

DIAGNOSTIC THERMIQUE DES TABLEAUX MT, UNE SOLUTION ECONOMIQUE ET SÛRE, BASEE SUR UN CAPTEUR OPTIQUE

Christian PETIT

Responsable anticipation

Schneider Electric - Département protection et contrôle des réseaux

Usine M4 - 38050 GRENOBLE Cedex 9 - FRANCE

E-mail : christian_petit@mail.schneider.fr

RESUME

La surveillance thermique des conducteurs d'un poste MT est le meilleur moyen pour détecter le plus tôt possible les défauts de conduction, susceptibles de conduire à un emballement thermique et à un amorçage diélectrique. Le dispositif présenté est basé sur l'utilisation d'un capteur optique de température. Le principe physique utilisé est la détermination du temps de fluorescence d'un matériau excité par une impulsion lumineuse amenée par fibre optique. Ce temps est une fonction connue de la température. Une cellule peut être équipée de douze sondes, totalement isolantes, qui ne modifient donc pas la tenue diélectrique de l'équipement. La sonde est entièrement passive ce qui lui confère une fiabilité et une durée de vie compatible avec celle de l'appareillage. Le dispositif présenté a la particularité d'offrir, pour la première fois, toutes les réponses au besoin de l'exploitant, puisqu'il réalise une surveillance permanente de l'installation, de façon fiable et pour un coût compatible avec le service rendu.

INTRODUCTION

Les défauts de conduction sont relativement rares dans les tableaux de distribution moyenne tension, mais leurs conséquences sont d'une telle gravité qu'elles justifient la recherche de systèmes de diagnostic protégeant l'exploitant de ce risque.

Les problèmes de conduction sont dus soit au desserrage des raccordements, soit à la dégradation des surfaces en contact. Ils conduisent à un échauffement local, d'autant plus intense que le courant est élevé, échauffement qui lui-même contribue à dégrader la qualité de contact... Il s'ensuit un phénomène d'emballement thermique, qui, lorsque la température devient excessive, dégrade l'isolant et débouche sur l'amorçage diélectrique, catastrophique pour le poste MT.

La recherche de plus de sécurité et de disponibilité explique le souci des exploitants de réaliser une surveillance thermique de leurs installations, souci partagé par les compagnies d'assurance, qui de plus en plus, imposent cette fonction dans les appels d'offre.

LES SOLUTIONS ANTERIEURES

La maintenance périodique

La solution la plus couramment utilisée à ce jour pour se prémunir des défauts de conduction consiste à effectuer périodiquement des opérations de maintenance. Typiquement, à l'occasion de la campagne d'entretien annuel, il est réalisé une inspection complète de l'installation électrique au cours de laquelle tous les raccordements sont vérifiés, les boulons serrés, etc. Ces opérations sont coûteuses à double titre puisqu'elles nécessitent une main d'œuvre importante ainsi qu'une consignation longue du poste, allant à l'encontre du besoin croissant de disponibilité.

La thermographie infrarouge

Une autre technique se développe: la thermographie infrarouge. Elle consiste à inspecter périodiquement l'installation à l'aide d'une caméra infrarouge, dans le but de détecter les anomalies thermiques susceptibles de trahir un défaut de conduction.

L'accès visuel aux conducteurs impose une adaptation des cellules MT. Il est possible de pratiquer des ouvertures dans les tôles des cellules MT mais cela dégrade le degré de protection et par conséquent la sécurité d'exploitation. La solution consiste donc souvent à installer des hublots en quartz - seul matériau transparent aux infrarouges - dont le coût est prohibitif. Malgré ces adaptations, il subsiste toujours des points dont l'accès visuel reste impossible.

Par ailleurs, le principe de la mesure dans l'infrarouge est peu précis puisqu'il ne permet de mesurer que l'émissivité des corps rayonnants et non la température.

Pour détecter une anomalie par thermographie infrarouge, il faut réunir plusieurs conditions: être en présence d'un défaut conséquent, d'un courant fort pour le révéler, et avoir un œil d'expert, entraîné à lire les différences d'émissivité entre phases.

Le caractère périodique de l'inspection est la principale limite de cette pratique. Un défaut apparaissant le lendemain de la visite annuelle ne sera vu que un an plus tard s'il ne dégénère pas entre-temps en emballement thermique.

Les capteurs électroniques de température

Il existe depuis peu des systèmes de monitoring des cellules MT, basés sur l'utilisation de capteurs électroniques de température placés aux points critiques. Cette solution présente l'avantage d'assurer une surveillance permanente de l'installation et par conséquent de détecter très tôt les anomalies thermiques.

Malheureusement, la barrière galvanique nécessaire aux mesures sur les conducteurs MT, conduit à une architecture complexe des sondes électroniques. Chacune doit prélever son énergie sur le courant du réseau et transmettre des informations numériques par liaison infrarouge ou fibre optique. Une telle complexité conduit à un coût élevé du point de mesure.

Mais, le principal écueil de telles solutions est d'imposer l'installation au potentiel de la moyenne tension de dispositifs dont le niveau de fiabilité et la durée de vie est incompatible avec l'appareillage associé et la fonction à réaliser. En effet, un système de diagnostic doit être beaucoup plus fiable que l'équipement qu'il surveille, surtout si, comme c'est le cas ici, il n'est pas maintenable sans interruption du poste.

LE CAPTEUR OPTIQUE DE TEMPERATURE

La clé du système de diagnostic, présenté dans cet article, est un capteur optique de température permettant, comme dans la solution précédente, une surveillance continue des points critiques des cellules MT.

Ce capteur utilise un principe connu de longue date [1], mais jusqu'alors réservé à des applications très pointues, de type instrumentation, caractérisées par de larges plages de mesures, une grande précision, et également un prix très élevé. L'originalité de la démarche conduisant à la solution présentée a été de développer le capteur juste suffisant pour l'application de diagnostic: mesure de 0°C à 130°C, précision de $\pm 2^\circ\text{C}$ et coût très faible.

Le principe du capteur

Le capteur utilise comme élément sensible un matériau ayant la propriété d'émettre un signal de fluorescence dont le temps de décroissance est fortement dépendant de la température à laquelle il est porté.

De façon pratique, le matériau est placé à l'extrémité de deux fibres optiques plastiques (figure 1).

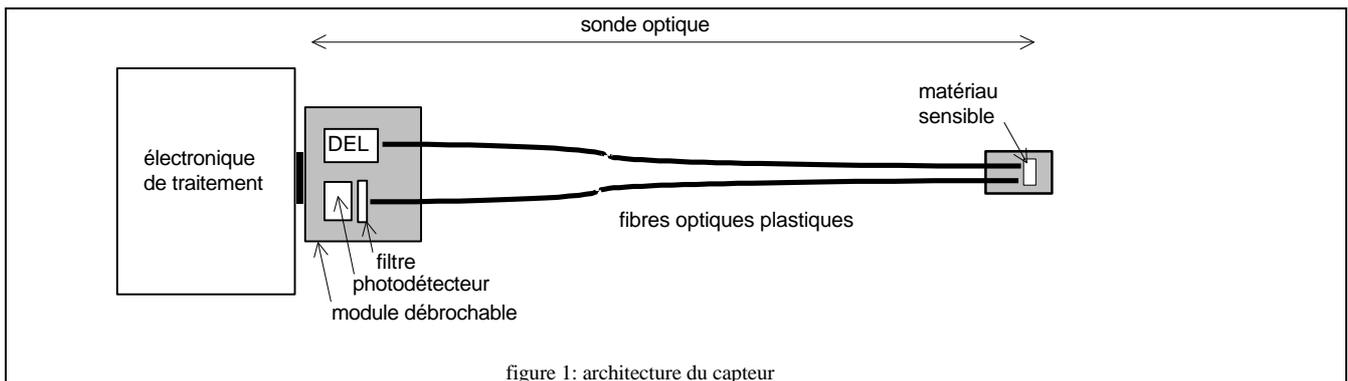


figure 1: architecture du capteur

Un faisceau lumineux pulsé provenant d'une diode électroluminescente est injecté dans la fibre dite montante et l'achemine jusqu'au transducteur. Le faisceau pulsé incident excite le matériau sensible qui émet un signal de fluorescence avec une décroissance temporelle de forme exponentielle (figure 2). Une partie de ce signal de fluorescence est collectée par une seconde fibre dite descendante puis véhiculée jusqu'à un photodétecteur

(photodiode Si). Le filtre optique intercalé entre la fibre descendante et le photodétecteur sert à éliminer tout signal de pompe résiduel. Le signal optique devenu électrique est analysé par une électronique de traitement qui mesure son temps de décroissance et qui le convertit en information "température" grâce à une table de conversion stockée en mémoire.

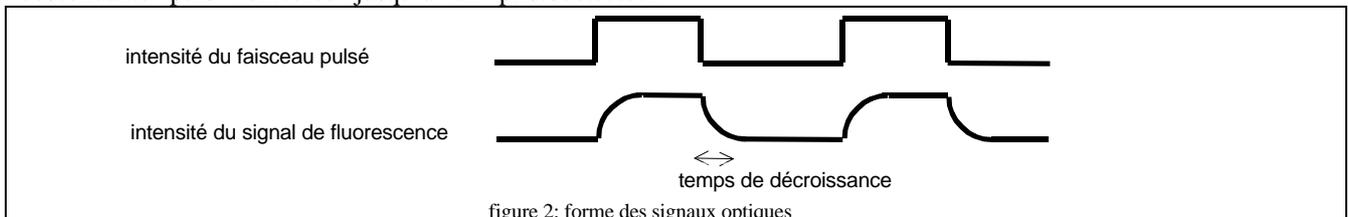


figure 2: forme des signaux optiques

Il est intéressant de constater que la constante de temps est de l'ordre de la milliseconde, ce qui ne nécessite pas une électronique de détection très rapide et onéreuse.

La sensibilité moyenne de mesure est de l'ordre de 5 à 10 $\mu\text{s}/^\circ\text{C}$ suivant la zone de température. Un exemple typique de table de conversion température/temps de décroissance est donnée par la figure 3

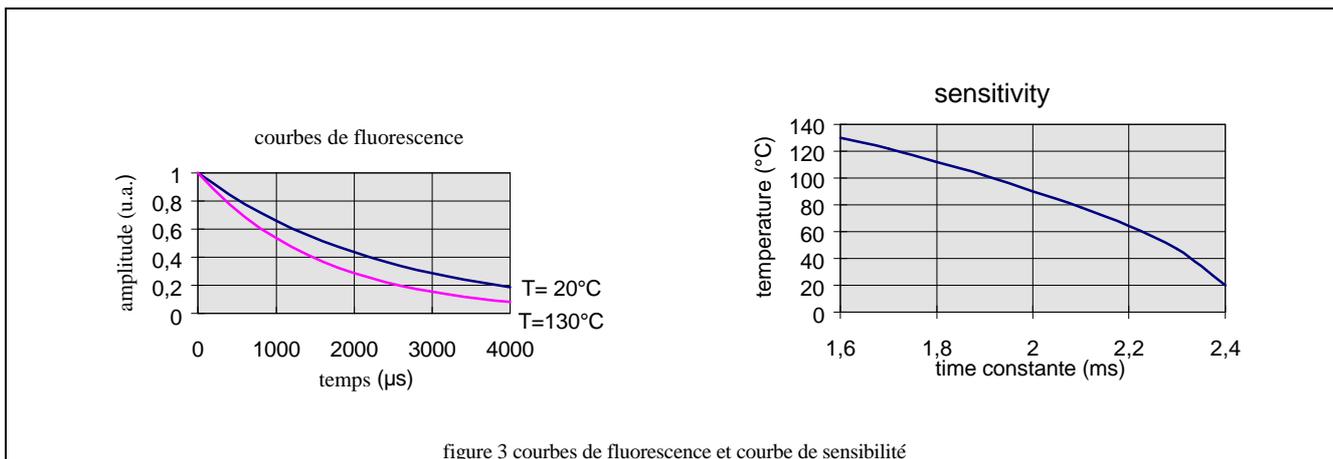


figure 3 courbes de fluorescence et courbe de sensibilité

Le choix de chaque constituant privilégie l'utilisation de composants standard de grande diffusion : led utilisée dans les feux tricolores, photodétecteur issu du marché de l'automobile, fibre optique plastique, guides de lumière en polycarbonate moulé.

D'autre part, le capteur a été conçu pour présenter à l'utilisateur une connectique de type électrique, bien plus adaptée aux manipulations sur site que la connectique optique.

Deux brevets couvrent les innovations contenues dans l'architecture du capteur

L'intégration dans la cellule MT

Dans une cellule MT, il est intéressant de contrôler la température de 12 points, soit 4 par phase: le raccordement jeu de barres, les deux contacts débroschables recevant le disjoncteur et le raccordement des câbles. La photo 1 suivante présente la cellule blindée MCset équipée du dispositif de diagnostic thermique. La figure 4 présente la position des sondes de température.

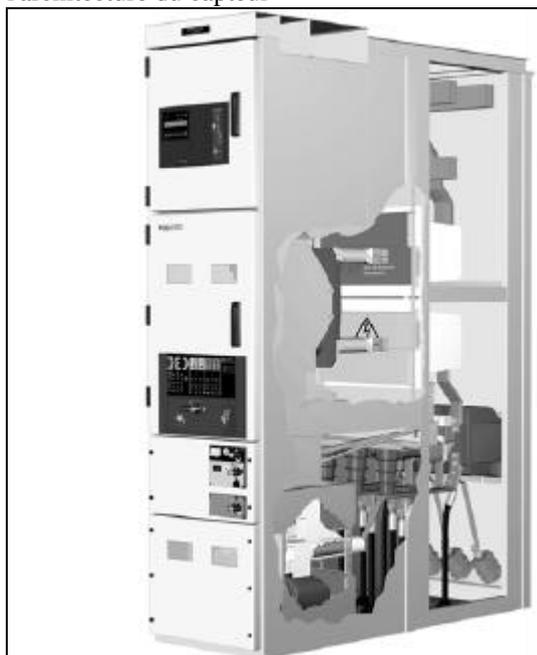


photo 1 : cellule blindée Mcset Merlin Gerin

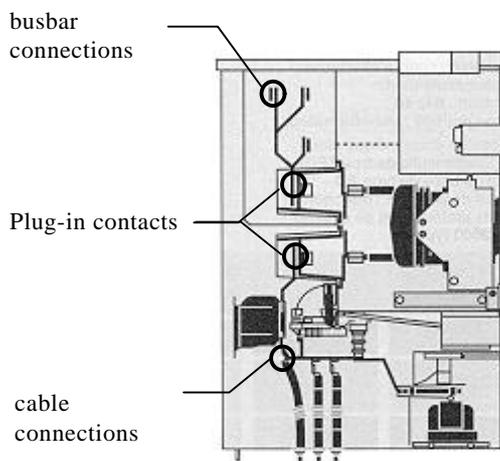


figure 4 : position des sondes dans MCset

Les 12 sondes de température (photo 2) sont fixées, en usine, sur les conducteurs de la cellule, afin de garantir la qualité de l'installation. Totalement isolantes, des essais démontrent qu'elles ne dégradent pas la performance diélectrique de l'équipement.

Elles sont raccordées à l'unité de protection Sepam (photo 3), disposée dans le caisson basse tension de la cellule.

Sepam est un équipement numérique qui réalise les fonctions de protection, de mesure, d'automatisme et de communication. L'intégration de la carte de traitement des signaux optiques issues des sondes de température lui ajoute la fonction de diagnostic thermique.



photo 2 : sonde de température



photo 3 : unité de protection Sepam

LE DIAGNOSTIC THERMIQUE

Le diagnostic thermique est composée dans Sepam de deux fonctions distinctes et complémentaires :

- une fonction de détection précoce des anomalies de conduction, dont la sortie est une alarme
- une fonction de détection d'emballement thermique, dont la sortie est destinée à ouvrir le disjoncteur, et qui s'apparente donc plutôt à une protection.

La détection précoce des anomalies

La détection précoce des anomalies améliore la disponibilité et permet d'effectuer de la maintenance prédictive.

Les phénomènes de dégradation de la conduction sont généralement lents et progressifs. Les détecter dès leur naissance a l'avantage de permettre à l'exploitant de planifier une opération de maintenance au moment le moins gênant pour le process et de préserver l'installation, principalement les contacts et les isolants, puisque les phénomènes thermiques sont encore faibles.

La détection précoce est forcément une détection fine puisqu'elle analyse des évolutions faibles des mesures de températures. Plusieurs algorithmes sont en cours d'évaluation, avec chacun leurs avantages (pertinence, robustesse) et leurs inconvénients (quantité de traitement, ressources de mémoire). On peut retenir toutefois plusieurs principes donnant de bon résultats:

- l'exploitation de la comparaison des trois phases;
- l'utilisation de modèles thermiques connus de la cellule.
- la prise en compte de la mesure du courant et de la température ambiante,

Un compromis doit être trouvé dans la détermination de la sensibilité de la détection. Les phénomènes étant rares et lents, on privilégie la robustesse de l'algorithme afin d'éviter absolument toute alerte intempestive. Ainsi, toute situation de défaut du réseau (fort déséquilibre entre phases, court-circuit) ou toute anomalie de mesure de

température (bruit, incohérence), inhibe temporairement la fonction.

En cas de détection d'un défaut de conduction et donc d'alerte, la localisation précise est fournie à l'exploitant afin de faciliter et d'écourter l'intervention de maintenance.

La détection de l'emballement thermique

Détecter et interrompre l'emballement thermique consécutif à un défaut de conduction accroît la sécurité.

En cas de non détection précoce du défaut de conduction ou d'intervention de maintenance tardive, il est nécessaire de disposer d'une fonction très simple permettant de sauver l'installation.

La détection d'emballement thermique est une fonction à seuil de température qui, lorsqu'elle constate une mesure supérieure à une valeur de réglage, positionne une sortie destinée à commander l'ouverture du disjoncteur.

Sepam offre une grande souplesse de réglage des seuils et d'aiguillage des sorties. A chaque sonde, peuvent être associés deux seuils différents, un pour positionner une alarme et l'autre pour déclencher le disjoncteur.

La sûreté de fonctionnement du dispositif

Un tel dispositif de diagnostic n'a de raison d'être dans une installation électrique que s'il est fiable.

Utilisé pour détecter des défauts peu fréquents, il ne doit pas donner de fausse alerte ou pire encore, provoquer une ouverture intempestive du disjoncteur.

Tous les choix de conception ont été faits pour favoriser la sûreté. La méthode AMDE (Analyse des Modes de Défaillance et de leurs Effets) a été appliquée pour la définition de l'électronique et du logiciel du capteur. Elle a conduit à l'intégration de nombreux autotests. Ainsi, une mesure de température n'est considérée exploitable que si elle satisfait des critères de cohérence sévères. Par exemple, toute mesure bruitée est rejetée.

Comme nous l'avons vu plus haut, l'algorithme de traitement des mesures privilégie également, dans ses

choix, la robustesse. La lenteur des phénomènes observés permet d'obtenir de bon résultats sans sacrifice sur la sensibilité.

Installées sur un matériel de longue durée de vie, en des points inaccessibles en présence de tension, les sondes doivent avoir un MTTF et une durée de vie très élevés. C'est cette contrainte qui impose la technologie optique pour la mesure de température puisque dans ce cas, les constituants au potentiel sont totalement passifs.

CONCLUSION

Le capteur optique décrit dans cet article est né de la convergence d'une technologie optique déjà ancienne et d'un besoin de sécurité de l'appareillage jusqu'alors mal satisfait. Son intérêt tient à sa parfaite adaptation à l'application visée, qui lui permet d'atteindre un coût compatible avec le service rendu.

Son existence ouvre des perspectives intéressantes dans le domaine du diagnostic thermique au delà de son application aux cellules MT: diagnostic des conducteurs

moyenne voire basse tension, diagnostic des disjoncteurs MT de forte intensité [2], monitoring et protection des transformateurs de puissance, etc.

Ces applications contribueront à améliorer la fiabilité des réseaux de distribution. mais également à optimiser leur exploitation. En effet, les surcharges temporaires de consommation électrique, auxquels l'exploitant est couramment confronté, pourront demain être effectuées sous contrôle thermique.

Fiable et peu coûteuse, la fonction de diagnostic présentée contribue fortement à la sécurisation de l'installation électrique et à l'optimisation des coûts d'exploitation.

REFERENCES

[1] K.A. Wickersheim and R.V. Alves, "Recent Advances in Optical temperature measurement", Industrial Research Developpement, p. 82, (1979)

[2] J.Y. Blanc. "generator circuit-breaker : a maximum availability thanks to self-expansion progresses, CEPSI 1998.