

Une avancée vers la miniaturisation des capteurs de courant dans les systèmes de conversion d'énergie

Les systèmes modernes de conversion d'énergie doivent à la fois devenir plus efficaces, plus compacts et plus économiques que les générations précédentes. C'est avec ces données en tête que la société suisse LEM, le leader mondial des capteurs de courant et de tension, a mis à profit son expertise dans ce domaine pour créer un capteur encapsulé dans un boîtier miniature de circuit intégré : le HMSR.

par Damien Leterrier, Thomas Hargé et Stéphane Rollier de chez LEM

La façon traditionnelle de mesurer le courant consiste à utiliser des capteurs à effet Hall à boucle ouverte. Le champ magnétique créé par le courant est capturé par le noyau magnétique et mesuré par un élément de Hall. Depuis peu, des ASIC spécifiques permettent d'augmenter la précision globale du système grâce à l'utilisation de techniques de compensation avancées.

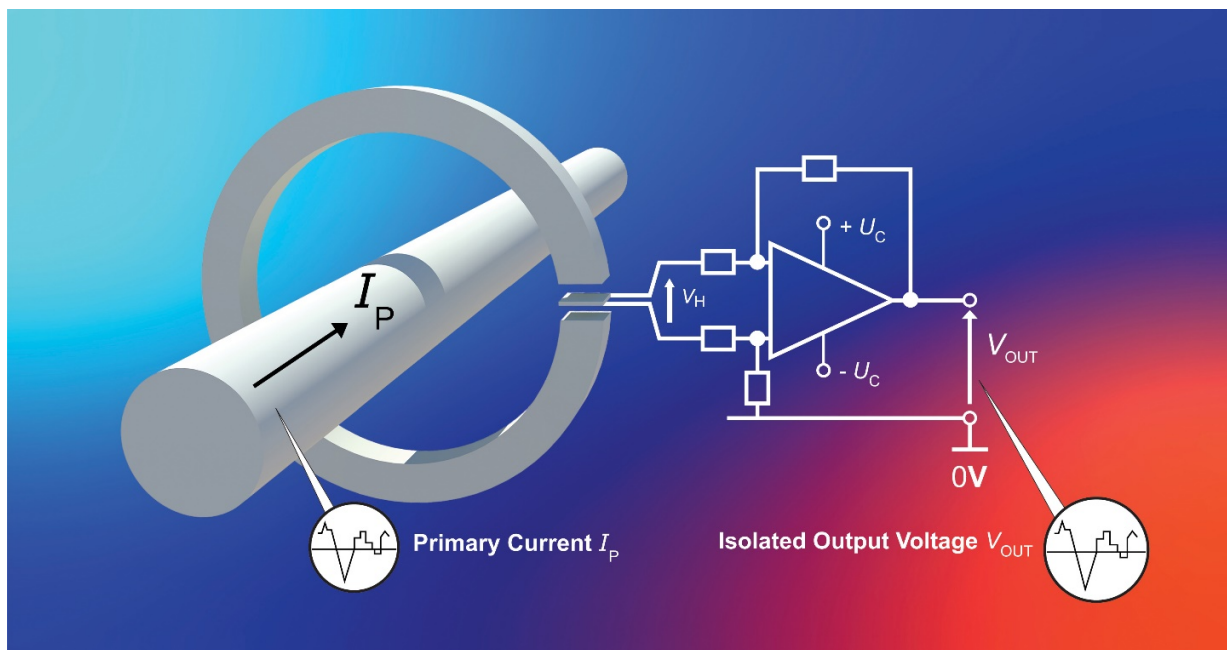


Figure 1 : Principe de la technologie à boucle ouverte utilisant une sonde à effet Hall traditionnelle ou un ASIC spécifique

LEM a fait un premier pas vers la miniaturisation avec les produits de la gamme LTSR au cours de la décennie précédente. A cette époque, le meilleur moyen de garantir des performances optimales consistait à utiliser la technologie à effet Hall à boucle fermée, associée à un ASIC spécifique à boucle fermée, breveté par LEM. L'évolution de la technologie des circuits ASIC a permis le développement de capteurs à effet Hall à boucle ouverte qui étaient capables d'atteindre des performances proches de celles obtenues avec la technologie à boucle fermée. Non seulement la technologie à boucle ouverte a facilité la réduction de la taille des composants, mais elle a également apporté la baisse des coûts que le marché attendait, grâce à une structure plus simple et à une consommation plus faible. La décennie

actuelle a vu le développement de la gamme des produits HLSR, qui non seulement offre d'excellentes performances en termes d'offset et de dérive, mais également un temps de réponse ultra rapide, le tout dans un boîtier assez petit pour permettre des applications de type PCBA (circuit imprimé assemblé), et ne mesurant que quelques millimètres de hauteur.

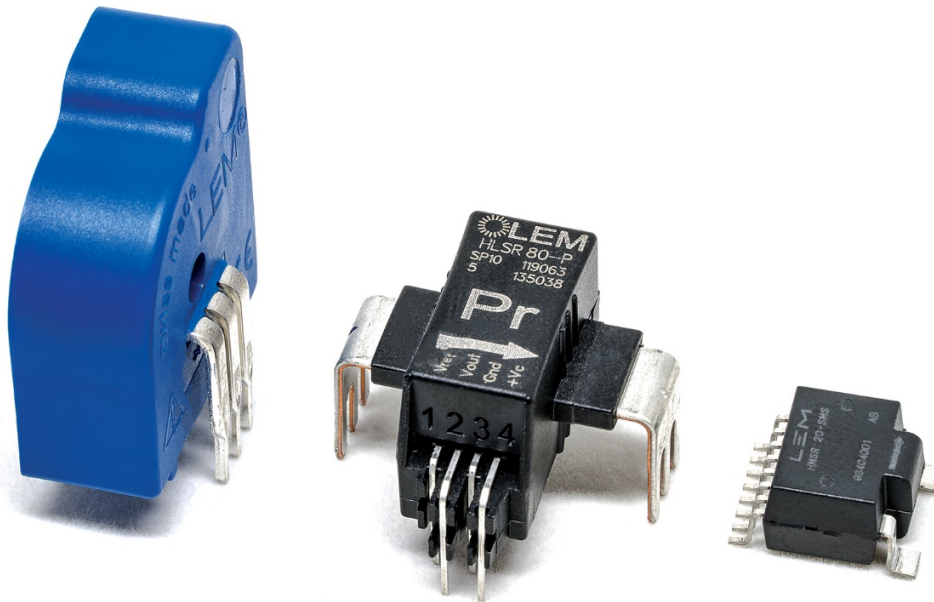


Figure 2 : Évolution de la taille des capteurs de courant au fil des dernières décennies

LEM a utilisé son savoir-faire étendu et son expertise en matière de conception, accumulés au fil de nombreuses années, pour créer le HMSR, un capteur de courant à la pointe de la technologie qui satisfait la pression permanente du marché pour des coûts abordables, des performances accrues et la miniaturisation.



Figure 3 : Capteur de courant HMSR

Avec cette nouvelle famille de produits, LEM étend sa gamme de capteurs de courant miniatures destinés à la mesure de courants isolés AC et DC. Les nouveaux modèles HMSR sont faciles à utiliser car ils intègrent un conducteur primaire à faible résistance (ce qui minimise les pertes de puissance), une ferrite miniaturisée et un ASIC propriétaire permettant de mesurer directement les courants tout en affichant des performances d'isolation cohérentes.

Cette nouvelle famille de produits se décline selon six courants nominaux (6 A, 8 A, 10 A, 15 A, 20 A et 30 A), avec une plage de mesure couvrant 2,5 fois le courant nominal, et est disponible dans un boîtier doté d'un empreinte similaire à celle d'un SOIC 16. Les modèles standards offrent une sortie de tension analogique avec différents niveaux de sensibilité disponibles, les versions alimentées en 5 V atteignant une tension de sortie de 800 mV @ I_{PN} .

Deux modules de détection des surintensités OCD (*Over Current Detection*) sont intégrés, qui séparent le chemin de l'application de commande de la boucle de sécurité. Ces modules OCD se situent sur deux connexions spécifiques, l'une étant définie en usine à $2,93 \times I_{PN}$ comme seuil de détection, et l'autre pouvant être réglée en externe dont le seuil peut être ajusté par l'utilisateur.

Cependant, les capteurs HMSR ne doivent pas être considérés comme de simples capteurs basés sur un ASIC à effet Hall à boucle ouverte. Le conducteur primaire unique du HMSR permet en effet des courants de surcharge ponctuels et des niveaux d'isolation élevés. Tout ceci est associé à un circuit magnétique basé sur une ferrite afin d'offrir une excellente immunité contre les champs externes non-homogènes

présents dans les applications d'électronique de puissance. Le HMSR peut ainsi être utilisé dans des environnements qui subissent des niveaux de perturbation élevés.

La ferrite utilisée dans le HMSR constitue un facteur clé pour atteindre une bande passante élevée de 270 kHz (-3 dB) et permet d'afficher une bonne réjection aux champs magnétiques externes.

Ces conceptions d'ASIC spécifiques associent des techniques ayant fait leurs preuves, telles que la technique conventionnelle dynamique d'annulation de l'offset (spinning technique) et la compensation de la température interne programmable (EEPROM), pour améliorer les dérives de gain et d'offset. Résultat : Le capteur affiche une excellente précision sur une plage de température allant de -40 °C à +125 °C, avec une valeur typique de 0,5 % de I_{PN} (sur le modèle HMSR 20-SMS). Les applications de conversion d'énergie, comme les onduleurs photovoltaïques ou les variateurs de vitesse pour moteurs, exigent des niveaux d'efficacité très élevés, qui ne peuvent être atteints que si la boucle de contrôle est précise.

La précision en température a été nettement améliorée sur le HMSR par rapport à la génération précédente de produits. Le graphique ci-dessous montre la faible erreur globale typique sur un courant mesuré avec le HMSR 20-SMS, ainsi que la très bonne linéarité sur une large plage de température (de -40 °C à +125 °C).

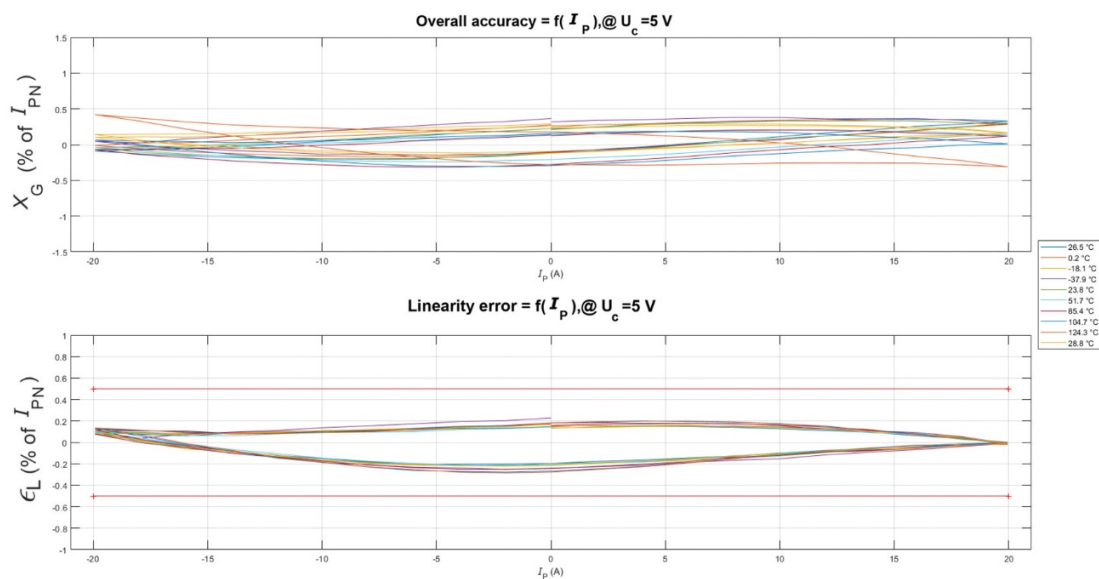


Figure 4 : Précision globale typique et linéarité pour le modèle HMSR 20-SMS (de -40 °C à +125 °C)

Cependant, une telle précision ne suffit pas si elle n'est pas accompagnée d'un temps de réponse rapide. En effet, le déploiement des IGBTs rapides, comme la technologie basée sur des composants SiC, augmente la possibilité de fonctionner avec une fréquence de commutation plus rapide. Le HMSR a prouvé qu'il était prêt pour une technologie aussi exigeante, avec un temps de réponse inférieur à 2 μs (voir figure 5).

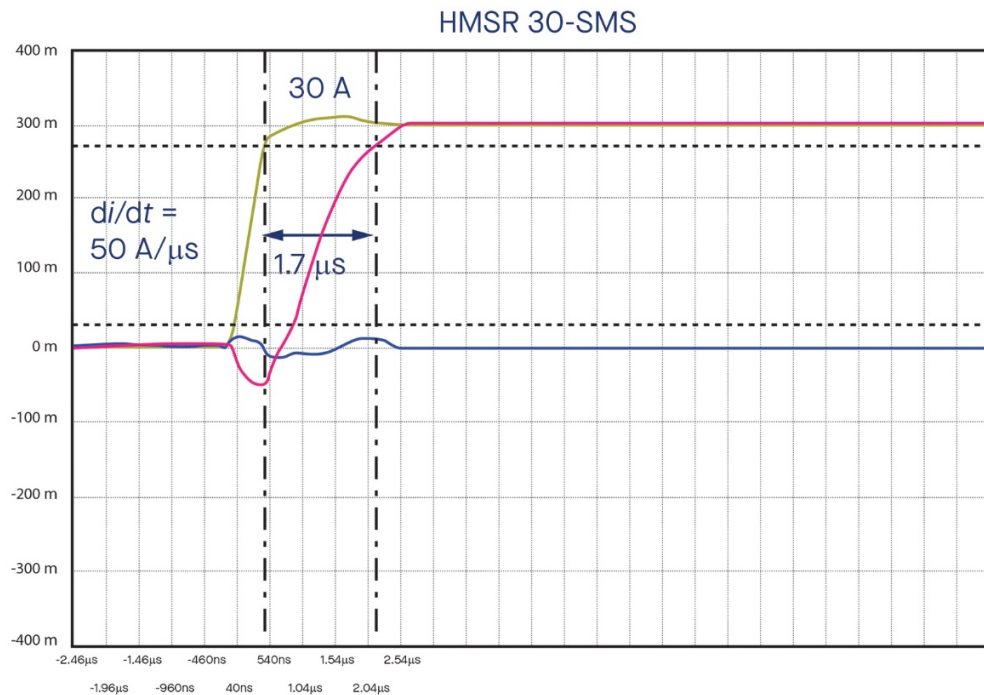


Figure 5 : Temps de réponse du HMSR

Sur de nombreuses applications, les capteurs HMSR peuvent être montés directement sur un circuit imprimé selon le même process que des composants CMS SO16, réduisant ainsi les coûts de fabrication et offrant un gain d'espace significatif non négligeable pour les environnements avec des contraintes d'espace. Doté d'un profil d'à peine 6 mm de hauteur, le HMSR offre un gain d'espace non négligeable sur les applications, pouvant être placé idéalement sous le dissipateur de chaleur situé au-dessus des modules de puissance intelligents (IPM, *Intelligent Power Modules*, voir figure ci-dessous).

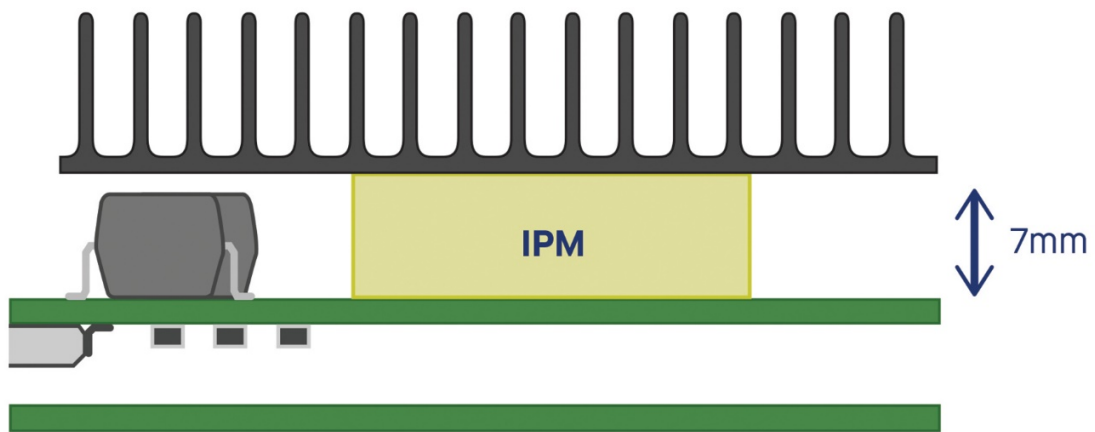


Figure 6 : HMSR monté avec un module IPM.

Le HMSR offre également des avantages significatifs dans un autre domaine en termes de mesure de courant : celui des applications solaires.

En particulier, le suivi du point de puissance maximale, ou MPPT, pour *Maximum Power Point Tracker*), élément important dans la conversion d'énergie solaire, est constitué de plusieurs composants pour maximiser la puissance générée à partir d'un panneau photovoltaïque (PV). Pour ce faire, il régule le courant et la tension en fonction de la température, de l'ensoleillement et de la résistance totale du système. Le système de contrôle analyse en permanence la sortie du système après avoir injecté une faible perturbation (selon la méthode Perturbation et Observation). Le système MPPT analyse ensuite la puissance obtenue (en détectant la tension et le courant) et en déduit les paramètres à modifier afin d'atteindre le point de puissance maximale (MPP). Le système MPPT modifie ensuite la modulation en largeur d'impulsion (PWM, *Pulse Width Modulation*), pour adapter la tension du convertisseur DC-DC.

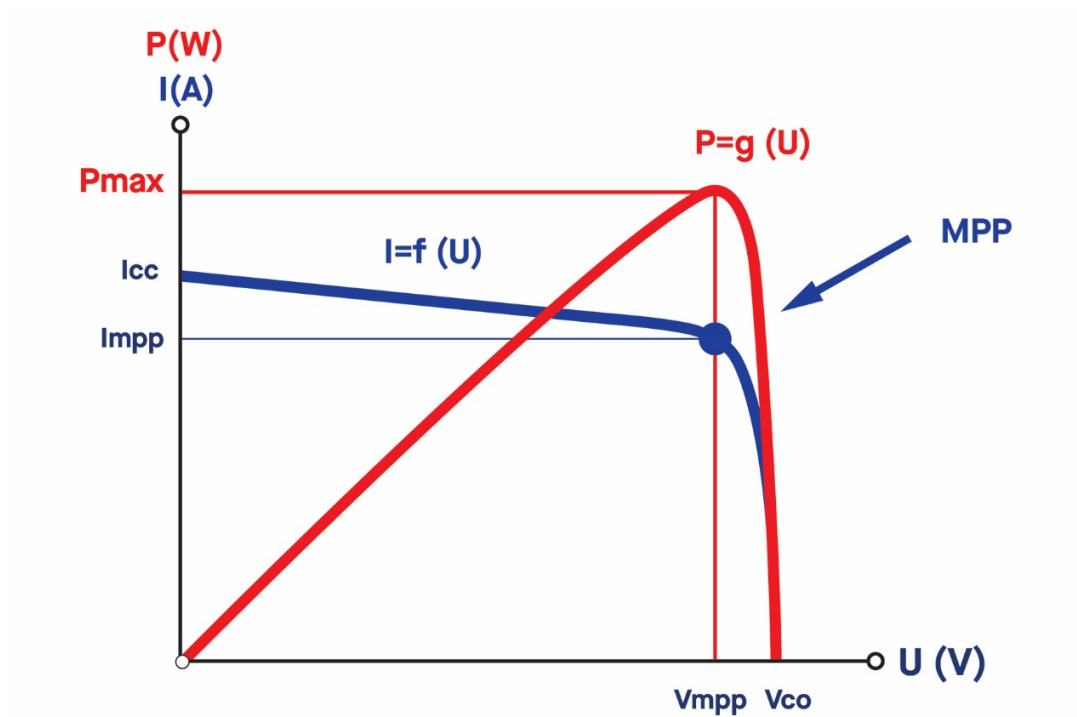


Figure 7 : Point de puissance maximale

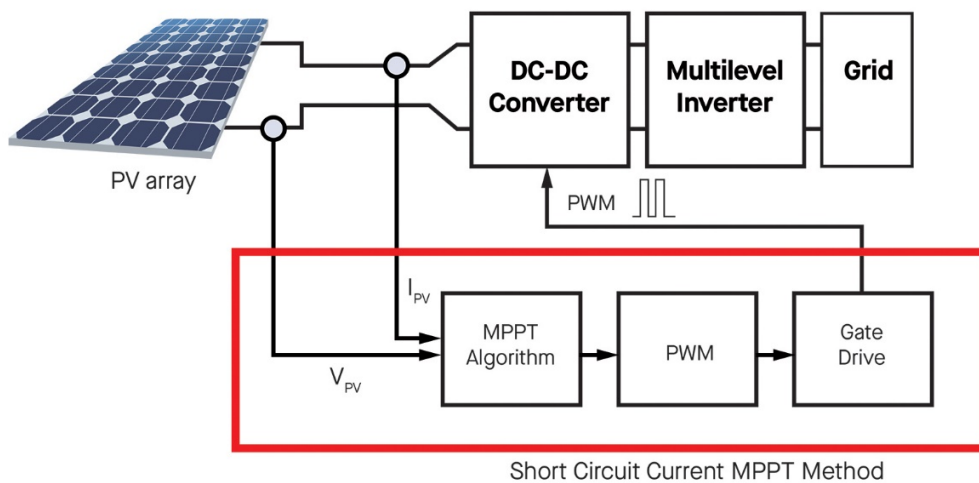


Figure 8 : Architecture du système MPPT

Plus la précision est grande et le bruit faible, meilleures seront les performances du système MPPT. Grâce à l'ASIC à la pointe de la technologie de LEM, le HMSR offre un signal ultra précis doté d'un très faible bruit, qui permet au système de fonctionner à son niveau optimal.

De plus, la surveillance du courant de branche (string) permet de comparer plusieurs branches et de détecter des problèmes tels qu'un câblage défectueux, de la saleté sur les panneaux et l'ombre projetée par des arbres devenus grands. L'excellente précision du HMSR permettra donc de comparer différentes branches (string).

De plus, le convertisseur DC/DC faisant partie du système MPPT utilise une régulation haute fréquence (environ 80 kHz), créant de forts dV/dt , nuisibles pour les composants électroniques. Grâce à sa conception robuste, le HMSR offre une résistance significative à ce type d'environnement perturbé.

Cette immunité peut facilement être vérifiée en appliquant un échelon de tension avec une forte variation en peu de temps (fort dV/dt) à travers le capteur et en observant la réaction en sortie.

Les graphiques suivants (fig. 9) montrent le faible niveau de perturbation créé en appliquant la perturbation en dV/dt à travers le capteur. Le taux d'erreur généré est seulement de 3 % de la pleine échelle avec un temps de récupération de 3,8 μs .

Capteur HMSR 20-SMS testé avec une tension impulsionnelle de +/- 1000 V à 20 kV/ μs :

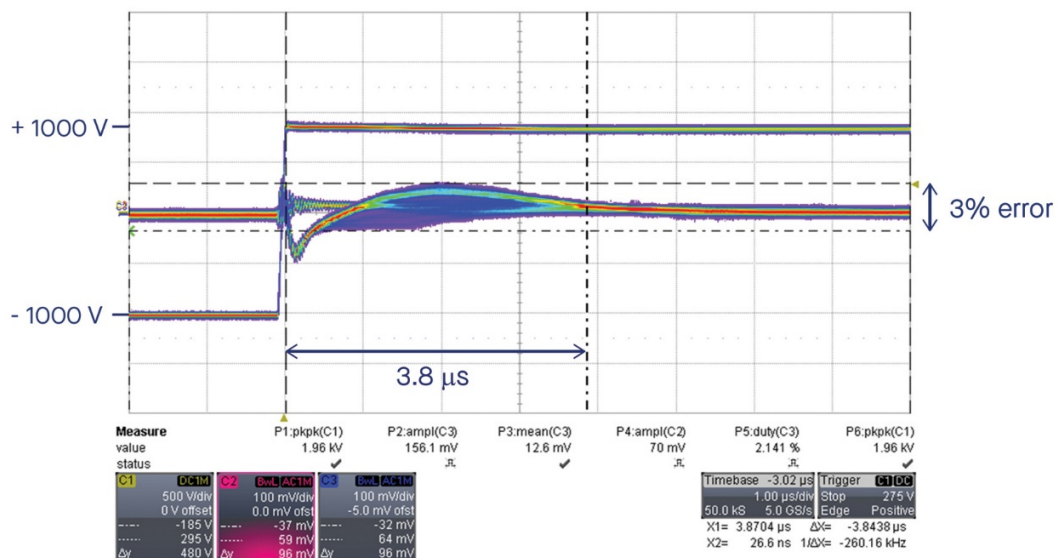


Figure 9 : Erreur générée à la sortie du HMSR après application de la perturbation en dV/dt

Les deux modules OCD intégrés au HMSR protégeront également les transistors sur l'onduleur contre les courts-circuits et les surcharges. Ce type de détection et de protection constitue une caractéristique clé pour de nombreuses applications comme les équipements HVAC (air conditionné) sur le bus DC ou les applications de variateurs de vitesse pour moteur. Les variateurs de vitesse modernes à fréquence variable pour moteurs intègrent un algorithme de surcharge du moteur ; la fonction OCD sur le HMSR facilite encore plus la détection, et permet d'éviter la surchauffe de l'équipement. Grâce à la présence de deux modules OCD distincts, il est possible de surveiller séparément les événements de surcharge et de court-circuit.

Bien entendu, les exigences d'isolation peuvent poser problème si l'on opte pour des boîtiers CI, au moment de choisir un capteur de courant. Par exemple, dans le secteur du solaire, les centrales de production d'énergie sont souvent utilisées avec des tensions DC plus élevées, jusqu'à 1500 V, afin d'augmenter le rapport de puissance DC/AC. Les besoins en isolation sont donc beaucoup plus importants pour un convertisseur de courant.

La longue distance interne entre les côtés primaire et secondaire permet d'isoler le circuit primaire du reste du CI, offrant un très haut niveau d'isolation garanti à 4,95 kV_{eff} (tension de test d'isolation AC de 50 Hz, pendant 1 min). Ce niveau sera garanti pour la totalité des produits livrés qui sont testés pendant l'assemblage en production. L'empreinte spécifique du HMSR permet des distances de fuite et de contournement de 8 mm sur la carte.

Plus l'indice de résistance au cheminement (CTI, *Comparative Tracking Index*) est élevé, plus la distance de contournement minimale nécessaire est faible et, avec un CTI supérieur à 600, selon la norme CEI 62109-1 (*Safety of power converters for use in photovoltaic power systems*, Sécurité des convertisseurs de puissance utilisés dans les systèmes de puissance photovoltaïques), la tension de fonctionnement pour le HMSR atteint 1600 V, ce qui signifie qu'il convient parfaitement à de telles applications aussi contraignantes.

L'industrie du solaire impose une autre exigence essentielle : l'équipement doit être tolérant aux surcharges, jusqu'à 20 kA, pour offrir une protection efficace contre la foudre. En plaçant le HMSR directement sur les entrées de branche (string) qui sont exposées à la foudre, les composants bénéficieront d'une robustesse extrême contre de telles puissantes surcharges de courant. En effet, le HMSR a été conçu et testé pour ce niveau de surcharge, conformément au profil de test de surcharge normalisé 8/20 µs.

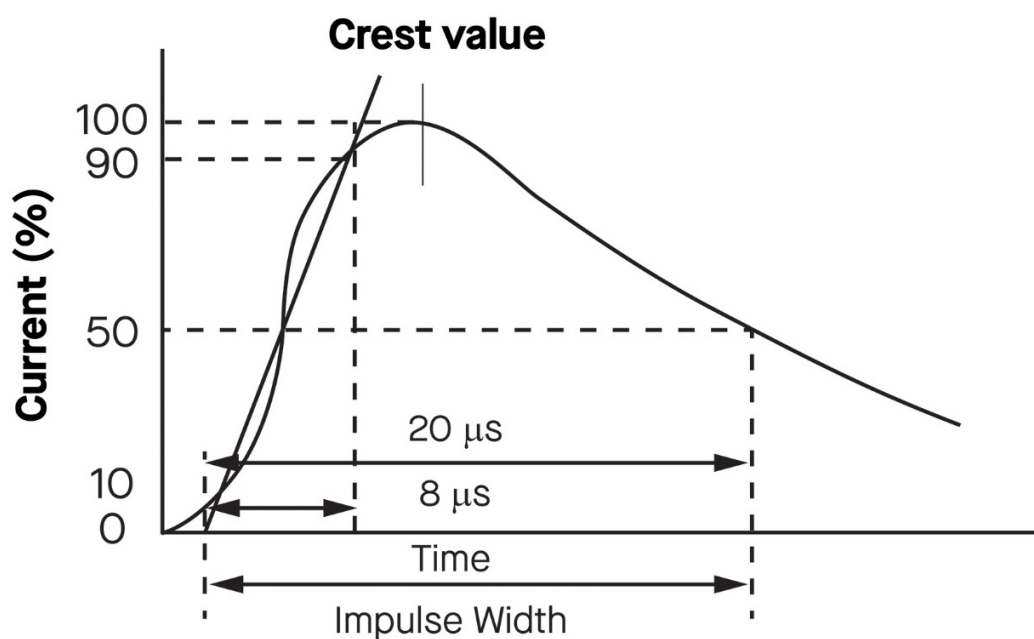


Figure 10 : Profil de surcharge de surintensité typique sur les applications solaires

LEM a également conçu une carte d'évaluation du HMSR, qui permet de réaliser des prototypes et de tester rapidement les performances incroyables de cette nouvelle génération de capteurs. Disponible comme échantillon sur simple demande, cette nouvelle ligne de produits sera produite en volume au début de l'année 2020.

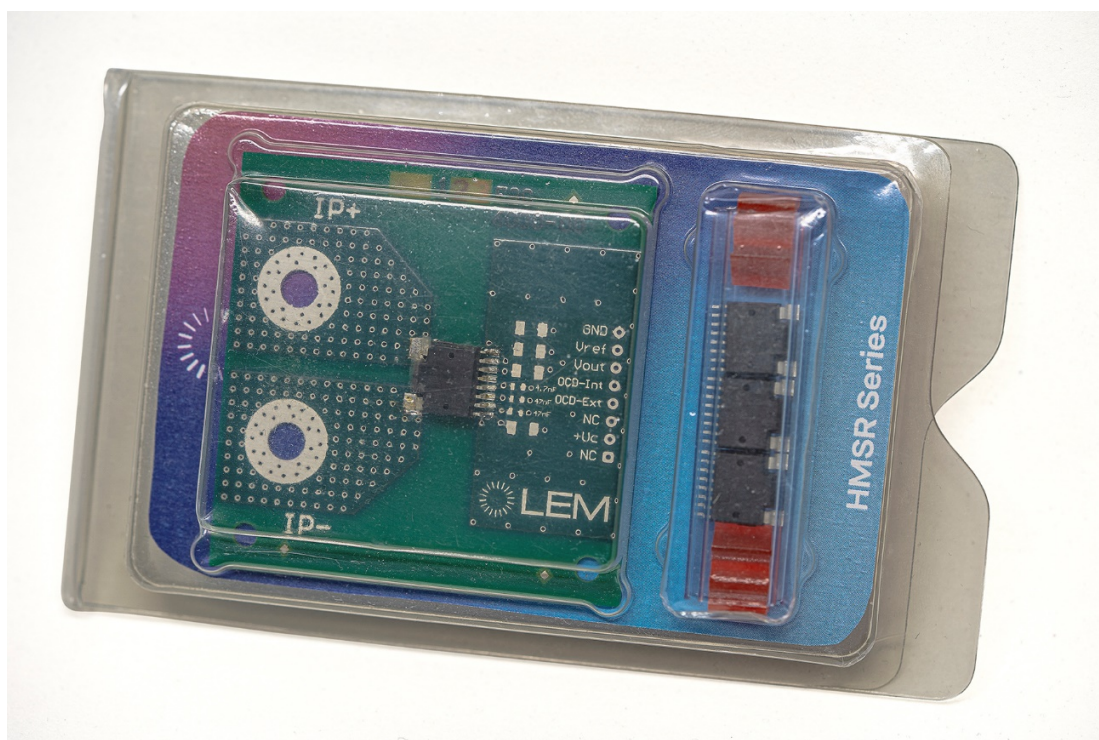


Figure 11 : Carte de démonstration HMSR disponible comme échantillon

Données techniques clé du HMSR

I_{PN}	6-3 A
I_{PM} (plage de mesure)	15-75 A
Test d'isolation AC (50 Hz, 1 min)	4,95 kV
Tension de tenue au choc	8 kV
dCp/dCl (mm)	8/8
Plage de température de fonctionnement	de -40 °C à +125 °C
Alimentation	5 V
Temps de réponse	2 μ S
Bande passante	>270 kHz
Détection des surintensités (OCD)	Oui (x2)