

PROTECTION ET SÉCURITÉ

Mesure, contrôle et suivi de l'énergie

Ultracompacte, la nouvelle solution de mesure multicanal haute performance « CMS » (Circuit Monitoring System) d'ABB permet aux exploitants de grandes infrastructures complexes de surveiller, de visualiser, d'enregistrer et d'éditer les grandeurs (intensité, puissance, énergie), déformations (harmoniques) et consommations électriques en chaque point du circuit.

Paweł Ludowski
Piotr Ryba
Jerzy Wasacz
ABB Corporate Research
Cracovie (Pologne)

pawel.ludowski@pl.abb.com
piotr.ryba@pl.abb.com
jerzy.wasacz@pl.abb.com

Harm deRoo
Nico Ninov
Fabian Maier
ABB Low Voltage Products
Schaffhouse (Suisse)

harm.deroo@ch.abb.com
nico.ninov@ch.abb.com
fabian.maier@ch.abb.com

Confrontés à l'augmentation des coûts de l'énergie et soucieux de réduire l'empreinte carbone de leur activité, les exploitants de grosses infrastructures complexes (centres de données, aéroports, établissements hospitaliers et bancaires, etc.) ont besoin d'affiner leur connaissance des usages énergétiques dans chaque ramification du réseau électrique. Les nouveaux appareils de mesure et de contrôle ultracompacts et performants de la gamme CMS d'ABB participent de cette ambition →1.

Le CMS-700 a été spécialement conçu pour satisfaire aux exigences des installations électriques stratégiques, comme les centres de données.

Un système CMS se compose d'une unité centrale de traitement et de capteurs de courant. Facile à loger dans les armoires de commande et de distribution, chaque constituant s'adapte aisément à l'existant pour moderniser l'installation. Les développeurs ont apporté un soin particulier à la convivialité de la solution, à sa large étendue de

mesure (jusqu'à 160 A) et à sa souplesse évolutive pour satisfaire aux besoins de chaque application. Le système CMS actuel s'appuie sur son prédécesseur, le CMS-600, qu'il enrichit d'une nouvelle unité de commande CMS-700 et de capteurs de dernière génération pour surveiller le courant mais aussi d'autres paramètres électriques tels que la puissance, l'énergie et le taux global de distorsion harmonique, au niveau de l'alimentation réseau triphasée comme de chaque dérivation. Au rang des nouveautés fonctionnelles, citons la visualisation par interface web, la journalisation des données, l'édition automatique de rapports et la connectivité Ethernet.

—
01 Éléments constitutifs
du système de mesure,
contrôle et suivi de
l'énergie CMS d'ABB

Si le CMS-700 a été spécialement conçu pour les installations électriques stratégiques (centres de données, par exemple), il se prête à d'autres applications de suivi énergétique, comme l'identification des gisements d'économies dans les immeubles de bureaux, par exemple.

—
Le CMS-700 fait également merveille dans d'autres applications de suivi énergétique, comme l'identification des gisements d'économies en immobilier.

Configuration matérielle

L'unité centrale CMS-700 s'articule autour d'un processeur d'applications Texas Instruments AM3352 à cœur ARM Cortex-A8 →2, doté de 256 mégaoctets de mémoire vive DDR3 et de 4 gigaoctets de mémoire Flash eMMC. Le module communique avec le monde extérieur sur TCP/IP, Modbus RTU, Modbus TCP/IP ou encore SNMP v1, v2c ou v3. Une liaison Ethernet assure l'accès à

l'interface utilisateur web sous protocole HTTP et aux données de mesure sous Modbus TCP/IP ou SNMP. Trois connexions Modbus permettent de raccorder jusqu'à 96 capteurs de courant (soit 32 par canal), auxquelles s'ajoute un port Modbus externe isolé qui fournit une interface de communication au standard industriel et garantit la rétrocompatibilité avec le CMS-600. Le système intègre un circuit de surveillance des paramètres électriques de l'alimentation réseau, dont la valeur efficace de la tension (V_{eff}) et du courant (I_{eff}), le facteur de puissance, ainsi que l'énergie active, réactive et apparente. Il calcule également les taux d'harmoniques en tension et en courant. Ces données sont transmises au processeur sur un bus série I²C (Inter Integrated Circuit). L'ensemble est alimenté directement par la phase L1, la topologie isolée (« flyback ») du convertisseur CA/CC assurant l'isolation galvanique et l'alimentation basse tension de tout le dispositif et des capteurs externes par les ports du module CMM (Communication Media Module) destiné aux supports de transmission.



La commande CMS-700 se compose de trois circuits imprimés →4: une carte mère avec processeur, mémoires vive et Flash, et liaison Ethernet,

Trois connexions Modbus permettent de raccorder jusqu'à 96 capteurs de courant CMS.

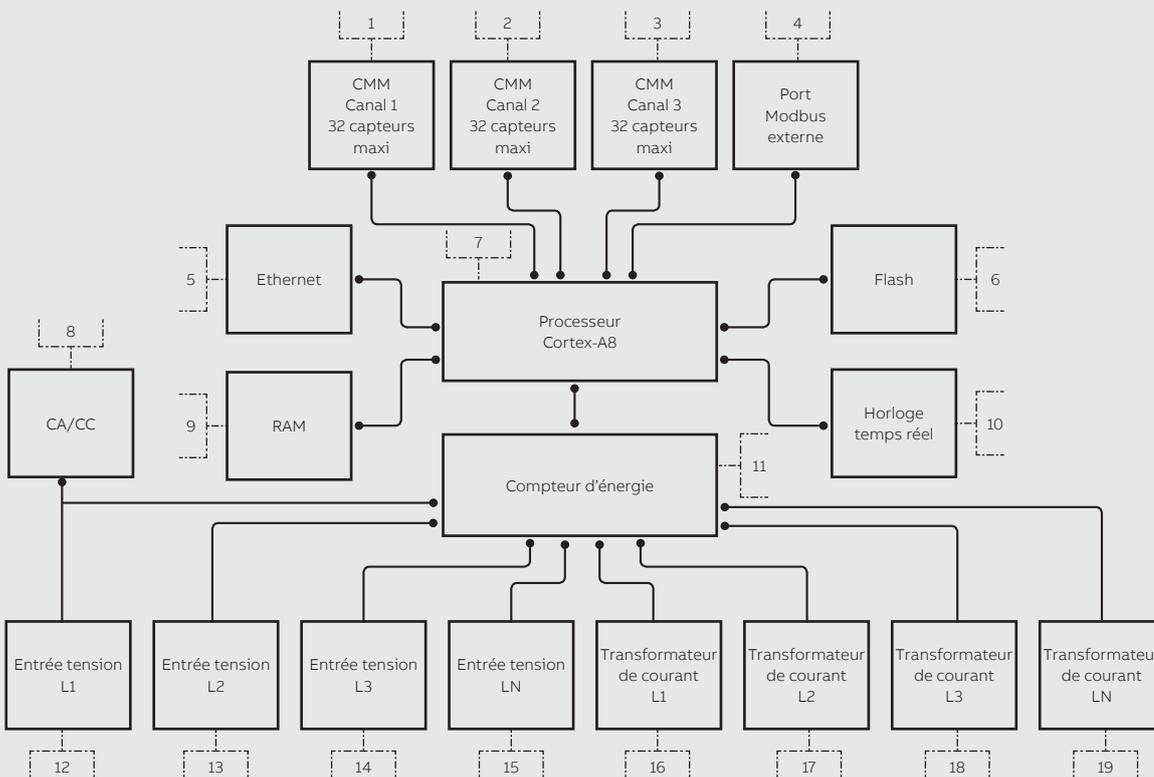
qui fournit la puissance de calcul →3; une deuxième carte embarquant les convertisseurs CA/CC, le circuit de surveillance énergétique, le port Modbus externe et les ports d'entrées tension/courant; une troisième, plus petite, équipée de connecteurs et d'un circuit de protection assurant l'interconnexion processeur-capteurs externes.

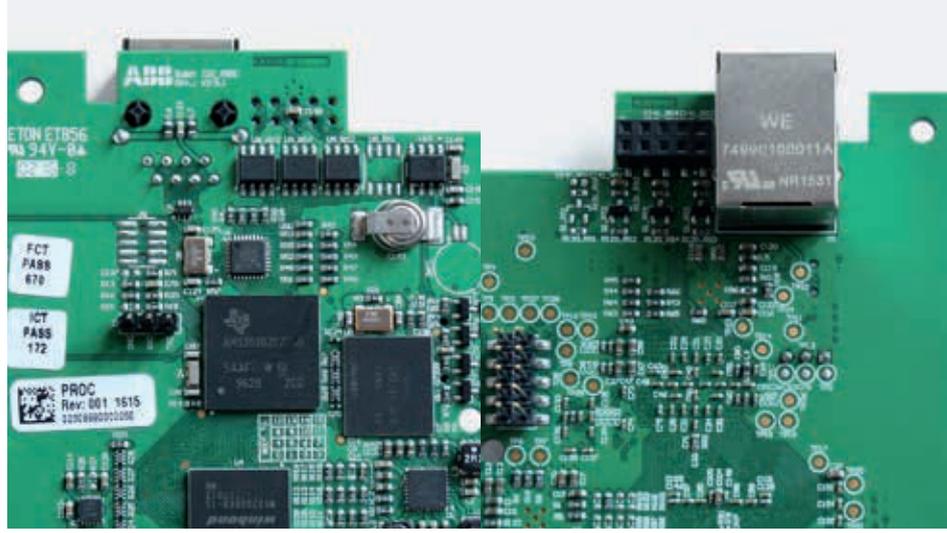
Simulation matérielle

L'électronique fut conçue à l'aide de simulations numériques d'écoulement des fluides (CFD), préparées dans le logiciel ANSYS Fluent. Les modèles de conception assistée par ordinateur (CAO) furent exportés du logiciel Altium Designer au format standard d'échanges de données de modélisation STEP (STandard for Exchange of Product), avant d'être importés et simplifiés dans l'outil de CAO 3D SolidWorks® (Dassault Systèmes).

Les modèles des circuits imprimés furent intégrés au modèle de l'enveloppe, puis chargés dans ANSYS Fluent pour y générer le maillage en volumes finis →5 et définir les paramètres physiques de la simulation.

Le secret d'une simulation réussie tient dans la bonne modélisation des circuits multicouche qui, dans le cas du CMS-700, cumulent jusqu'à six stratifiés FR4 cuivrés de 35 µm d'épaisseur. Le maillage de ces fines strates de cuivre passe par un modèle de conduction d'enveloppe multicouche capable de définir l'épaisseur virtuelle et la conductivité thermique de chacune d'elles.





03

—
02 Représentation simplifiée de la configuration matérielle

—
03 Carte mère

—
04 Vue éclatée de l'unité de commande CMS-700

Ces simulations numériques servent à identifier les points chauds et à évaluer la conception de l'enveloppe en matière de dissipation thermique →6. Elles permirent également de sélectionner la meilleure valeur ohmique pour les résistances shunt de mesure de courant, résolvant par là même une délicate équation : opter dans l'idéal pour des composants de faible résistance, afin de générer le moins de chaleur possible, mais plus chers à l'achat. La modélisation CFD permet ainsi d'arbitrer efficacement entre production de chaleur et coût de l'électronique.

Après préparation des premiers prototypes, les simulations furent vérifiées par des mesures thermiques. Une caméra infrarouge localisa les points chauds et des thermosondes Pt100 fournirent des profils de température extrêmement précis ; de quoi confirmer l'exactitude des simulations CFD →7.

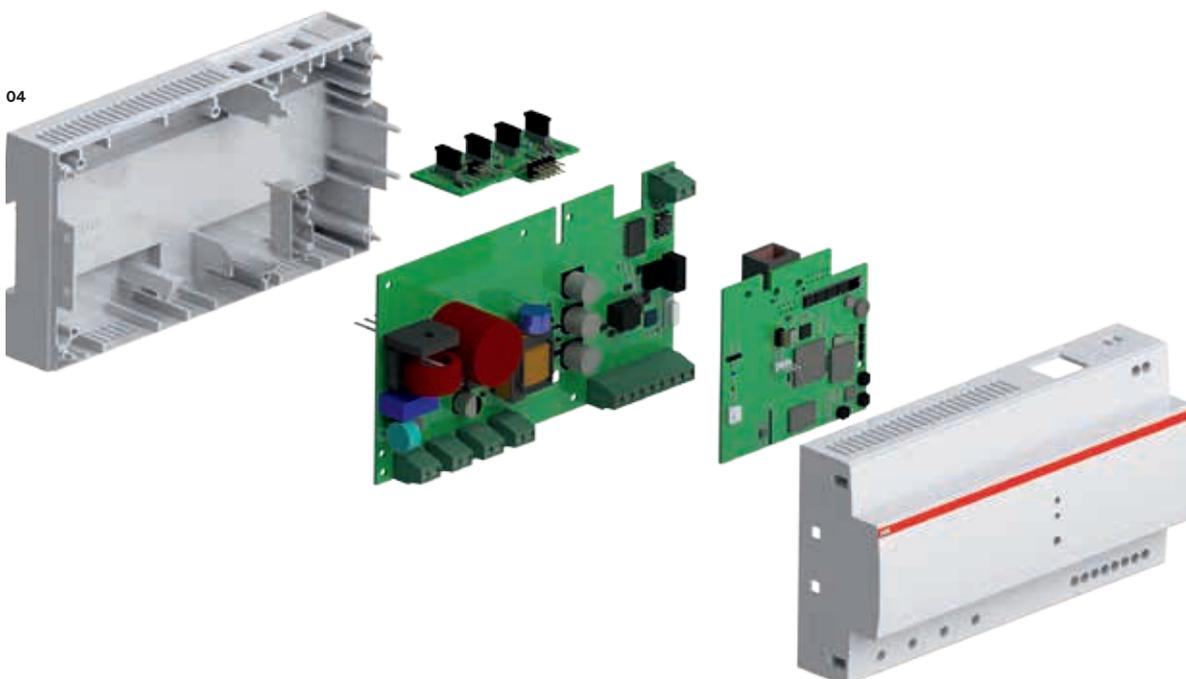
La robustesse de la conception matérielle fut également validée par des essais de compatibilité électromagnétique conformes à la normalisation internationale CEI.

Logiciel

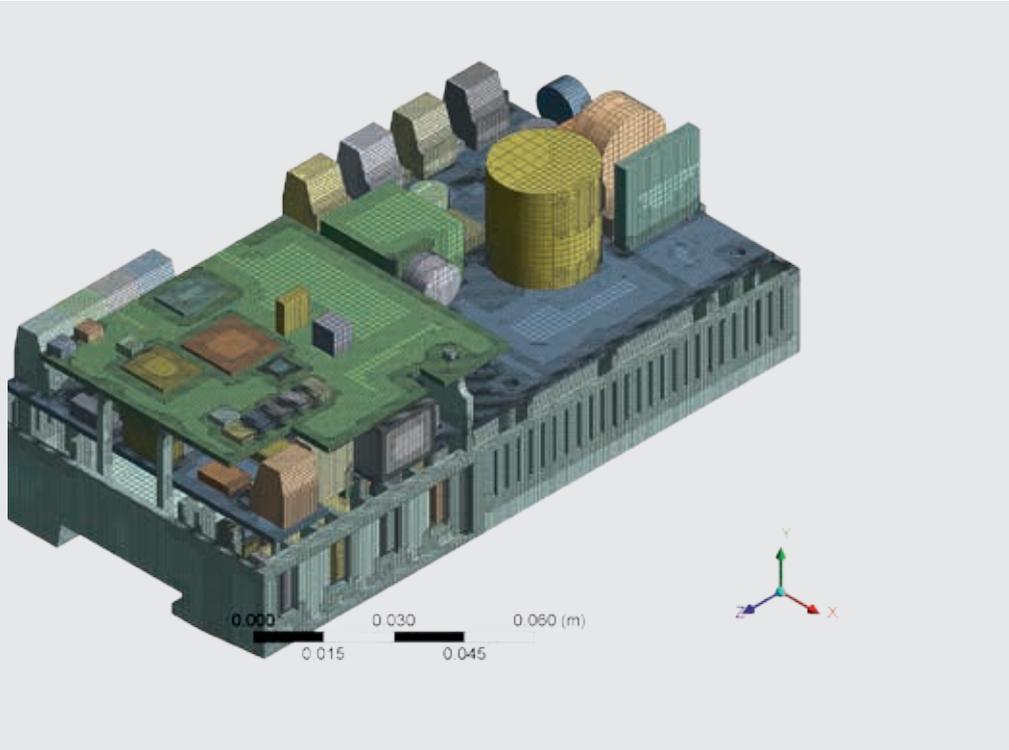
Le CMS-700 est piloté par un logiciel embarqué sous une distribution Linux personnalisée, comportant un programme d'amorçage, un noyau

—
La robustesse du matériel fut confirmée par des essais de compatibilité électromagnétique CEI.

Linux et le système de fichiers racine. Tous ces constituants furent compilés pour une architecture ARM (Advanced Risc Machine) avec la chaîne GCC Linaro. Le programme d'amorçage et le noyau Linux furent préparés avec un kit de développement Linux de Texas Instruments. L'outil Buildroot et un programme d'amorçage universel et libre servirent à construire le système de fichiers racine.



04

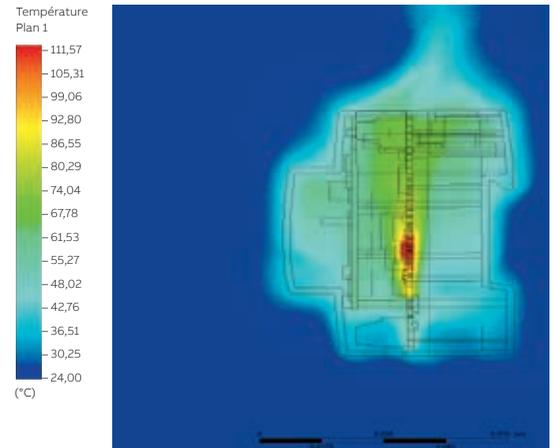
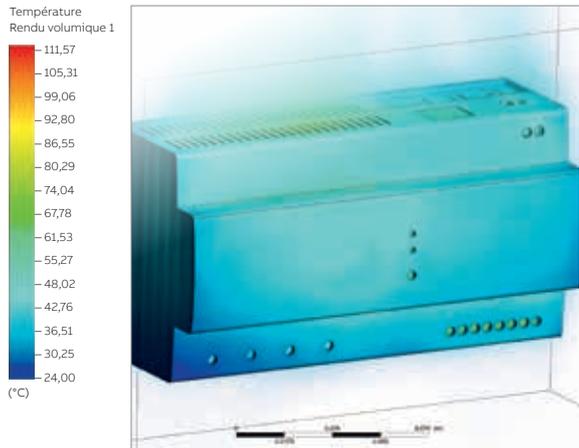


05

Pare-feu

Le CMS-700 est protégé par un pare-feu interne basé sur le filtre de paquets réseau NFTables, sous-système du noyau Linux. Les règles de pare-feu visent à restreindre l'accès aux services HTTP, SNMP et Modbus. Autre fonctionnalité: le suivi de connexions autorisant la mise en place d'un pare-feu à états et la configuration de limiteurs de trafic. Ce type de protection peut être paramétré de façon à accepter tous les paquets entrants faisant partie de la connexion établie par le CMS-700 (état ESTABLISHED) ainsi que tous ceux appartenant aux connexions liées à celles lancées par le CMS-700 (état RELATED). Cela permet par exemple d'autoriser une réponse provenant du serveur NTP (Network Time Protocol) lorsque la connexion est établie par le CMS-700.

Le pare-feu protège le dispositif des accès non autorisés mais aussi des attaques par déni de service, notamment celles qui s'appuient sur les vulnérabilités des protocoles ARP, ICMP, IP, TCP et UDP pour inonder le réseau de paquets et saturer les ressources. La robustesse de la protection fut validée par le centre pour la sécurité « DSAC » (Device Security Assurance Center) d'ABB, le CMS-700 ayant réussi tous les tests de cybersécurité.



06

—
05 Maillage en volumes finis sur le modèle CAO

—
06 Résultats des simulations CFD : distribution de la température à l'extérieur et à l'intérieur de l'enveloppe

—
07 Comparaison des résultats des simulations avec les mesures de température par sonde Pt100

07a La simulation CFD prédit les points chauds au dos des huit composants montés en surface sur la carte intégrant le convertisseur CA/CC, le circuit de surveillance énergétique et le port Modbus externe.

07b La mesure de la sonde Pt100 le long de la ligne 1 reflète le profil de température observé en simulation (composant à l'extrémité gauche de la carte).

Code

Le programme de mesure, de transfert, de configuration et de visualisation des données comporte deux volets : un code frontal (« front-end ») écrit en JavaScript sur la plate-forme AngularJS, qui permet de développer la partie visible de l'application, à savoir l'interface utilis-

—
Les mesures capteurs sont affichées sous la forme d'une courbe de valeurs en ligne, qui peuvent être récupérées d'une table.

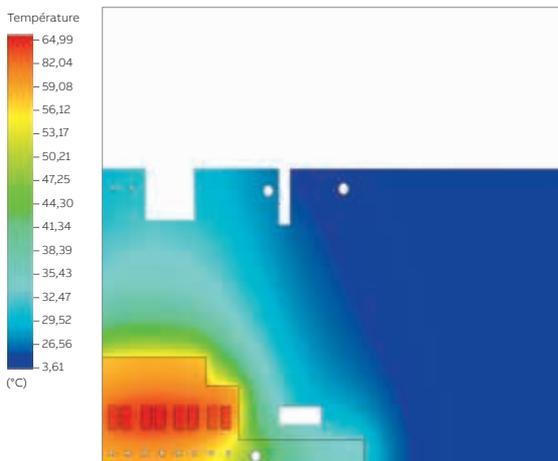
—
teur web et le matériel ; une couche intermédiaire (« back-end ») autorisant en arrière-plan la configuration de l'équipement, la mesure, l'acquisition et la transmission des données par SNMP et Modbus. Tous les échanges HTTP entre CMS-700 et navigateur web sont chiffrés et sécurisés avec le protocole SSL (Secure Sockets Layer).

Configuration

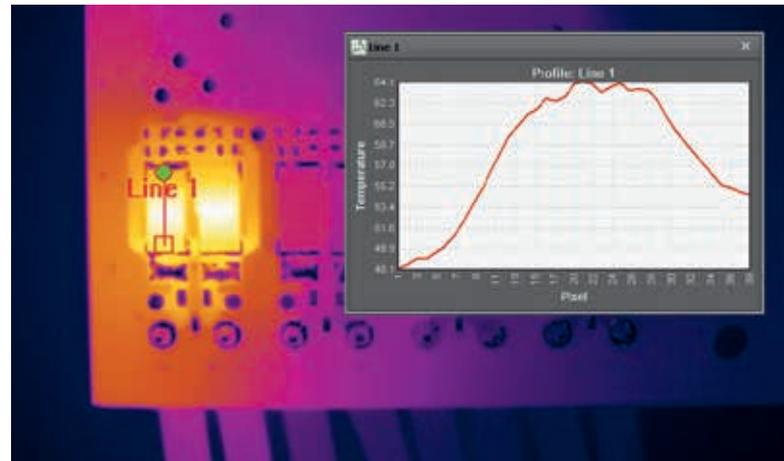
Le site web du CMS-700 sert à configurer le dispositif en plusieurs langues et à afficher une courbe des mesures de capteurs en ligne, qui peuvent être récupérées d'une table. Toutes ces données étant consignées, une interface permet d'en restituer l'historique, exportable au format

de fichier CSV. Il en va de même des mesures de qualité de l'alimentation réseau (tension, courant, harmoniques, facteur de puissance, énergie active, réactive et apparente). Le CMS-700 calcule la consommation d'énergie sur le circuit principal comme sur chaque dérivation surveillée par les capteurs CMM. Ces points de mesure peuvent être affichés dans différentes vues.

La partie configuration permet de modifier certains paramètres comme les rapports des transformateurs de courant réseau, par exemple. La configuration des capteurs CMM peut être peaufinée pour ajouter, supprimer, afficher, identifier et éditer des paramètres permettant de lier leurs données selon divers critères (dérivation, regroupement, phase, correction du facteur de puissance, etc.). Le choix du mode de diffusion des rapports (courriel ou serveur FTP) est également configurable via l'interface web, de même que les protocoles de transmission, la langue de configuration, l'heure, les mots de passe, la dernière version du micrologiciel et la réinitialisation des réglages usine.



07a



07b

- 08 Capteur ouvert
- 09 Capteur fermé

Nouvelle génération de capteurs

De largeur normalisée 18 ou 25 mm, les capteurs mesurent les harmoniques et tout type de courant (alternatif, continu ou en valeur efficace vraie) jusqu'à 160 A.

Chaque capteur disposant de son propre microprocesseur de traitement du signal, les mesures sont rapatriées à l'unité de commande sur un bus numérique, ce qui minimise le câblage dans l'armoire et fiabilise le transfert des valeurs. Fini les perturbations caractéristiques de l'instrumentation et de la transmission analogiques !

Grâce à leur forme en U, les capteurs ouverts s'adaptent aisément à l'existant sans avoir à décâbler ni à arrêter l'installation.

Les capteurs CMS d'ABB sont proposés en deux exécutions : à noyau ouvert ou fermé → 8, 9. Avec leur exactitude de mesure CA inférieure ou égale à $\pm 0,5\%$, les appareils fermés conviennent à toutes les applications exigeant une précision maximale. Grâce à leur forme en U, les capteurs ouverts s'adaptent sans peine à l'existant sans avoir à décâbler ni à arrêter l'installation. Leur exactitude de mesure ($\leq \pm 1\%$) leur ouvre pléthore d'applications.

Premières applications de terrain

Le CMS-700 est tout désigné pour les installations électriques sensibles. Par exemple, 20 unités de commande ont équipé un centre de données en Irlande pour surveiller le courant et l'énergie transitant dans chacune des phases et des 730 dérivations. Le client peut visualiser la consommation énergétique de tout le réseau, comme de chaque ramification ou serveur. Le système signale également les irrégularités de l'onde électrique. D'autres domaines d'application sensibles sont envisageables comme les infrastructures aéroportuaires, hospitalières, télécoms et bancaires. Pour preuve, une banque brésilienne vient d'installer 90 unités de commande et 8000 capteurs pour surveiller et visualiser ses usages énergétiques.

Pour autant, l'unité de commande ne se limite pas aux grandeurs électriques cruciales de toute une installation mais peut également afficher la consommation de chaque charge : un client ABB a ainsi intégré le CMS-700 dans une ligne de production pour l'aider à analyser les coûts de chaque produit. ●



08



09