 - 15000/(T_{hs} + 273))} \quad (1)$$

où L est la perte de durée de vie accumulée de l'isolant cellulosique, sur une base unitaire, et T_{hs} est l'échauffement au point chaud. Si $T_{hs} = 110$ °C, alors dL/dt équivaut à 1,00. En règle générale, le taux double à toutes les hausses de 7 °C de T_{hs} .

La norme [1] de l'IEEE indique que 180 000 heures ou 20,6 années constituent une durée de vie normale (soit la vie utile d'un isolant solide) pour une utilisation continue à la température nominale de point chaud de 110 °C. La durée de vie est reliée à la perte de résistance à la traction ou au degré de rétention polymérique de l'isolant solide des enroulements (page 10 de la norme). La formule non linéaire précédente associe la perte de durée de vie à d'autres valeurs caractérisant la température de point chaud, comme le montre le tableau 1.

Il est à noter que le fonctionnement en présence de « bulles d'huile » est considéré comme acceptable pendant une courte période, car ces dernières disparaissent lorsque l'huile refroidit. L'application du présent modèle de base à un relais de transformateur intelligent donne un appareil qui remplit à lui seul les fonctions de protection, de surveillance et de commande (Figure 1).

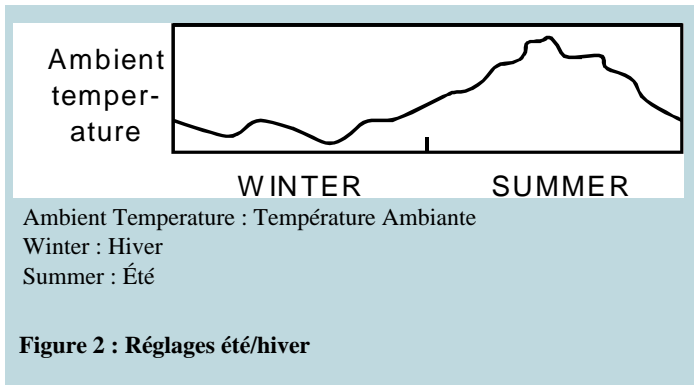
3.0 Surcharge adaptative

Les relais de transformateur intelligents conformes à la norme IEEE susmentionnée peuvent détecter les surcharges au moyen de la température de point chaud calculée et réagir de façon intelligente. Les compagnies d'électricité, prudentes par nature, règlent souvent la charge des transformateurs à un pourcentage modéré (par exemple, de 70 à 120 % de la capacité nominale établie comme limite de surcharge). Cependant, il est possible de réaliser d'importantes économies en augmentant la charge des transformateurs tout en prenant des risques minimes calculés, ce qui se traduit par une meilleure utilisation des transformateurs.

Si vous connaissez le seuil de surcharge à la température ambiante, vous pouvez régler la valeur de surcharge à l'aide des trois méthodes suivantes : réglages été/hiver, température ambiante et perte de durée de vie utile.

3.1 Méthode 1: Réglages été/hiver

Comme il est indiqué à la figure 2, on peut établir des scénarios de températures estivales et hivernales extrêmes et modifier manuellement en conséquence les valeurs de mise au travail du relais. Il est évidemment très commode de pouvoir réaliser une telle modification par l'intermédiaire d'une liaison de communication.



3.2 Méthode 2: Température ambiante

La méthode rudimentaire été/hiver dont il est fait mention plus haut peut être automatisée au moyen d'un relais et d'une sonde de température ambiante (figure 3). Les valeurs de mise au travail adaptatives du relais sont définies par les courbes de la figure 4. Par exemple,

- si la température ambiante est de 30 °C,
- et si le taux de perte de durée de vie utile doit être limité à la « valeur normale » ou unitaire, c'est-à-dire avec une température de point chaud de 110 °C,

la valeur de mise au travail est alors automatiquement réglée à 1 par unité de courant. Si la température ambiante est de -10 °C, la valeur de mise au travail est réglée à environ 1,3 par unité de courant. Si l'on accepte une perte de durée de vie utile plus élevée, sur une courte période de temps, on peut alors accepter des charges plus importantes. De là une courbe de temporisation inverse plus haute.

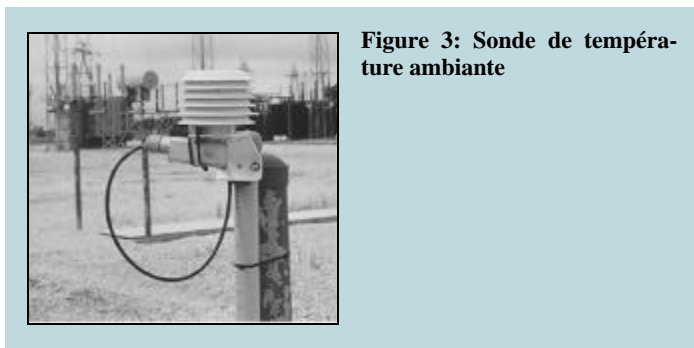


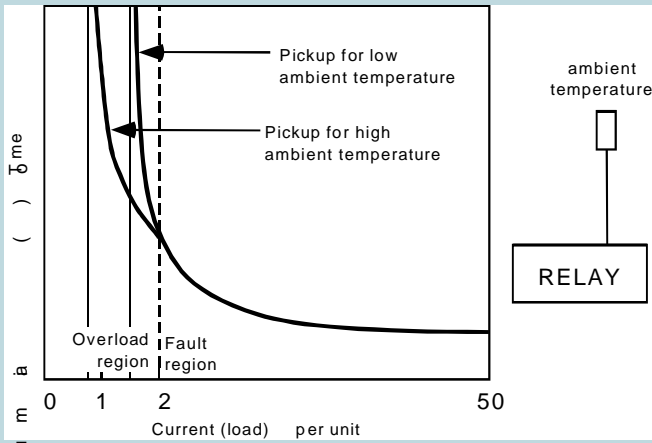
Figure 3: Sonde de température ambiante

3.3 Méthode 3: Perte de durée de vie utile

Dans le présent cas, les conditions de surcharge sont définies en fonction d'une surtempérature plutôt qu'en fonction d'une surintensité (figure 5). Ce principe est étroitement conforme aux lignes directrices sur les surcharges d'urgence exposées dans la norme [1]. Autrement dit, un transformateur peut être soumis à une charge supérieure à sa charge nominale si les effets de la température de point chaud sur la perte de durée de vie utile sont attentivement contrôlés. Aux fins de la protection contre les défauts, le relais de surintensité à temporisation inverse peut être encore utilisé au-delà de la valeur 2 par unité de courant.

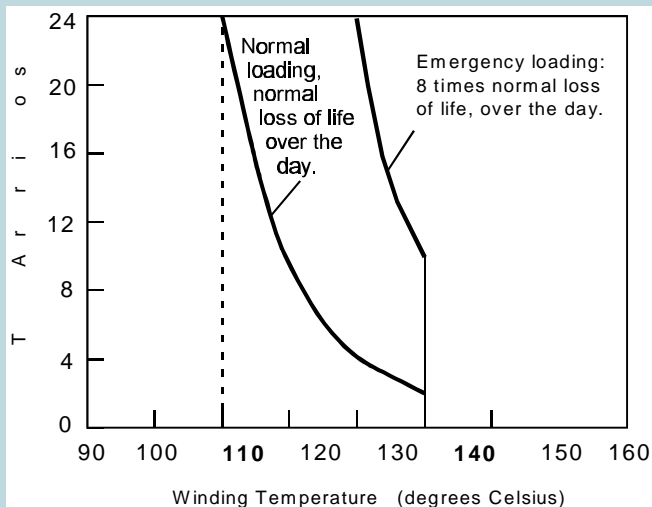
4.0 Délestage automatique par priorité

Une autre application du relais intelligent conforme à la norme IEEE C5791-1995 permet de surveiller la température ou le courant dans un transformateur et de fixer, par ordre de priorités, de multiples valeurs de surcharge commandant une alarme ou un déclenchement. Ainsi, les compagnies d'électricité sont en mesure d'offrir un service préférentiel à leurs clients et d'éviter les déclenchements inutiles de transformateurs à pleine charge. De plus, le commutateur de prises peut être bloqué si



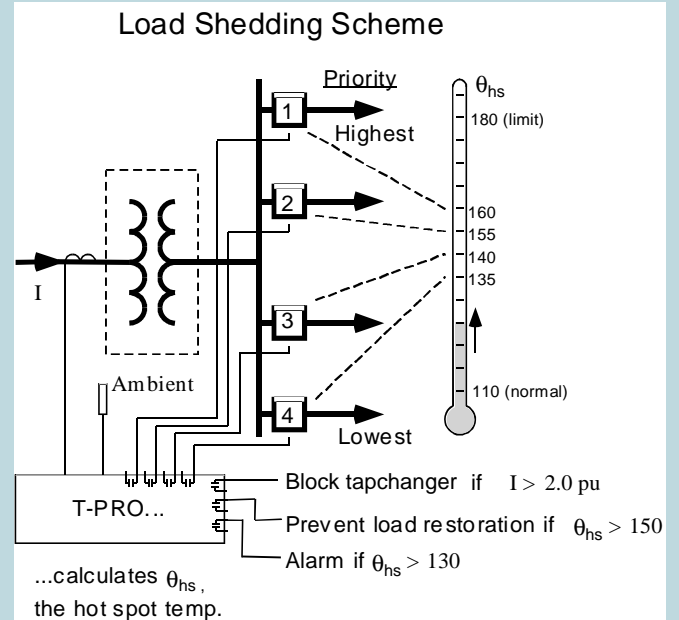
Current (load) per unit: Intensité (charge) en p.u.
 Pickup for low ambient temperature: Valeur de mise au travail pour température ambiante basse
 Pickup for high ambient temperature: Valeur de mise au travail pour température ambiante élevée
 Fault region : Plage de défaut
 Overload region: Plage de surcharge
 Time: Temps
 RELAY: RELAIS
 Ambient temperature: Température ambiante

Figure 4: Valeur de mise au travail adaptative pour un relais de surintensité à temporisation inverse



Time to Alarm or Trip (hours): Temporisation d'alarme ou de déclenchement (heures)
 Winding Temperature (degrees Celsius): Température des enroulements (°C)
 Emergency loading : Surcharge d'urgence
 8 times normal loss of life, over the day : 8 fois la perte de durée de vie utile normale, pour la journée
 Normal loading, normal loss of life over the day : Perte de durée de vie normale pour la journée, avec une charge normale

Figure 5: Caractéristiques du relais de surtempérature à temporisation inverse



Load Shedding Scheme : Diagramme de délestage
 Prevent load restoration if $\theta_{hs} > 150$: Empêche le rétablissement de la charge si $\theta_{hs} > 150$
 Alarm if $\theta_{hs} > 130$: Alarme si $\theta_{hs} > 130$
 Ambient : T. ambiante
 ...calculates θ_{hs} , the hot spot temp. : ... calcule θ_{hs} , temp. point chaud.
 Priority : Priorité
 Highest : la plus haute
 Lowest : la plus basse
 110 (normal) : 110 (normale)
 180 (limit) : 180 (limite)
 Block tapchanger if $I > 2.0$ pu : Blocage du commutateur de prises si $I > 2$ p.u.

Figure 6 : Relais de transformateur - Modèle de délestage

l'intensité du courant est supérieure à une valeur déterminée par l'utilisateur et peut empêcher le rétablissement de la charge si la température de point chaud est supérieure à une valeur fixée par l'utilisateur (figure 6).

4.1 Gestion de la charge d'un transformateur - L'exemple de B.C. Hydro

La sous-station de B.C. Hydro de Northfield (située sur l'île de Vancouver) comporte deux transformateurs identiques de 30/40/50//56 MVA et 138/25 kV, de la Générale électrique du Canada Inc. Ces deux appareils sont reliés à deux relais de protection T-PRO de APT Power Technologies dotés de sondes de température ambiante et de température du niveau d'huile supérieur. L'un des relais T-PRO assure à la fois la protection des transformateurs et la surveillance de la température de point chaud, tandis que l'autre relais n'effectue que la surveillance de la température de point chaud. Cet agencement permet la détection des surcharges de transformateur de faible éventualité, puis l'émission d'une alarme et le délestage par étapes des artères de distribution.

Le premier relais T-PRO assure la protection différentielle et le délestage suivant la température ambiante et la température du niveau d'huile supérieur. L'objectif visé est de détecter les surcharges, d'envoyer une alarme à la salle de commande, puis de déléster les artères de façon séquentielle si les conditions de surcharge persistent. En outre, les détecteurs de surcharge des relais T-PRO mettent hors fonction le commutateur de prises. Le rétablissement de la charge est

empêché jusqu'à ce que la charge ait décré à une valeur donnée. Une fois cette valeur atteinte, la charge est rétablie manuellement par les opérateurs.

Le second relais T-PRO vient doubler la protection contre les surcharges qu'assure le premier relais.

5.0 Système de prévision des surcharges

Au-delà des fonctions d'alarme et de déclenchement des relais standard, le système peut déterminer le moment où une surcharge surviendra et en informer la salle de commande 30 et 15 minutes à l'avance. L'exploitant pourra alors effectuer une modification préventive de la charge.

La surveillance des surcharges des transformateurs peut être réalisée en vertu de deux critères:

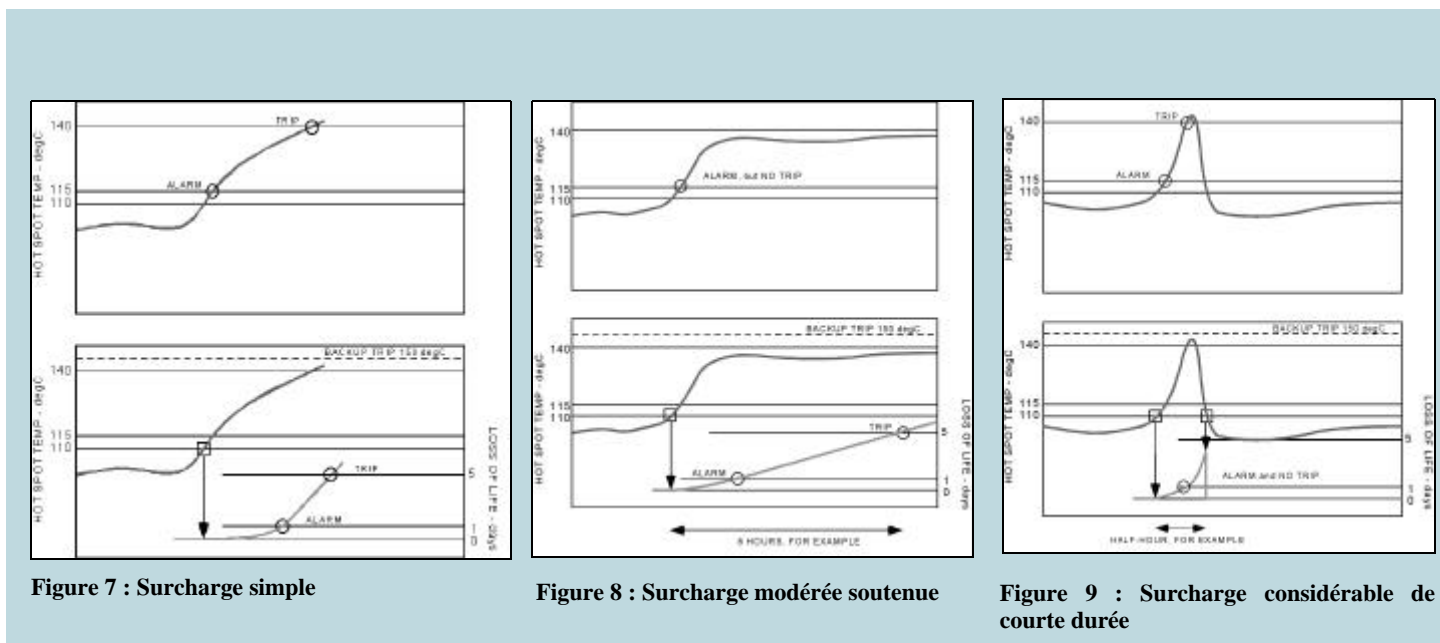
- température de point chaud trop élevée;
- perte trop grande de durée de vie utile.

Dans la première démarche (alarme précoce de température de point chaud élevée), on calcule la température de point chaud pour chaque prochain laps de temps (par exemple, 5 secondes) en supposant que le courant de charge et la température ambiante ne changent pas (figure 7). Si ce calcul indique que la température de point chaud excède le point de DÉCLENCHEMENT (fixé par l'utilisateur), une alarme en informe l'opérateur 30 et 15 minutes à l'avance. Des modèles d'équipement plus poussés permettent d'acheminer l'alarme de l'imminence du déclenchement sur une voie de communication SCADA (par exemple, Modbus ou DNP 3).

Dans la seconde démarche, un avertissement de perte élevée de durée de vie utile est émis. On surmonte ainsi une lacune de l'approche consistant à évaluer la surcharge par la simple indication d'une surtempérature. Par exemple, supposons que la température maximale de point chaud admissible soit réglée à 140 °C. Si la température se maintient juste en deçà de cette valeur, l'isolant cellulosique s'endommagera éventuellement, sans qu'aucun déclenchement ne soit sollicité (figure 8). En outre, lorsque la température excède brièvement la valeur admissible, puis revient à une valeur normale, la protection commandera un déclenchement alors qu'elle ne le devrait pas (figure 9).

Ces problèmes de fiabilité et de sécurité peuvent être résolus au moyen du concept de « perte de durée de vie utile ». Des avis (par exemple, à 30 et 15 minutes) de surcharge potentielle sont émis à la salle de commande, d'où une répartition de la charge peut être effectuée.

5.1 Prévision des surcharges- L'exemple de Whiteshell



(Hydro-Manitoba)

Hydro-Manitoba a mis en œuvre la prévision de surcharges pour un transformateur élévateur de tension (de 115 kV à 230 kV) Westinghouse qui comporte un déphaseur série. Une perturbation du service dans la région de Whiteshell au Manitoba s'est déjà traduite par l'activation du relais de surintensité et le déclenchement du transformateur principal. Si le seuil de mise au travail du relais de surintensité et sa temporisation avaient été supérieurs, Hydro-Manitoba aurait pu répartir la charge et ainsi empêcher le déclenchement par surintensité.

Avec un relais T-PRO, Hydro-Manitoba est en mesure d'émettre une alarme par l'intermédiaire de son système Modbus SCADA afin d'indiquer dans combien de temps le déclenchement se produira. Grâce à cette information, les opérateurs peuvent ainsi agir sur la surcharge 30 et 15 minutes à l'avance. Le relais de surintensité continue à être réglé pour s'activer en cas de surintensité, d'ordinaire à environ 200 % de sa capacité nominale, tout en permettant à l'application TOEWS © (système de signalement précoce des surcharges de transformateur) du relais T-PRO d'assurer la protection contre les surcharges. Le système de prévision des surcharges permet aux opérateurs de reconfigurer le réseau avant que des conditions de surcharge n'endommagent le transformateur.

6.0 Conclusion

Grâce aux interfaces simplifiées fonctionnant sous Windows et à une capacité de traitement accrue, il est maintenant possible d'intégrer les fonctions de protection, de surveillance et de commande des transformateurs dans un seul dispositif. La norme IEEE portant sur la surcharge des transformateurs établit comment un relais intelligent peut réaliser l'adaptation du seuil de surcharge en fonction de la température, le délestage automatisé et le signalement précoce des surcharges prévisibles. Les problèmes de surcharge des transformateurs deviennent plus sérieux à mesure que la demande du marché augmente et que les compagnies d'électricité exigent davantage de leur équipement. Finalement, les compagnies d'électricité peuvent fournir un système de protection fiable et sécuritaire qui assure également la surveillance et la maîtrise des surcharges. Ainsi, les conséquences que subit l'utilisateur en cas de surcharge sont réduites au minimum, la gestion des risques de surcharge des transformateurs est assurée et des avantages économiques peuvent être tirés d'une meilleure utilisation des transformateurs.

7.0 Remerciements

Nous tenons à remercier particulièrement Hydro-Manitoba et B.C. Hydro, qui nous ont fourni les exemples, de même que M. Glenn Swift, Ph. D., pour les commentaires judicieux apportés pendant la rédaction du présent article.

8.0 Ouvrages de référence

- [1]. IEEE. Norme C57.91-1995, IEEE Guide for Loading Mineral-Oil-Immersed Transformers.
- [2]. Swift, G et Zhang, Z. A Different Approach to Transformer Thermal Modeling, IEEE Transmission and Distribution Conference, Nouvelle-Orléans, du 12 au 16 avril 1999.
- [3]. IEC (International Electrotechnical Commission). Norme 354, Loading guide for oil-immersed power transformers. 2e édition, septembre 1991, pages 143 à 145.

À propos de APT Power Technologies : Depuis 15 ans, APT Power Technologies (APT) fournit aux services publics d'électricité des produits technologiques de pointe utilisés à des fins de protection, de surveillance et de commande. Pour obtenir de plus amples renseignements, visitez le site Internet d'APT à l'adresse suivante : www.aptpower.com.

À propos des auteurs

Dave Fedirchuk, B. Sc., a reçu son baccalauréat en génie électrique à l'Université du Manitoba en 1972.



Depuis qu'il a terminé ses études, M. Fedirchuk a travaillé 22 ans au sein du groupe d'étude du rendement des systèmes d'Hydro-Manitoba : il était chargé du réglage des relais et de l'analyse des perturbations. Depuis 5 ans, M. Fedirchuk occupe le poste de Directeur de produits chez APT Power Technologies.

Curtis Rebizant, B. Sc., a reçu son baccalauréat en génie électrique et son M.B.A. à l'Université du Manitoba, respectivement en 1986 et en 1996.



M. Rebizant a œuvré au sein d'entreprises internationales de génie assisté par ordinateur spécialisées dans la modélisation de systèmes électriques et électroniques ainsi que dans la conception de matériel haute tension. Il agit actuellement à titre de Directeur du marketing chez APT Power Technologies.

Power Team Manitoba



Vous travaillez pour une firme d'ingénierie locale. Soudain, vous constatez qu'il vous faut une clé à molette pour gaucher pour terminer un projet pressant. Où trouver cet outil peu usité et spécialisé? Dans les pages jaunes? Sur le Web? Chez Canadian Tire? Et bien, si vous êtes à Winnipeg, vous réfléchirez tout d'abord un peu pour essayer de voir qui pourrait bien posséder un tel outil. Au bout de quelques coups de fil, vous pourriez même parvenir à emprunter l'outil en question.

Deux facteurs favorisent vraiment la collaboration à Winnipeg : une population de taille raisonnable et une activité variée. Winnipeg, qui affiche une population d'environ 600 000 habitants, compte une centaine d'ingénieurs en électricité. Or, il est facile d'informer les membres de ce petit groupe de la tenue des dîners-causeries de l'IEEE Power Engineering Society, et ceux-ci y assistent en grand nombre.

Tous reconnaîtront qu'un plus grand centre comme Chicago présente beaucoup de diversité. Toutefois, la ville de Winnipeg est assez grande pour bien tirer son épingle du jeu. Ainsi, dans le domaine de l'électricité, Winnipeg compte Manitoba Hydro, une compagnie d'électricité de premier plan, plus importante même que la plupart des compagnies américaines, et Winnipeg Hydro, une compagnie de moindre envergure. Pauwels Canada Inc. et Carte International Inc., qui fabriquent de gros transformateurs, sont aussi installées à Winnipeg. On y trouve également ATP Power Technologies, un fabricant d'enregistreurs de perturbation et de relais de protection, RTDS Technologies Inc., un fabricant de simulateurs numériques de systèmes électriques, et Teshmont Consultants Ltd., une entreprise de consultation internationale. Finalement, Winnipeg comprend un centre de recherche majeur, le Manitoba HVDC Research Centre, et l'Université du Manitoba, lieu par excellence pour les études et la recherche en génie; l'université permet à des étudiants de niveau collégial intéressés par la technologie de devenir des ingénieurs et de poursuivre des études avancées.

Pour soutenir le concept de Power Team Manitoba, on a récemment mis sur pied un site Web de liaison. Il en est encore au stade embryonnaire, mais jetez-y quand même un coup d'œil :

www.aptpower.com/ptm/