LES NOUVEAUX CAPTEURS DE COURANT MESURENT DES COURANTS PLUS ÉLEVÉS EN RESTANT TOUT AUSSI COMPACTS

David Barbagallo - Chef de projet R&D
Pierre Turpin - Chef de projet R&D
Thomas Hargé – Chef de produits mondial pour les Énergies renouvelables et les Nouveaux marchés

Les systèmes d'électroniques de puissance devenant de plus en plus petits, LEM présente 3 nouvelles familles de capteurs de courant compacts à boucle ouverte qui mesurent des courants plus élevés que les capteurs précédents de mêmes dimensions, ou des courants identiques avec une taille plus compacte. Leurs excellentes performances sont obtenues grâce à un seul ASIC fait sur mesure qui s'occupe de tout le traitement du signal et des fonctions de correction analogiques. Le présent article présente les capteurs ainsi que leurs principales caractéristiques. En conclusion, il donne quelques exemples d'application.

INTRODUCTION

La tendance en matière de mesure de courant sur, par exemple, les systèmes d'alimentation sans interruption (ASI) et les systèmes de génération d'énergie à partir de sources renouvelables, se poursuit actuellement vers des dimensions physiques plus réduites, des plages de courant plus élevées, des temps de réponse plus rapides allant de pair avec des fréquences de commutation plus rapides et, évidemment, un coût de revient plus faible. Pour atteindre ces objectifs, grâce à leur simplicité, les capteurs à boucle ouverte constituent une solution attractive.

Dans cet article, nous présentons trois nouvelles familles de capteurs qui autorisent des courants nominaux atteignant 800 A efficace (RMS) et un seuil de détection des surintensités jusqu'à sept fois plus élevé. Les capteurs miniatures HLSR xx/SP10 sont une extension de la famille HLSR, dotés d'un conducteur primaire intégré. Ils sont montés sur une carte électronique et constituent le meilleur choix en cas de contraintes de taille physique. Les deux autres familles, HOYS et HOYL, sont montées sur un jeu de barres, avec de nouveaux circuits magnétiques optimisés en termes de poids et de dimensions. Les capteurs HLSR et HO à boucle ouverte lancés par LEM il y a 5 ans répondent aux objectifs en termes de taille, de précision, de vitesse et de coût, mais le courant primaire nominal du plus petit HLSR est limité à environ 50 A à cause de la saturation du circuit magnétique en ferrite**.** (Référence 1).

Les capteurs à boucle fermée ont souvent été utilisés pour respecter les exigences de précision et de vitesse des capteurs de courants élevés, mais la bobine secondaire qui annule le champ magnétique du courant mesuré vient augmenter la taille du composant, la consommation électrique, la complexité du système et les coûts. Sur les appareils à courant élevé, le circuit secondaire doit être piloté par une tension d'alimentation élevée ou par des circuits électroniques complexes. La méthode à privilégier consiste à utiliser une architecture à boucle ouverte dans laquelle les imperfections inhérentes à ce type d'architecture sont traitées par un ASIC complexe, utilisé comme élément magnéto-sensible. Cette technique était déjà utilisée sur les capteurs de courant moins élevé de la génération précédente : toute erreur de sensibilité ou de dérive, y compris la dérive en température, est mesurée pendant le test de production de l'ASIC et y est stockée. Les corrections nécessaires sont appliquées en continu lorsqu'il est utilisé. La plupart des paramètres électriques avoisinent de fait le niveau de la génération précédente des capteurs à boucle fermée.

La figure 1 montre un capteur de courant élevé HLSR xx/SP10. Il possède les mêmes dimensions physiques et la même empreinte que les membres existants de la famille, mais le courant nominal maximal est étendu de 50 à 120 A grâce à un nouveau circuit magnétique FeSi. Dans tous les cas, le courant maximal qui peut être mesuré est égal à 2,5 fois le courant nominal. Le HLSR est doté d'un circuit primaire intégré et est monté sur carte électronique. Les quatre autres connexions sont pour l'alimentation du circuit secondaire, la tension de sortie V_{OUT} et une tension de référence V_{REF}. $V_{OUT} – V_{REF}$ est proportionnel au courant mesuré.

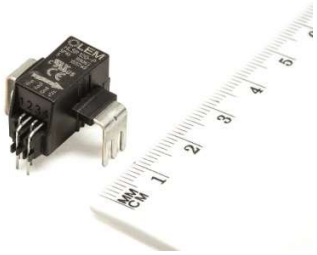


Figure 1 : Capteur HLSR xx/SP10

La figure 2 montre les nouveaux capteurs HOYS et HOYL qui sont respectivement des « petits » et « grands » composants à monter sur des jeux de barres, mesurant respectivement jusqu'à 21 x 12 mm et 39 x 12 mm. Ensemble, ils couvrent une plage de courant allant de 100 à 800 A, avec un courant mesurable maximum de 2000 A. Ces capteurs possèdent une cinquième broche de sortie, la broche OCD, qui indique si une condition de surintensité a été détectée sur le courant primaire. Leur forme compacte est due à l'optimisation du circuit magnétique et du boîtier se fixant autour du jeu de barres. Par ailleurs, à l'exception de l'ASIC à effet Hall et de deux condensateurs de découplage, il n'y a aucun composant électronique à l'intérieur du capteur.



Figure 2 : Capteurs HOYL (à gauche) et HOYS (à droite)

PERFORMANCES DES CAPTEURS

L'alimentation pour le côté (secondaire) mesure des capteurs est de 3,3 V ou 5 V et la sortie est référencée à la moitié de cette valeur, générée par le capteur (bien que d'autres valeurs de tension de référence puissent être forcées à partir d'une source externe). A part les variations en taille et en

méthode de montage, les différences de performances entre les familles HLSR et HOY sont principalement dues à leurs circuits magnétiques.

Dans les applications utilisant des capteurs, les vitesses de commutation augmentent, c'est pourquoi les temps de réponse doivent être plus courts afin que les courants anormalement élevés et les conditions de courts-circuits soient détectés rapidement. Sur les nouveaux capteurs, l'ASIC CMOS comprend des cellules à effet Hall jouant le rôle d'élément magnéto-sensible et des circuits de traitement du signal. Une vitesse d'horloge élevée est utilisée pour offrir un temps de réponse rapide, inférieur à 3,5 µs, tandis que les filtres minimisent le bruit à la sortie du capteur, en limitant la bande passante du signal de l'ASIC à celle nécessaire pour laisser passer la forme d'onde du courant.

L'une des principales caractéristiques des capteurs de courant élevé est la linéarité. L'autre, quand le circuit primaire fait partie du capteur, est la dissipation thermique. Une série complète de simulations et de tests a été effectuée pour valider ces particularités pour ces nouveaux capteurs.

La capacité du circuit magnétique du HLSR xx/SP10 a été validée en créant un capteur de test avec un courant I_{PN} de 180 A, soit 50 % supérieur à la valeur de production la plus haute, et en mesurant sa linéarité. La figure 3a montre le résultat pour un courant de I_{PM} (+/-450 A). La courbe montre la différence entre la sortie mesurée et une sortie parfaitement linéaire idéale. Avec un maximum de 0,5 % de I_{PN}, on démontre que la spécification de linéarité pour ces capteurs est largement atteinte. (Remarque : Des impulsions de courts-circuit ont été utilisées pour ce test, 450 A étant trop élevé pour un courant continu sur le conducteur primaire.)

La linéarité des capteurs HOYS et HOYL (voir figures 3b et 3c respectivement) atteste de leurs capacités. Dans ces tests, le courant primaire couvrait la plage +/- I_{PM}, mais cette erreur de linéarité s'exprime par rapport à I_{PN}, une spécification plus exigeante.

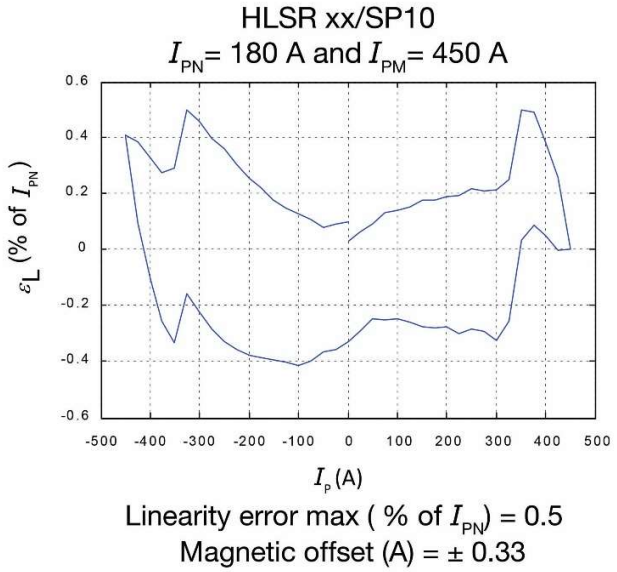


Figure 3a : Exemple de linéarité et d'offset magnétique d'un capteur HLSR xx/SP10

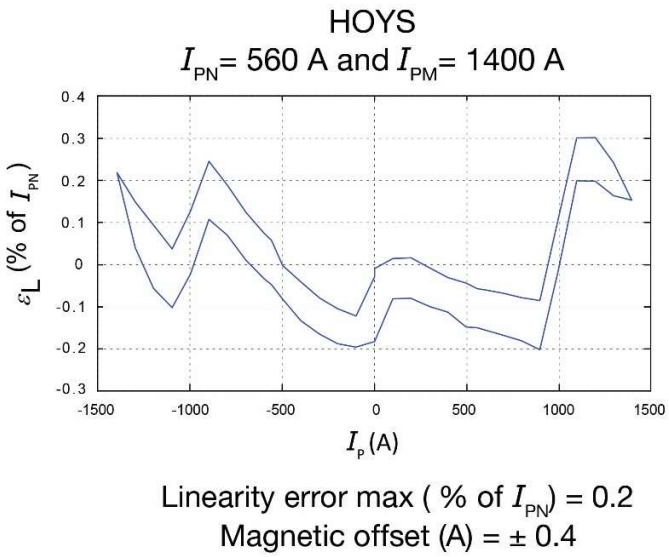


Figure 3b : Exemple de linéarité et d'offset magnétique d'un capteur HOYS

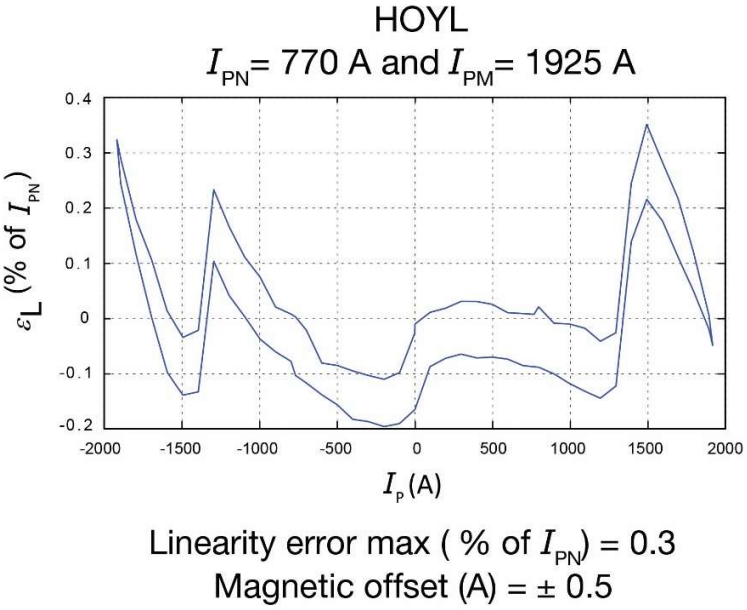


Figure 3c : Exemple de linéarité et d'offset magnétique d'un capteur HOYL

Figure termes
Linearity error max >> Erreur de linéarité maximale
Magnetic offset >> Offset magnétique

Pour le capteur HLSR xx/SP10, dont le circuit primaire fait partie du composant, il est important de connaître les caractéristiques thermiques quand un courant élevé le traverse. En clair, l'échauffement du capteur dépend de la carte électronique sur laquelle il est soudé tout comme du capteur lui-même. La technologie des cartes électroniques actuelles autorise des courants maximums d'environ 100 A :

dans l'exemple simulé ici, les quatre couches de la carte électronique sont utilisées. Sa conception et le refroidissement par convection naturelle maintiennent les points de soudure à 100 °C dans un environnement à 85 °C. La figure 4 montre les résultats. Seul le circuit primaire du capteur est présenté, même si pour la simulation, il est situé comme d'habitude à l'intérieur du boîtier du capteur. Avec un courant DC de 120 A, la partie la plus chaude du circuit primaire se stabilise à 113 °C, un peu en-dessous du maximum autorisé de 120 °C.

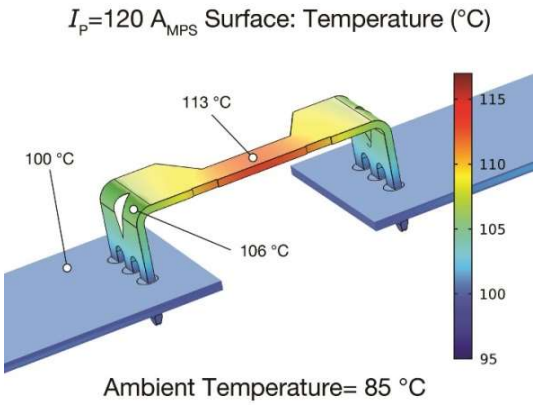


Figure 4 : Simulation thermique du circuit primaire d'un capteur HLSR xx/SP10

Figure termes
Surface: Temperature (°C) >> Surface : Température (°C)
Ambient Temperature = 85 °C >> Température ambiante = 85 °C

La détection des surintensités (OCD, pour *OverCurrent Detection*) est une fonctionnalité particulièrement utile de la famille des capteurs HOYx. L'entrée utilisée pour la détection OCD est prise avant l'amplificateur et les filtres en sortie du capteur (voir le schéma simplifié à la figure 5). Ceci offre deux avantages : Le signal est ici à une amplitude plus faible, de sorte qu'un niveau de courant plus élevé que celui auquel la sortie du capteur sature peut être détecté, et le temps de réponse du détecteur OCD est plus rapide que celui à la sortie. Par défaut, le seuil OCD est fixé à 2,93 x I_{PN}, mais 15 autres multiples, de 0,68 x à 7,06 x I_{PN} peuvent être choisis lors de la commande du capteur. Les multiples exacts disponibles sont indiqués dans les fiches techniques (voir *Référence 2*) : Dans les cas les plus extrêmes, un niveau OCD de 5 648 Ampères peut être choisi pour la version 800 A du capteur HOYL. Attention : La précision des niveaux OCD n'est que de 10 ou 20 %, selon le niveau choisi, mais cela est largement suffisant pour la fonction d'alerte rapide que réalise le détecteur OCD.

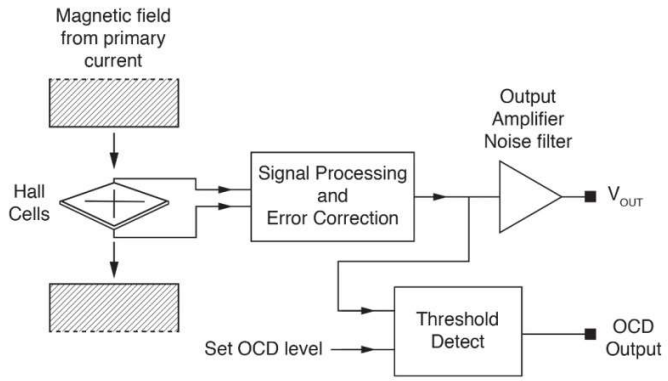


Figure 5 : Système OCD

Figure termes
Magnetic field from primary current >> Champ magnétique issu du courant primaire
Hall Cells >> Cellules à effet Hall
Signal Processing and Error Correction >> Traitement du signal et correction d'erreur
Output Amplifier Noise filter >> Amplificateur de sortie Filtre anti-bruit
Threshold Detect >> Détection de seuil
Set OCD level >> Niveau OCD fixé
OCD Output >> Sortie du détecteur OCD

La figure 6 montre un exemple de la sortie du système OCD : Le courant primaire (en jaune) monte au-dessus du niveau auquel la sortie du capteur sature (en rouge) ; 2,3 µs après que le seuil OCD soit dépassé, sa sortie (en bleu) chute à 0 V. La sortie du système OCD est un collecteur ouvert, ce qui permet de connecter plusieurs lignes à une seule ligne d'alerte. L'étalement des temps de réponse du système OCD est dû au fait que le courant primaire n'est pas synchronisé avec l'horloge du capteur.

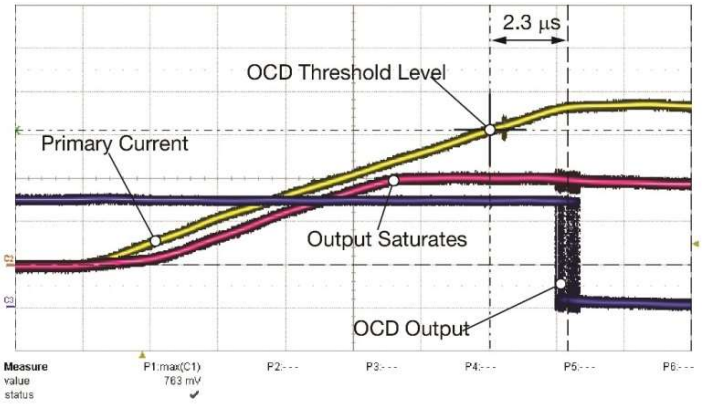


Figure 6 : Formes d'onde du courant et du capteur quand le système OCD est enclenché

Figure termes
OCD Threshold Level >> Niveau seuil du système OCD
Primary Current >> Courant primaire
Output Saturates >> Saturation en sortie
OCD Output >> Sortie du détecteur OCD

Les nouveaux capteurs sont dotés d'une excellente isolation. Sur tous les capteurs HLSR et HOY, il existe une séparation galvanique totale entre les circuits primaire et secondaire. Par exemple, le test d'isolation « tension de tenue au choc » de 1,2/50 µs autorise 8 kV avec les capteurs HLSR et 9,6 kV avec la famille des plus gros capteurs HOYL.

La fiabilité du capteur doit également être considérée : La construction des capteurs de courant à boucle ouverte est extrêmement simple, car ils ne comportent qu'un seul composant (l'ASIC à effet Hall), et très peu de points de soudure (voire aucun dans le cas de la famille HLSR). C'est pourquoi la fiabilité de ce type de capteur est excellente, avec un FIT de 3,4, correspondant à un MTTF de 294 170 980 heures (respectivement le taux de défaillance aléatoire et la durée moyenne avant panne).

Le tableau 1 résume les principales caractéristiques électriques des capteurs HLSR xx/SP10 et HOY. Pour plus de détails, se reporter aux fiches techniques.

Paramètre	**HLSR xx/SP10**	**HOYS / HOYL**	**Commentaire**
Courant nominal, I_{PN} (A)	80 - 120	100 - 800	
Courant maximum, I_{PM} (A)	200 - 300	250 - 2000	
$V_{OUT} - V_{REF}$ (mV)	800	800	Alimentation 5 V ; Courant d'entrée = I_{PN}
Temps de réponse (µs)	2,5	3,5	
Bande passante (-3dB) (kHz)	250	180 / 140	Faible signal
Bruit en sortie (mVpp)	8,8	5,8 – 8,6	Dans la bande passante de 100 kHz
OCD disponible	Non	Oui	
Précision globale (% de I_{PN})	+/-1,0	de +/-1,0 à +/-1,25	à 25 °C
Précision globale (% de I_{PN})	+/-3,8	de +/-3,8 à +/-4,0	à 105 °C
Tension de tenue au choc (kV)	8	9,6	1,2/50 µs montée/desc.
Empreinte (cm^2)	3,87	11,0 / 17,8	

Tableau 1

EXEMPLE D'APPLICATION 1 : DES ALIMENTATIONS SANS INTERRUPTION DE PLUS EN PLUS PETITES

Les alimentations sans interruption (ASI, ou UPS, pour *Uninterruptible Power Supply*) sont dominées par deux technologies : les composants de commutation plus rapides permettent d'utiliser des éléments réactifs de moindre valeur. Ceux-ci ont une taille physique plus réduite pour que les composants électroniques soient tous montés sur la carte. Bien évidemment, les capteurs de courant doivent également suivre cette tendance de composants compacts, pour ne pas occuper toute la surface de la carte. En même temps, des courants plus élevés peuvent être présents grâce à l'utilisation de toutes les couches sur les cartes électroniques multi-couches ; certaines couches plus épaisses peuvent être utilisées pour des capacités de courant élevées. Le capteur HLSR xx/SP10 est idéal car il cumule une taille réduite, des plages de courant élevé et la possibilité de montage sur carte électronique. La figure 7 montre un schéma d'application simplifié dans lequel le capteur HLSR xx/SP10 peut être utilisé dans la boucle de contrôle pour les commutateurs utilisés à la fois pour la conversion AC-DC et DC-AC.

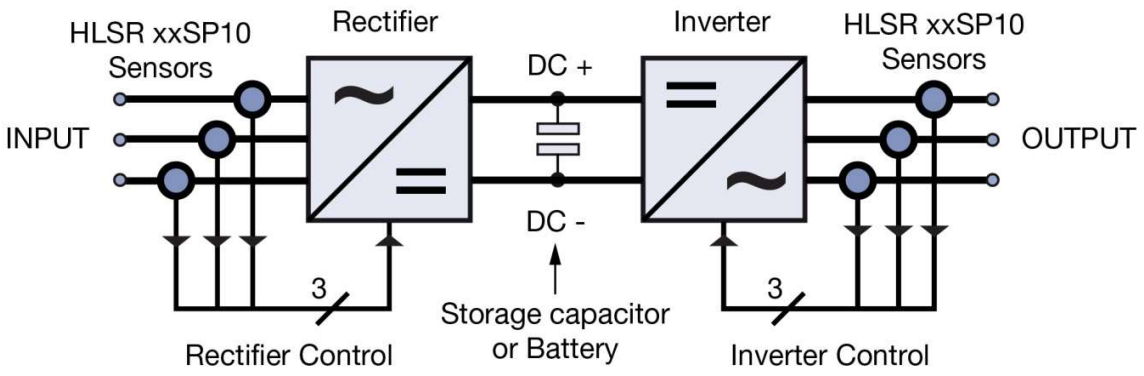


Figure 7 : Capteurs HLSR xx/SP10 dans un système ASI

Figure termes
HLSR xxSP10 Sensors >> Capteurs HLSR xxSP10
Rectifier >> Redresseur
Inverter >> Onduleur
HLSR xxSP10 Sensors >> Capteurs HLSR xxSP10
INPUT >> ENTRÉE
OUTPUT >> SORTIE
Rectifier Control >> Commande du redresseur
Storage capacitor or Battery >> Condensateur de stockage ou Batterie
Inverter Control >> Commande de l'onduleur

EXEMPLE D'APPLICATION : LARGE PLAGE DE MESURE ET SYSTÈME OCD POUR ÉOLIENNES

Dans cette application, la large plage de mesure de courant et le système OCD des capteurs HOYx peuvent se révéler utiles. Le générateur entraîné par une éolienne peut utiliser de l'énergie issue du réseau qui alimente les bobines de son stator. Sur la figure 8, la sortie du convertisseur AC/AC, une fois mélangée avec le courant AC issu du générateur, crée la forme d'onde correcte de 50 Hz pour le réseau qui est alimenté. Si la charge du réseau tire trop de courant, la puissance disponible pour le générateur peut devenir insuffisante, accentuant l'effet de charge excessive et, s'il n'y a pas de système de maintien de l'alimentation en cas de sous-tension (LVRT, *Low Voltage Ride Through*), la panne de l'un des générateurs peut se propager dans le réseau et entraîner d'autres pannes. La solution LVRT sert en partie à détecter les surintensités côté réseau, où la large plage de mesure du HOYx se révèle avantageuse. Le système OCD est quant à lui utile pour décider si d'autres actions correctives doivent être entreprises et confirmer que les pics de courant ont disparu. Grâce à leur faible encombrement, les capteurs HOYx sont faciles à déployer dans ce type d'application.

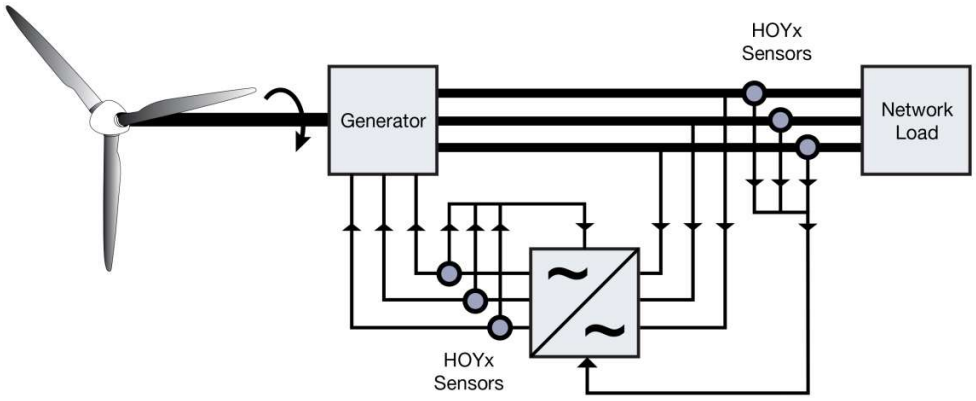


Figure 8 : Capteurs HOYx dans un système éolien doté d'une solution LVRT

Figure termes
Generator >> Générateur
HOYx Sensors >> Capteurs HOYx
Network Load >> Charge du réseau

CONCLUSION

Cet article vient de présenter les nouveaux capteurs qui permettent de mesurer des courants allant jusqu'à 2000 A à l'aide d'une architecture à boucle ouverte simple et économique. Dans de nombreux cas, grâce à leurs excellentes performances ils peuvent être utilisés à la place d'autres capteurs plus complexes. Leur taille compacte, leur faible tension d'alimentation et le système OCD des HOYx offrent de nouvelles possibilités aux développeurs pour mettre en œuvre des systèmes efficaces et économiques.

Référence (1) : *https://www.lem.com/en/file/3135/download*
Référence (2) : https://www.lem.com/en/product-list?keys=HOYL et https://www.lem.com/en/product-list?keys=HOYS