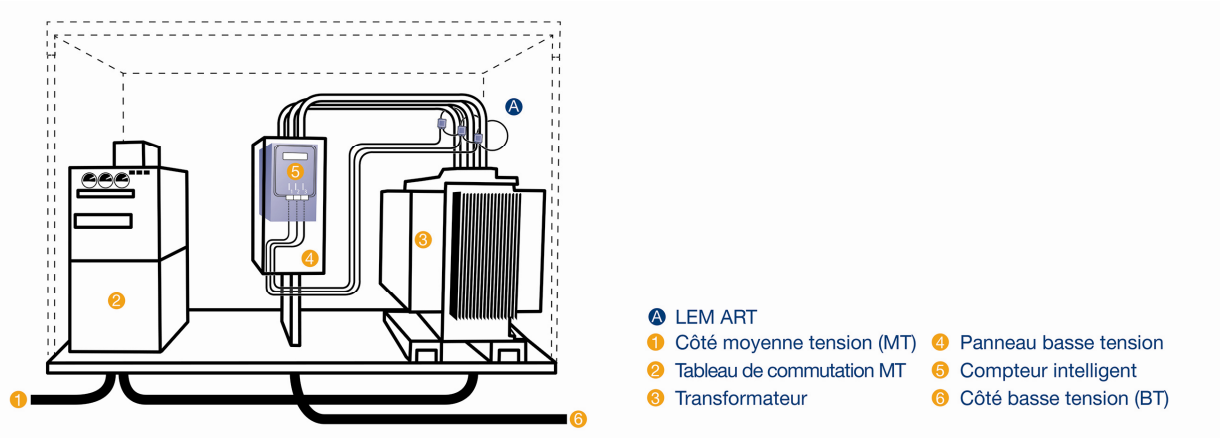
Surveillance d'un transformateur avec un compteur intelligent

Le réseau électrique intelligent informe les utilisateurs sur leur consommation, assure une intégration fiable des énergies renouvelables distribuées, améliore le réseau en s'appuyant sur des composants performants permettant le contrôle, l'automatisation, la surveillance à distance et le partage en temps réel de données.

Ce fournisseur majeur de compteur utilise des capteurs souples LEM de Rogowski (ART) avec un compteur intelligent sur la basse tension d'un transformateur de distribution électrique, lui-même présent dans une sous-station MT/BT. Le logiciel du compteur intelligent calcule les modèles thermique et électrique du transformateur en se basant sur les informations de mesure BT, en lui fournissant la température et le taux de vieillissement de l'huile ainsi que les valeurs de l'alimentation en MT et le flux d'énergie. C'est une façon innovante et plus économique de gérer un réseau de distribution sans avoir des capteurs supplémentaires sur la partie MT. La précision globale du compteur intelligent avec LEM ART est de 1%, donc supérieure aux compteurs de Classe conventionnelle 0,5 associée aux transformateurs de courant de Classe 0,5 (CTs).

Fig. 1: Sous-station MT/BT

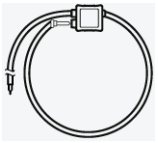


Dans la sous-station MT/BT, le flux électrique parvenant de la face MT (1) est géré par le tableau de commutation MT (2) avant d'être converti par le transformateur (3) en BT (6). Le compteur intelligent (5) installé dans le panneau BT (4) mesure l'état du transformateur (3) à l'aide de trois capteurs de courant indépendants – LEM ART (A). L'ART permet la mise en service d'un compteur intelligent sur un transformateur existant et en activité.

Les avantages pour les opérateurs de système de distribution électrique sont :

- Information en temps réel : comportement au niveau thermique, taux de vieillissement, pertes puissance actives et **réactives** de chaque transformateur de distribution.
- Courbes de charge BTdes consommateurs, producteurs et des transformateurs permettant la détection des pertes non technique.
- Agrégation d'énergie active par chaque transformateur MT-BT permettant la détection de problèmes non-technique sur la partie MT du réseau.

LEM boucle de Rogowski (ART)



LEM a développé le capteur de courant Rogowski ART afin de mesurer jusqu'à 10.000 A et plus. L'ART est une boucle brute répondant aux exigences de précision de la Classe 1 (IEC 61869) sans nécessiter de composants supplémentaires tels que résistances ou potentiomètres, comportant un risque de dérive avec le temps. De plus, l'ART labellisé "boucle parfaite" a une fermeture de boucle brevetée exclusive évitant les imperfections causées par la sensibilité de la position du conducteur à l'intérieur de la boucle. Au final, l'ART est aussi facile à l'installation que les transformateurs ouvrants actuels pour une même précision de Classe 1. L'ART a aussi une meilleure performance que les autres enroulements Rogowski.

Caractéristiques	LEM ART	Autre bobine de Rogowski
Précision: • Classe • Erreur de positionnement • T* Coefficient • Erreur d'orthogonalitée • Température de fonctionnement	• Classe 1 **sans** Calibrage • Inférieur à **0.65%** • **30** PPM/K° • **Faible** • **-40°C** à +80°C, **IP 67**	• Classe 1 avec Calibrage • Inférieur à 1% • 50 PPM/K° • Elevé (supérieur à 1%) • -30°C à +80°C
Bobine : • Erreur de pose fermoir boucle • Diamètre bobine • Protection Electrostatique	• **Aucune (brevet LEM)** • **6,1mm/Fine et souple** • **Oui (Standard)**	• Oui (1-2% d'erreur) • 12 mm/Epais & moins souple • Oui (en Option)
Cas : • Sceau de sécurité • Connexion finale • Longueur de câble sortant	• **Oui (Trou de 2 mm)** • Tourner **et** Cliquer • Sur mesure : 1,5 m, 3 m, **4,5 m, 6m**	• Non • Visser ou Cliquer • 3 m

Fig. 2: LEM ART caractéristiques et performances versus concurrent

Qu'est ce qu'une bobine de Rogowski ?

La Bobine de Rogowski sert à la fabrication d'un capteur ouvrant et flexible qui s'enroule facilement autour du conducteur à mesurer. Elle se compose d'une bobine hélicoïdale dont le fil de sortie rejoint son autre extrémité en passant par le centre de l'enroulement. De ce fait, les deux bornes sont à la même extrémité de la bobine. La longueur de la bobine est choisie selon du diamètre du câble primaire pour fournir des caractéristiques de transfert optimal.

Cette technologie fournit une détection très précise du taux de changement (dérivée) du courant primaire induisant une tension proportionnelle aux bornes de la bobine. C'est une technologie de mesure valable seulement pour le courant alternatif. Un circuit d'intégration électronique est généralement ajouté pour convertir ce signal de tension en signal de sortie proportionnel au courant primaire. En d'autres termes, la Bobine de Rogowski permet la fabrication de capteurs de courant très précis et linéaires mais au prix d'un supplément en circuits électroniques et en calibrage.

Une Bobine de Rogowski a une inductance plus faible qu'un transformateur de courant, et par conséquence une meilleure réponse en fréquence parce qu'elle utilise un noyau non-magnétique. Elle a aussi une linéarité plus élevée même avec des courants primaires forts, car son noyau non ferreux ne peut pas être saturé. Ce type de capteur est particulièrement bien adapté aux systèmes de mesure qui sont sujet à de forts et rapides changements de courants.

Pour mesurer des courants forts, son atout supplémentaire réside dans sa taille compacte et sa facilité d'installation, alors que les transformateurs de courant classiques sont lourds et encombrants.

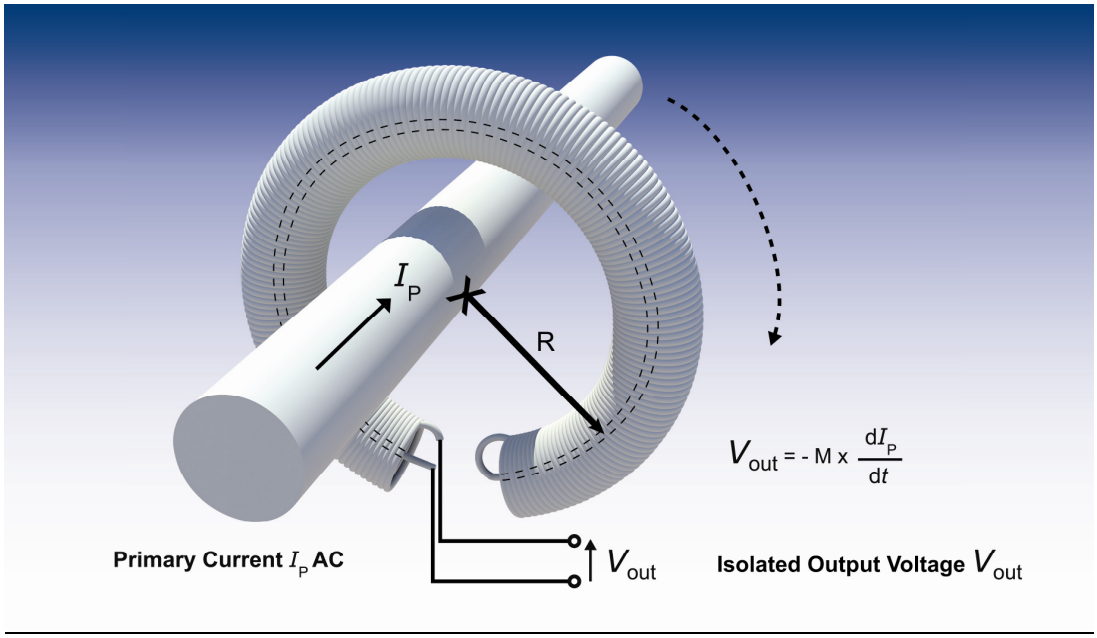


Fig. 3: Principe de la Bobine de Rogowski

V_{OUT} = - M*dI_P/dt.

M est l'induction mutuelle entre le courant primaire et la bobine, qui dans une certaine mesure représente le couplage entre les circuits primaire et secondaire.

La performance de tels capteurs de courant dépend intrinsèquement de la qualité de fabrication de la boucle de Rogowski. En effet, des spires équidistantes sont nécessaires pour garantir une forte immunité aux interférences électromagnétiques. De plus, la densité des enroulements doit être uniforme sinon le coefficient M pourrait changer selon la position du conducteur dans l'ouverture.

Une autre caractéristique critique concerne le point de fermeture qui introduit une discontinuité dans la bobine, créant une sensibilité aux conducteurs externes ainsi qu'à la position du conducteur à mesurer à l'intérieur de la boucle. Le système de fermeture ou de fixation doit assurer une position très précise des extrémités de la bobine et être reproductible, et avoir une symétrie parfaite quand une des extrémités est raccordée au câble de sortie. De nouvelles technologies sont récemment apparues dans ce domaine, avec des caractéristiques mécaniques et électriques qui apportent une précision et une immunité bien meilleure au positionnement du câble primaire. Alors que l'erreur due au positionnement du câble primaire était typiquement de +/-3% aux fréquences de 50/60 Hz, elle s'est abaissée jusqu'à +/- 1% dans certains récents capteurs de Rogowski.



Fig. 4: Capteur de courant bobine de *Rogowski* ART *de* LEM

Comment LEM gère ce challenge

Deux techniques principales sont sur le marché pour des bobines Rogowski précises :

- La première est d'acheter des fils enroulés et de connecter la boucle à une résistance, qui sera utilisée pour le calibrage de précision.
- La seconde est appelée "pure Bobine de Rogowski". Elle consiste à un enroulement très précis du câblage en cuivre sur toute la longueur pour garantir la précision finale du capteur.

Avec la première technique, il est très facile de produire à bas prix mais le dispositif sera extrêmement sensible à l'environnement externe, moins précis et moins fiable car il demande plus de composants.

A l'opposé, la Bobine de Rogowski pure exige plus d'investissement et de connaissance dans son processus de fabrication.

L'extrême finesse de la Bobine de Rogowski du LEM ART est l'atout de cette seconde méthode ainsi que son gain de 22,5 mV/kA. En outre, l'inclusion d'une protection électrostatique contre les champs externes (brevet LEM), optimise ainsi sa performance pour la mesure de faibles courants.

Le système de fermeture est aussi un point clé pour atteindre une précision de classe 1. Ici aussi, LEM a trouvé une conception efficiente pour que la fermeture soit la plus efficace possible.

Pour masquer les imperfections du mécanisme de fermeture ainsi que les connexions des fils secondaires du capteur, les ingénieurs LEM ont créé un manchon agissant comme un court-circuit magnétique (ou plus précisément comme un court-circuit réluctance), rassemblant pratiquement les deux sections de la bobine situées de chaque côté.

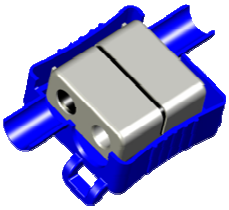


Fig. 5: fermeture de Bobine de Rogowski brevetée LEM

Le manchon est formé d'une pièce de ferrite comme représentée sur la Figure 5.

Cette approche est un complet succès (brevet LEM) – L'erreur associée à la fermeture de l'enroulement est quasi négligeable (Figure 6).

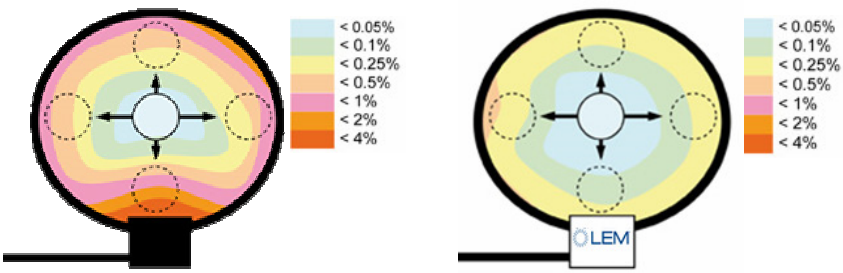


Fig. 6: Comparaison de la précision d'une Bobine de Rogowski normale et d'une bobine utilisant la fermeture brevetée de LEM avec un conducteur primaire dans diverses positions à l'intérieur de la boucle.

La précision n'est pas qu'une question de position du conducteur primaire dans la boucle mais aussi d'orthogonalité : Comment le conducteur primaire croise-t-il la boucle ? Comment est-il positionné par rapport à l'axe de la boucle de Rogowski 90°, 45°, 0° ou 180° ? (Figure 7).

Ici encore, la boucle ART est insensible à ce phénomène et cela n'a pas d'impact sur la précision grâce au savoir-faire et aux brevets LEM.

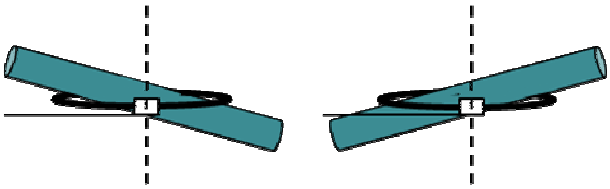


Fig. 7: Effet d'orthogonalité. Position du conducteur primaire versus l'axe de la boucle de Rogowski.

Au final, en plus de ces performances élevées, le produit est facile à utiliser, à installer et à adapter à toutes les conditions d'utilisation.

La série ART fournit la même facilité d'installation que les transformateurs ouvrants existants, mais avec l'avantage d'être plus fine (6,1 mm de diamètre) et plus souple.

Quelle que soit la dimension choisie de 50 à 300 mm de diamètre pour l'ouverture de la boucle – l'ART se monte très rapidement par simple cliquage grâce à une méthode de fermeture par torsion & clic innovante, robuste et rapide. Le contact avec le câble n'est pas nécessaire car l'ART garantit un niveau élevé de sécurité tout en assurant une tension d'isolation élevée (1000 V Cat III PD2 - renforcé). Enfin, il peut s'installer dans des applications exigeant un degré de protection allant jusqu'à l'IP67.

Sa fixation sur le câble primaire est assurée en employant un serre-câble passant par une fente prévue pour cet usage.

L'ART permet aussi de détecter la déconnexion de la bobine grâce à la présence d'un sceau de sécurité passant dans une fente spécialement conçue, ce qui est très pratique dans un compteur (Figure 8).



Fig. 8: Caractéristiques mécaniques ART : fermeture par Torsion & Clic, sceau de sécurité, et fente pour attacher la boucle au câble primaire.

Les applications de réseaux électriques intelligents (« Smart Grids » en anglais), comme les groupes électrogènes, la gestion de l'énergie résidentielle (HEM), les systèmes de surveillance de batteries (BMS), les sous-stations moyenne/basse tension, les sous-compteurs d'énergie, les bornes de recharge pour véhicules électriques ou les centrales solaires, intègrent de plus en plus de capteurs de courant pour assurer une intégration fiable de l'énergie renouvelable lors de la distribution et le stockage de la production et de la consommation de celle-ci. Les capteurs de courant sont donc de plus en plus employés pour permettre aux salles de contrôle d'automatiser, de commander, de surveiller à distance et de partager les données des équipements en temps réel.

Dans le but d'apporter plus d'harmonisation dans le paysage des réseaux intelligents, la Commission électrotechnique internationale (IEC) établit une base pour un réseau électrique fort, résistant et sécurisé. Des capteurs robustes et fiables dans ce réseau sont des défis importants pour répondre à cet environnement exigeant.

IEC 61869 est la nouvelle norme de performance pour les capteurs, remplaçant l'ancienne IEC 60044 pour les transformateurs de courant. Les capteurs de bobines de Rogowski ART sont conçus et testés selon un plan de tests stricts établi par les experts LEM pour se conformer et contribuer à cette évolution. Suite à sa forte connaissance dans les mesures inexactes, LEM garantit la répétitivité des mesures de tous ses transducteurs et l'exactitude de Classe 1.0 selon l'IEC 61869-2 pour les modèles ART utilisés dans les futures villes intelligentes et leurs applications.

Les capteurs de courant de la série ART sont marqués CE, reconnus UL 2808 et conformes à la IEC 61869, en outre ils sont garantis cinq ans par LEM.

Les capteurs de courant intelligents précis et faciles à installer LEM favorise "l'internet de l'énergie" dans les villes intelligentes.

A propos de l'auteur

Patrick Schuler

Patrick Schuler a travaillé pendant plus de 15 ans dans l'internet, les réseaux électriques intelligents, et l'électronique de puissance pour des **équipementiers, gestionnaires** de **réseaux** et producteurs d'énergies renouvelables. Depuis son arrivée au sein de LEM en Septembre 2014, Patrick a la responsabilité de définir la gamme de capteurs pour les futurs réseaux intelligents. En tant qu'expert en réseaux intelligents, Patrick est membre de la communauté "World Smart City" d'IEC à Genève et a été Président Smart Grid à la Chambre de Commerce Européenne à Pékin.