



Point chaud

Un nouveau capteur infrarouge mesure la température dans les disjoncteurs d'alternateur

STEPHAN WILDERMUTH, ULF AHREND, MORITZ HOCHLEHNERT, MARCO ULRICH – Le disjoncteur d'alternateur est indispensable au bon fonctionnement des centrales d'énergie. Installé entre l'alternateur et le transformateur, il protège l'équipement tout en étant capable d'interrompre des courants de plusieurs dizaines de kiloampères (kA). À ce niveau d'intensité, la moindre augmentation de résistance des conducteurs se traduit par un vif échauffement du disjoncteur, aux conséquences dramatiques. Surveiller la température est donc une tâche fondamentale qui s'avère particulièrement ardue en haute tension (HT). ABB a lancé à cette fin un programme de développement sur un nouveau concept de capteur de température pour disjoncteur d'alternateur.



Les disjoncteurs d'alternateur qui équipent les centrales thermiques ou nucléaires, à gaz ou à cycle combiné, ou encore les centrales hydroélectriques ou stations de transfert d'énergie par pompage (STEP) → 1 sont mis à rude épreuve. En fonctionnement normal, ils doivent laisser passer le courant assigné total de l'alternateur, qui atteint facilement 23 kA sans refroidissement, voire plus de 30 kA en cas de refroidissement actif, sous des tensions allant jusqu'à 32 kV.

À ce niveau d'intensité, un défaut d'alignement des connexions, la présence de poussière dans le disjoncteur ou des surfaces de contact endommagées, par exemple, peuvent entraîner une hausse, même minime, de la résistance électrique des conducteurs. Cela suffit à faire grimper la température (comprise entre 70 et 90 °C en temps normal), risquant d'endommager les surfaces de contact argentées, telles que les raccordements des jeux de barres, le sectionneur réseau ou encore les contacts de la chambre de coupure. La dissipation de chaleur dans le conducteur principal s'effectue en partie par rayonnement ; on lui applique pour cela une peinture à haute émissivité, qui s'avère toutefois insuffisante en cas de forte élévation de la température.

Un échauffement excessif peut diminuer le pouvoir de coupure ou même amorcer un arc si les composants se mettent à fondre.

Supervision GMS600

Le système de surveillance de disjoncteur d'alternateur GMS600 d'ABB → 2 anticipe les besoins de maintenance pour éviter les arrêts intempestifs. Il se base sur une multitude de paramètres (coupures de courant cumulées, nombre total de manœuvres, temps écoulé depuis la dernière révision, supervision de l'actionneur, densité de SF₆, etc.) pour calculer le temps restant avant la prochaine intervention. Jusqu'à présent, il manquait à cet inventaire la surveillance de la température. Et pour cause : aucun capteur du marché ne remplissait la totalité du cahier des charges technique, commercial et fonctionnel d'un suivi thermique précis et fiable des disjoncteurs d'alternateur en fonctionnement.

Cette lacune n'a rien d'étonnant quand on sait la difficulté à surveiller la température de composants HT : le capteur doit notamment endurer de fortes contraintes électromagnétiques et d'importants gradients thermiques, typiques d'un climat désertique, par exemple.

Il fallait donc mettre au point un nouveau capteur de température.

Conception et développement

À l'issue d'une étude technique approfondie, ABB opta pour une mesure de la température par détection de rayonnement infrarouge (IR), le but étant d'utiliser un capteur IR du marché qui serait protégé par une enveloppe permettant un fonctionnement fiable dans l'environnement contraignant du disjoncteur d'alternateur.

Au niveau d'intensité d'un disjoncteur d'alternateur, une hausse même infime de la résistance des conducteurs fait grimper la température.

L'élément sensible du capteur est une thermopile sur substrat silicium non refroidie, choisie pour son bon rapport coût/performance. Pour assurer une détection performante en conditions difficiles (gradients thermiques spatiaux et temporels, champs électromagnétiques

Photo p. 58

La surveillance précise et fiable de la température dans un disjoncteur d'alternateur (ci-contre, le HEC 8 d'ABB) est essentielle à la protection des centrales d'énergie.

ABB a adapté un capteur infra-rouge du marché à l'environnement difficile du disjoncteur d'alternateur.



importants avec transitoires rapides), il fallait loger le capteur, son boîtier et l'électronique dans une enveloppe adéquate.

La deuxième fonction est assurée par une conception autorisant une grande constante de temps thermique, de l'ordre de plusieurs minutes. On peut

Outre un circuit ASIC, le capteur intègre des composants électroniques qui convertissent en Modbus le signal de sortie du bus numérique SMBus. L'élec-

tronique doit aussi supporter les fortes perturbations électromagnétiques de l'environnement d'un disjoncteur.

L'enveloppe du capteur IR assure donc trois grandes fonctions :

- Suppression des importants gradients thermiques spatiaux, au niveau de l'élément sensible ;
- Suppression des importants gradients thermiques temporels, au niveau de l'élément sensible ;
- Protection électromagnétique du disjoncteur.

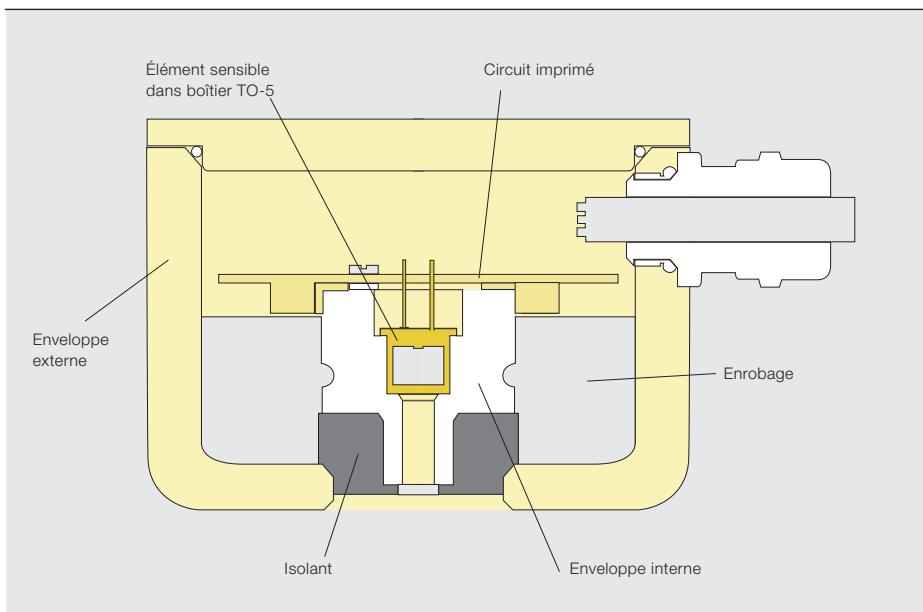
Pour remplir la première fonction, le boîtier de l'élément sensible est recouvert d'un matériau à haute conductivité thermique → 3 : les gradients thermiques s'équilibrent immédiatement, garantissant une température homogène tout autour du composant.

L'enveloppe du capteur IR est enrobée d'un matériau à haute conductivité thermique.

augmenter la constante de temps du boîtier en donnant au capteur et à son ouverture une importante masse thermique, et en abaissant la conductivité thermique autour du capteur pour retarder son échauffement.

ABB a pour cela conçu une enveloppe en deux parties à faible couplage thermique → 3, qui a l'avantage de lever les contraintes diélectriques et d'assurer la protection électromagnétique : l'enveloppe externe fait office de cage de Faraday, et l'isolation thermique, d'isolant électrique et de barrière thermique. Pour renforcer l'immunité électromagnétique, l'enveloppe externe est mise à la terre par l'intermédiaire de l'enveloppe du disjoncteur d'alternateur et l'enveloppe interne est raccordée à un potentiel de masse local.

Le dimensionnement de l'enveloppe s'est appuyé sur des simulations thermiques transitoires par éléments finis



L'enveloppe externe fait office de cage de Faraday, et l'isolation thermique, d'isolant électrique et de barrière thermique.

d'un modèle thermique simplifié → 4. La constante de temps thermique visée en conception et prédite par la simulation (plus de 10 minutes) fut confirmée par des essais en conditions réelles.

Prototypes et essais

Des essais de choc thermique permirent de vérifier le bon couplage thermique entre l'élément sensible et son milieu, et

chambre climatique. On testa notamment la réponse du capteur à une température du corps noir comprise entre 30 et 120 °C, à une température ambiante constante de 25 °C. Le capteur afficha un comportement linéaire, l'erreur de linéarité ne dépassant pas 3 °C sur toute la plage. L'écart-type entre prototypes fut de 0,8 °C à 75 °C, et de 1,2 °C à 120 °C.

Pour éviter les importants gradients thermiques temporels, le capteur IR doit afficher une constante de temps thermique de plusieurs minutes.

de valider la conception. Le capteur IR fut soumis à une hausse de température de 25 à 70 °C, par pas de 5 °C/min (limité par la puissance de chauffe de la chambre climatique). Pendant toute la durée de l'essai, il fut placé face à un radiateur parfait ou *corps noir* maintenu constamment à 80 °C. Le capteur se révéla très performant (erreur inférieure à 2 °C) si le couplage thermique avec l'enveloppe interne était assuré par une colle ou une graisse haute température.

Pour vérifier la performance du capteur, ABB réalisa 21 prototypes qu'il soumit à différents environnements simulés en

Le système de surveillance thermique a pour mission première de détecter la surcharge du disjoncteur d'alternateur quand la température du conducteur principal avoisine 120 °C. Ce

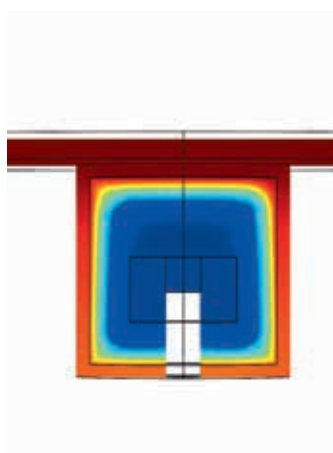
scénario fut simulé en faisant passer la température de 80 à 120 °C → 5 : le capteur détecta cette hausse avec précision, l'écart de mesure restant dans la plage d'incertitude requise de ± 3 °C.

Pour connaître l'influence des variations de température ambiante, les capteurs subirent trois cycles consécutifs de hausse de -5 à +60 °C, suivant une rampe de 0,1 °C/min, pour simuler une alternance jour/nuit type.

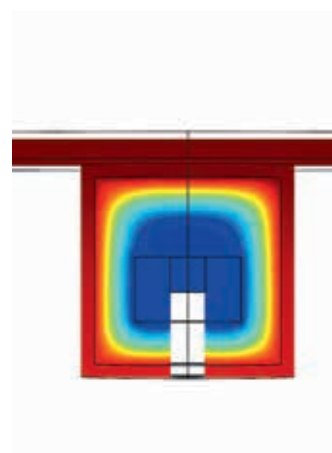
Là encore, l'écart de mesure resta inférieur à 3 °C ; lors des tests d'hygrométrie, il descendit même en dessous de

Seul moyen de garantir une détection performante dans des conditions ambiantes extrêmes : protéger le capteur, le boîtier et l'électronique par une enveloppe adéquate.

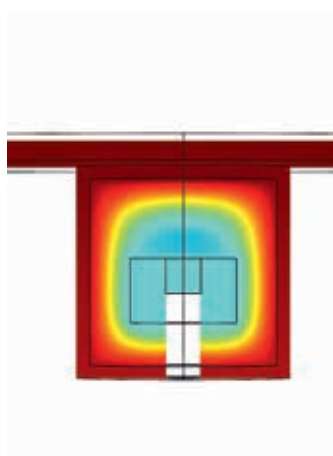
4 La simulation par éléments finis de l'échauffement de l'enveloppe du détecteur donne une première estimation de sa constante de temps thermique, utile au dimensionnement.



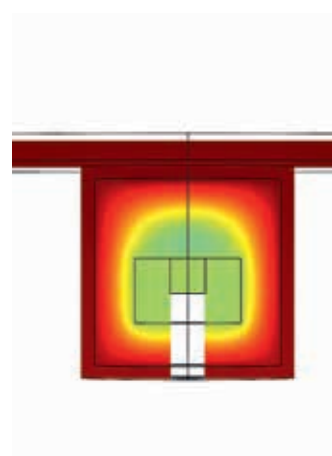
4a Au bout de 73 s



4b Au bout de 200 s



4c Au bout de 400 s



4d Au bout de 600 s

2,5 °C, pour une humidité relative maximale de 90 % à une température ambiante de 60 °C.

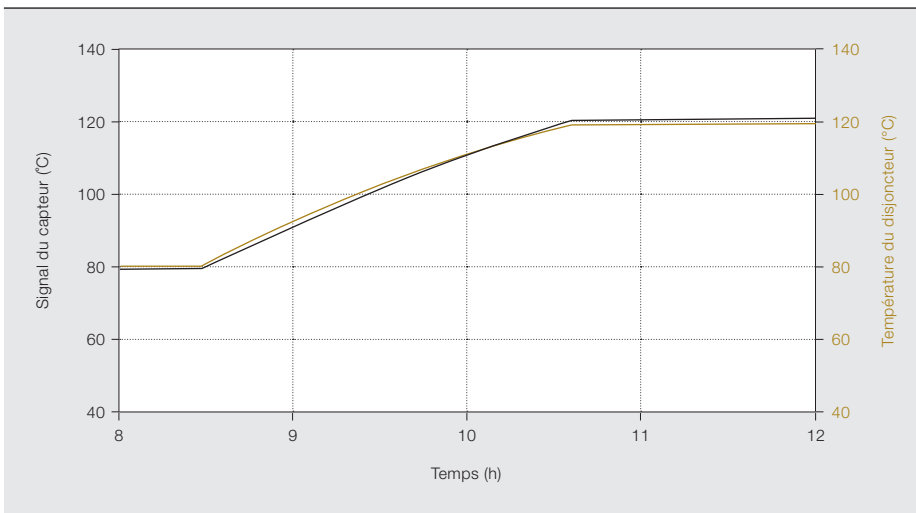
Des essais vérifièrent également la tenue des capteurs IR à d'autres facteurs de perturbation du disjoncteur et d'arrêt de l'installation : campagne complète de tests vibratoires pour simuler les chocs mécaniques de manœuvre ; conformité CEM selon CEI 61000-4 (immunité aux champs électromagnétiques aux fréquences radioélectriques, aux décharges électrostatiques et aux transitoires électriques rapides en salves, niveau de sécurité 3) et CEI 61000-6. Tous furent concluants et permirent de qualifier ce système de détection pour disjoncteur d'alternateur.

Feu vert

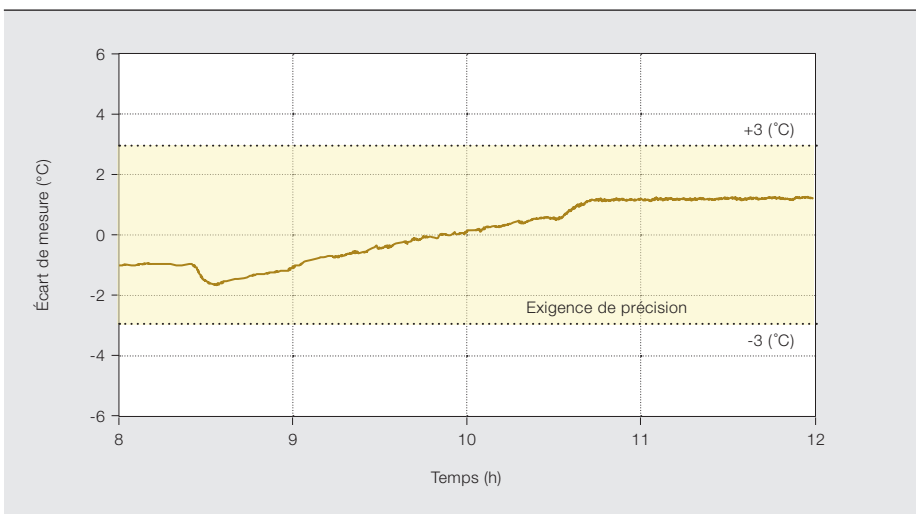
L'entreprise envisagée pour fabriquer le capteur s'étant très tôt investie dans ce projet, le démonstrateur afficha un très haut degré de maturité technologique, nonobstant quelques modifications pour lancer la production.

La mise en production se fit parallèlement aux tâches d'ajustement : assemblage des capteurs, étude des faisceaux de câbles, intégration mécanique dans l'enveloppe du disjoncteur, cheminement des câbles et mise à jour du logiciel de surveillance GMS600 pour enregistrer, stocker et afficher les mesures de neuf capteurs (trois par phase). La chaîne logistique fut élaborée avec le fabricant ; capteurs et câbles sont pré-assemblés chez lui, sur châssis, pour accélérer l'installation dans le disjoncteur.

5 Réponse du capteur IR à la surchauffe du disjoncteur d'alternateur simulée en chambre climatique



5a Signal du capteur quand la température du disjoncteur passe de 80 à 120 °C en plusieurs heures



5b Maintien de l'écart de mesure dans la plage d'incertitude requise (± 3 °C), sur toute la rampe de température

Des essais de choc ont vérifié le couplage thermique entre l'élément sensible et son milieu, et validé la conception.

Le service en plus

Des stratégies efficaces, évolutives et durables de maintenance prédictive ou de gestion du cycle de vie produit constituent des services à valeur ajoutée qui améliorent beaucoup l'attrait économique de la solution. Encore faut-il rapatrier les signaux utiles de l'instrumentation.

Ce capteur thermique robuste et peu coûteux permet de surveiller avec précision la température des disjoncteurs d'alternateur en fonctionnement. En associant ses signaux à d'autres données remontées du terrain (vibrations ou ablation de contact), il est possible de poser un diagnostic précis de l'appareil et d'en déduire les stratégies de maintenance prédictive. Cela est d'autant plus important pour un disjoncteur d'alternateur où une surchauffe du conducteur

principal peut provoquer un arrêt de la centrale d'énergie, aux conséquences financières et matérielles désastreuses.

Ce suivi d'état contribue également à l'élaboration de nouvelles offres de services et de modèles économiques, et fournit de précieux renseignements à la conception de nouveaux produits. Enfin, l'analyse statistique des données de tout un parc permet d'accéder à des informations impossibles à obtenir d'un seul appareil. ABB entend mettre à profit cette démarche pour enrichir son portefeuille de services clients.

Stephan Wildermuth

Ulf Ahrend

Marco Ulrich

ABB Corporate Research
Ladenbourg (Allemagne)
stephan.wildermuth@de.abb.com
ulf.ahrend@de.abb.com
marco.ulrich@de.abb.com

Moritz Hochlehnert

ABB Power Products, High Voltage Products
Zurich (Suisse)
moritz.hochlehnert@ch.abb.com