

Article

Mesure des décharges partielles sur les machines tournantes – expérience et innovation

Auteurs

Fabian Oettl, Michael Krueger, Omicron electronics GmbH, Klaus Wojciech Koltunowicz, Laurentiu-Viorel Badicu, Bogdan Gorgan, Omicron Energy Solutions GmbH, Berlin

Résumé

La mesure des décharges partielles (DP) est à l'heure actuelle une méthode largement reconnue d'évaluation en fonction de l'état de l'isolation des stators dans les machines tournantes. Cet article décrit les avantages liés à l'utilisation d'un système de mesure des décharges partielles entièrement numérique pour cette évaluation. Ce genre de système inclut des fonctionnalités matérielles et logicielles avancées pour un meilleur diagnostic de l'isolation à l'aide d'une analyse des DP. La sensibilité des mesures de DP peut être largement limitée par un niveau de perturbations élevé. Cet article explique comment atténuer ce facteur à l'aide de caractéristiques de pointe basées sur des techniques synchrones multicanal et multi-fréquence afin de séparer les signaux de perturbation des défauts de DP. Des exemples d'évaluation de données sont décrits, notamment l'utilisation de la reconnaissance automatisée des tracés de DP.

Mots-clés

Machines électriques tournantes, système d'isolation, décharges partielles, antibrouillage, reconnaissance des tracés

Introduction

Les machines électriques tournantes (moteurs et générateurs) comptent parmi les appareillages les plus essentiels d'un système d'alimentation électrique ou d'une installation de production industrielle fonctionnant correctement. Les temps d'arrêt imprévus dans la production de l'énergie électrique ou la défaillance d'un moteur sur une ligne de production peuvent s'avérer très coûteux. Une isolation de stator endommagée sur une machine est une cause fréquente de défauts dans de tels équipements. La mesure des décharges partielles, méthode ayant largement fait ses preuves, est un outil de diagnostic et de maintenance adapté permettant d'identifier l'état de l'isolation de manière fiable et rapide.

Cet article étudie ses avantages plus en détail. Une comparaison des mesures de DP en ligne et hors ligne est proposée, ainsi que les raisons pour lesquelles de telles mesures s'avèrent aussi utiles sur les machines électriques tournantes. Nous allons également examiner comment les systèmes de mesure de DP numériques assistés par ordinateur aident les utilisateurs dans leur travail. Cela va de la séparation des différentes sources de DP dans la machine à l'interprétation automatique des phénomènes.

Mesure des décharges partielles

La mesure de DP des enroulements dans les machines électriques tournantes est une méthode non destructive et non invasive permettant d'identifier les zones de décharges individuelles dans leur système d'isolation. Dans l'isolation en mica et résine époxy utilisée dans les machines moyenne tension, de telles zones peuvent résulter notamment de décharges internes, de la délamination des couches d'isolation, de l'érosion mécanique résultant des vibrations ou de l'abrasion des revêtements. Les méthodes ci-dessus diffèrent d'autres méthodes, comme la mesure de la résistance d'isolement ou les mesures du facteur de dissipation, car elles offrent une image complète de l'état de l'isolation de tout l'enroulement, des phases individuelles ou des courroies de phase, indépendamment de l'étendue de séparation de l'enroulement.

Comme les deux autres méthodes, les résultats d'une mesure de DP doivent être interprétés une fois la mesure réalisée. Les appareils de mesure modernes proposent des méthodes d'enregistrement très distinguées, comme les fichiers de flux, qui permettent de relire la mesure sous forme de film sur un ordinateur, aussi souvent que nécessaire.

La physique qui sous-tend les décharges partielles est un sujet complet, dont la description complète dépasse la portée de cet article. Néanmoins, il sera utile de fournir la brève description suivante :

Selon la norme CEI 60270, une décharge partielle est définie comme le claquage diélectrique de l'isolation d'un équipement haute tension résultant d'une augmentation localisée dans le champ causée par une contamination ou des zones de décharge dans le milieu isolant. L'impulsion électromagnétique qui en résulte peut être mesurée afin de fournir une indication de l'état de l'isolation.

La mesure des décharges partielles permet d'identifier les défauts de fabrication et le vieillissement de l'isolation des machines électriques, afin de détecter à temps les causes potentielles de pannes des machines. Les activités de maintenance qui s'ensuivent peuvent alors être planifiées afin de faciliter le déploiement ciblé de ressources souvent rares.

Ce que l'on appelle l'empreinte PRPD est devenu le mode d'interprétation le plus fiable de la mesure de DP. PRPD signifie **Phase Resolved Partial Discharge** (décharge partielle à résolution de phase). Cette approche met en corrélation les impulsions de DP individuelles en termes de fréquence, d'amplitude, de polarité et de déphasage par rapport au signal haute tension. Son avantage réside dans la correspondance des tracés types avec le type de défaut dans l'enroulement. Cela permet non seulement d'identifier le type de défaut, mais également de classer le risque conformément aux normes internationales. Un exemple est illustré à la Figure 1, où le tracé à résolution de phase est mis en corrélation avec les défauts connus correspondants.

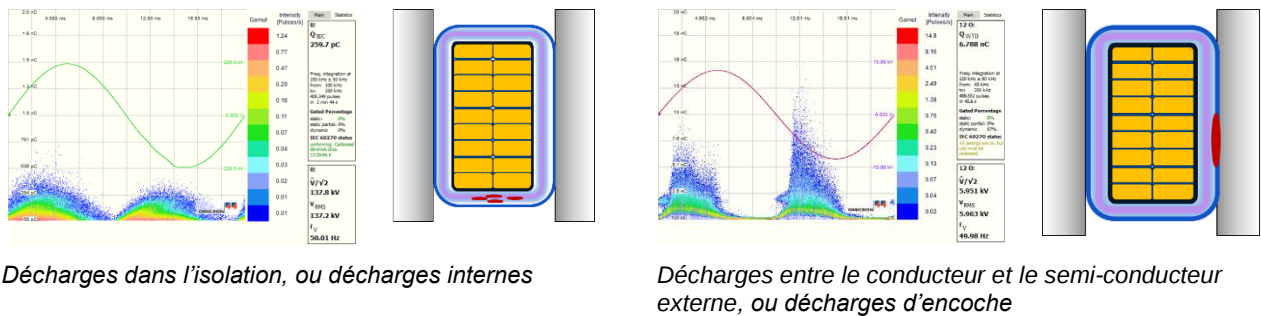


Figure 1 : Tracé de décharges partielles à résolution de phase avec défauts associés

Outre les tracés à résolution de phase de la mesure individuelle, l'interprétation des résultats à partir de plusieurs mesures consécutives fournit la preuve la plus fiable concernant l'état de l'isolation d'une machine. Toute modification du tracé des résultats à résolution de phase, ou une augmentation rapide de l'amplitude, est un signe certain que d'autres actions sont nécessaires. Cela nécessite de prendre des mesures de DP à intervalles réguliers à l'aide d'une source haute tension externe (ci-après appelée mesure de DP hors ligne), ou des mesures continues sur la machine, sans source externe, pendant son fonctionnement (mesure de DP en ligne). Les deux méthodes présentent des avantages et des inconvénients, qui seront étudiés plus en détail dans cet article.

Des efforts sont souvent entrepris pour définir des valeurs limites pour les décharges partielles et évaluer l'état de l'isolation simplement en notant l'amplitude des DP. Cela représente une tentative malheureuse pour résoudre des processus complexes au moyen d'un critère de réponses positives/négatives. À de très rares occasions seulement, une simple mesure peut déclencher un besoin d'action immédiat.

La mesure de DP est un outil de maintenance approprié pour identifier l'état de l'isolation des machines électriques tournantes et, sur cette base, aide l'équipe technique à déterminer les mesures de maintenance à adopter dans tout le parc de machines.

Réponse de propagation de l'impulsion de DP dans l'enroulement

Comme une mesure directe des impulsions de décharges partielles sur la zone de décharge n'est pas possible dans les systèmes d'isolation complexes, tels que générateurs et moteurs, la charge apparente, qui peut être mesurée sur les bornes, est utilisée à la place pour interpréter les résultats des mesures de DP.

Pour interpréter correctement les résultats d'une mesure de DP sur l'enroulement statorique, l'ingénieur d'essai doit savoir que la courte impulsion de DP, unipolaire, est transformée lors de la traversée des bornes du générateur par atténuation, réflexion, dispersion et effet de couplage électromagnétique en un signal oscillant plus ou moins étendu. Selon les paramètres de filtre de l'appareil de mesure, les valeurs d'amplitude de la charge peuvent être étroitement liées à la source de la charge. C'est pourquoi la mesure comparative discutée ci-dessus doit toujours être réalisée à l'aide des mêmes paramètres. Pour démontrer ce point, plusieurs orifices ont été percés dans l'enroulement statorique d'un générateur hydraulique mis hors service d'une puissance nominale de 5,6 MVA. L'objectif était ici d'induire dans l'enroulement une impulsion de décharge partielle artificielle d'une amplitude connue et de mesurer l'impulsion sur la borne à l'aide de divers paramètres de filtre.

La Figure 2 illustre le montage expérimental. Diverses impulsions d'une charge définie de 10 nC ont été injectées le long de l'enroulement. La mesure a été prise au niveau des bornes du câble à l'aide d'un condensateur de couplage C_c et d'une impédance de mesure.

Le résultat donne une « matrice d'atténuation » (Figure 3), qui illustre la charge apparente sur les bornes comme une fonction du point d'injection de la zone de décharge artificielle. Consultez (F. Öttl, 2016) pour une description plus détaillée de l'expérience et de ses résultats.

La Figure 2 illustre le montage expérimental. Diverses impulsions d'une charge définie de 10 nC ont été injectées le long de l'enroulement. La mesure a été prise au niveau des bornes du câble à l'aide d'un condensateur de couplage C_c et d'une impédance de mesure.

Le résultat donne une « matrice d'atténuation » (Figure 3), qui illustre la charge apparente sur les bornes comme une fonction du point d'injection de la zone de décharge artificielle.

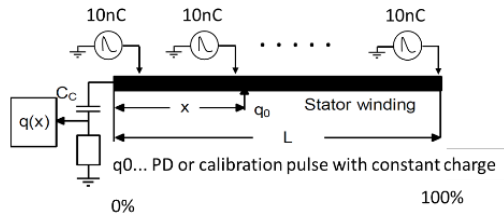


Figure 2 : Schéma de circuit équivalent de l'injection le long de l'enroulement

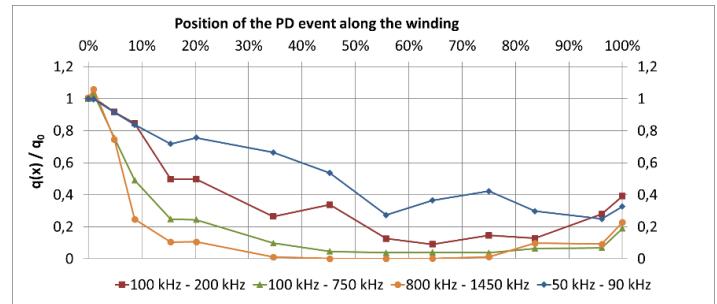


Figure 3 : Matrice d'atténuation. Résultat de mesure sur le câble en injectant 10 nC le long de l'enroulement, enregistré à diverses fréquences de filtre.

Le résultat de ces mesures sélectives en fréquence confirme le fait bien connu qu'une mesure fiable de la charge apparente sur des générateurs n'est possible que lorsque la bande passante du filtre est défini à une bande de fréquence intermédiaire basse.

L'avantage de la mesure sélective en fréquence est clairement visible à la Figure 3. En fonction de la fréquence du filtre, les différents emplacements d'injection sont plus ou moins prononcés. Cette fonction est utilisée par les systèmes de mesure de DP modernes pour séparer les sources.

Quasi-intégration et détecteur de crête

Comme nous l'avons déjà dit, la mesure de DP détermine la charge apparente. Les résultats de la mesure sont indiqués en coulomb. Dans le système anglo-américain, les valeurs sont généralement exprimées en mV. L'une des questions fréquemment posées concerne la possibilité de comparer les deux méthodes de mesure. Pour répondre brièvement : les valeurs en nC et en mV ne sont pas comparables entre elles.

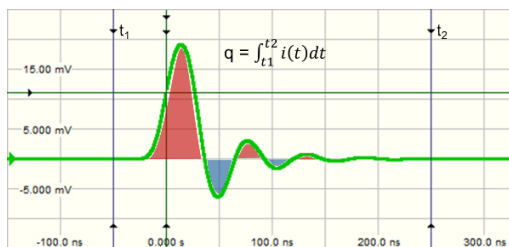


Figure 4 : Intégration de la charge apparente dans le domaine temporelle

En résumé, le calcul de la charge apparente peut être considéré comme une intégration de la zone entourée par l'impulsion de DP (figure 4). Cette explication n'est pas entièrement vraie, car les composantes continues du signal ne peuvent traverser le condensateur de couplage. Pour de plus amples explications, le modèle suffit. Cette méthode présente deux principaux avantages :

- Tout d'abord, la zone est proportionnelle à l'énergie produite au niveau de la zone de décharge et donc à la taille de cette dernière.

- Ensuite, d'autres défauts, dont la source réside à distance des bornes, peuvent être détectés avec une certaine précision (Figure 3) car, si le filtre approprié est sélectionné, les composants de fréquence « lents » de l'impulsion peuvent être mesurés.

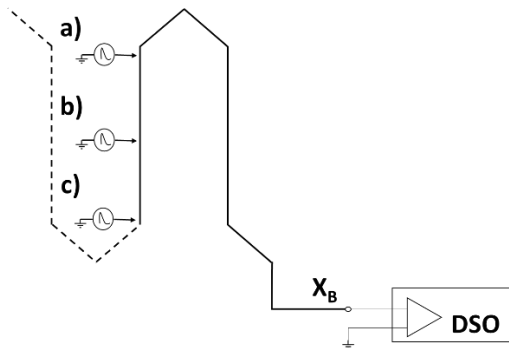
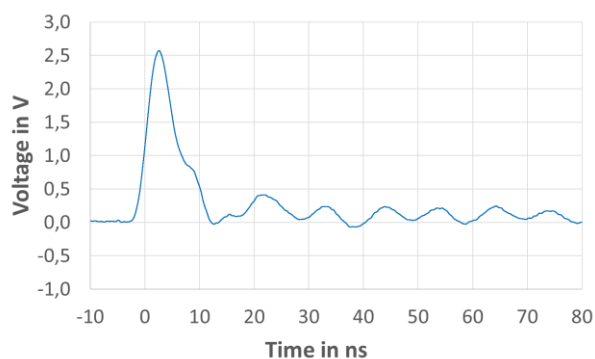
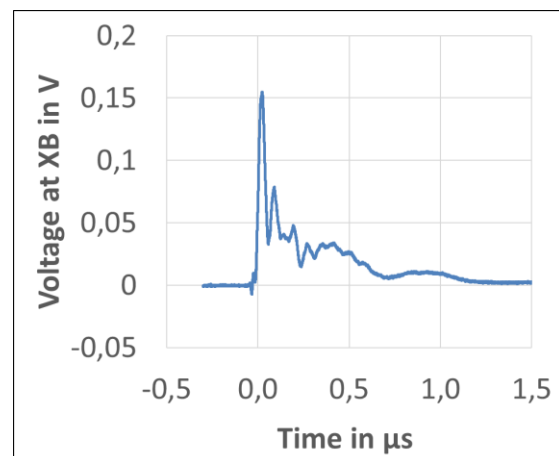


Figure 5 : Schéma de l'enroulement illustrant les points d'injection et l'oscilloscope numérique sur le point de mesure

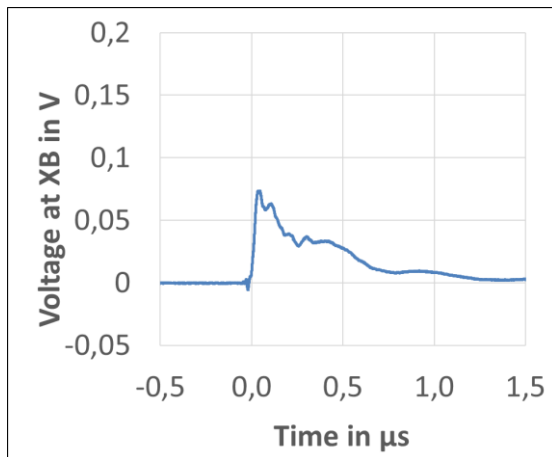
Le détecteur de crête, d'autre part, mesure la crête la plus élevée du signal temporel en mV et, par conséquent, exige un filtre de bande très large. Les composants haute vitesse du signal dominant, mais sont très largement atténués après quelques sections d'enroulement. Ce point est illustré à la Figure 6 à l'aide d'une mesure pratique sur un enroulement statorique d'un générateur hydraulique mis hors service, d'une puissance nominale de 102 MVA. L'enroulement est accessible sur sa portion droite et une impulsion a été injectée en trois points près de la borne où la mesure est prise avec un oscilloscope numérique. Une comparaison des signaux à la Figure 6 indique un « étirement » des signaux qui, après avoir circulé à travers une seule barre inférieure et les sections d'une barre supérieure, montrent déjà des temps de montée/descente plus longs que la courte impulsion d'étalonnage. L'amplitude chute de 2,5 V à 155 mV (!) après une seule barre Roebel. Une mesure des signaux injectés au niveau des points b) et c) montre une réduction supplémentaire à 75 mV et 60 mV.



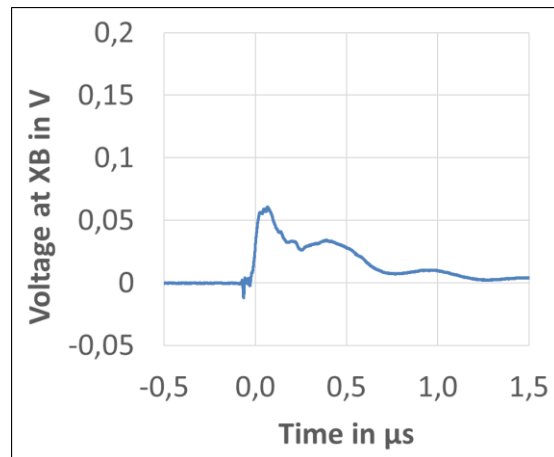
Impulsion d'injection



Mesure sur la borne X_B lors d'une injection au niveau de a)



Mesure sur la borne X_B lors d'une injection au niveau de b)



Mesure sur la borne X_B lors d'une injection au niveau de c)

Figure 6 : Injection de l'impulsion à trois emplacements différents le long de la barre supérieure dans l'encoche 2 (2nde barre après la connexion en étoile) comme illustré à la figure 4. Attention : tenez compte des différentes échelles utilisées pour les signaux d'injection.

Comme nous l'avons déjà indiqué, les effets de l'atténuation, la réflexion, la dispersion et le couplage électromagnétique provoquent l'étirement des signaux, qui sont injectés à des distances d'à peine 3 et 5 m de la borne.

Mesure des décharges partielles en ligne ou hors ligne

Si la mesure de mV ci-dessus est répétée en mesurant la charge apparente aux mêmes emplacements d'injection, les 10 nC injectés seront détectés à 9 - 9,5 nC au niveau des bornes. Cela dépend clairement des paramètres de filtre dans la Figure 3, mais s'applique à chaque bande passante de filtre « basse fréquence ».

Nous avons déjà vu qu'il existait deux méthodes possibles de mesure des décharges partielles : les mesures hors ligne, où la machine est déconnectée et la tension de test provient d'une source externe, et les mesures en ligne, où la machine continue de fonctionner et des mesures sporadiques ou continues sont effectuées à l'aide de condensateurs de couplage préinstallés (Figure 7).



Figure 7 : Mesure en ligne avec condensateurs de couplage installés

En cas de mesure en ligne, les données peuvent être générées à différents points de fonctionnement et dans des conditions de charge ou de température variables sans devoir arrêter la machine. Les mesures sont, par conséquent, réalisées dans des conditions réelles de fonctionnement (Badicu, 2016). Cet avantage est cependant affecté par le risque plus élevé de présence d'interférences externes. Cela ne provient pas du système d'isolation de la machine, et ne doit donc pas être inclus dans le diagnostic. Pour prévenir ce problème et garantir une distance adaptée entre le signal utile et le signal indésirable, des fréquences de filtre supérieures devront normalement être utilisées. Comme décrit précédemment, les composantes haute fréquence mesurées sont atténuées très rapidement entre leur source et l'emplacement de la mesure, ce qui signifie que seules des parties de l'enroulement peuvent être correctement diagnostiquées. Grâce à la compensation, la répartition de tension de l'enroulement vers la connexion en étoile diminue lorsque la machine est en fonctionnement.

Les mesures hors ligne diffèrent dans ce que tout l'enroulement est élevé au même potentiel haute tension de sorte que toute zone de décharge n'apparaissant pas pendant le fonctionnement sera visible dans le tracé à résolution de phase, ce qui augmente largement les possibilités de détection rapide. Autre avantage : le niveau de perturbations généralement très faible permet d'utiliser des fréquences de filtre nettement inférieures. Cela permet de mesurer des impulsions lentes, et de détecter les décharges partielles le long de presque tout l'enroulement. Les mesures hors ligne permettent également d'étalonner le montage de test. Ces avantages sont contrebalancés par le fait que la mesure est plus onéreuse et chronophage, car la machine doit être déconnectée et une source externe installée (Figure 8). D'autre part, ce type de mesure est généralement réalisé pendant l'entretien.

Autre inconvénient des mesures hors ligne, l'influence de l'humidité doit être prise en compte. Cela peut grandement influencer les décharges externes telles que décharges d'encoche et/ou de surface.

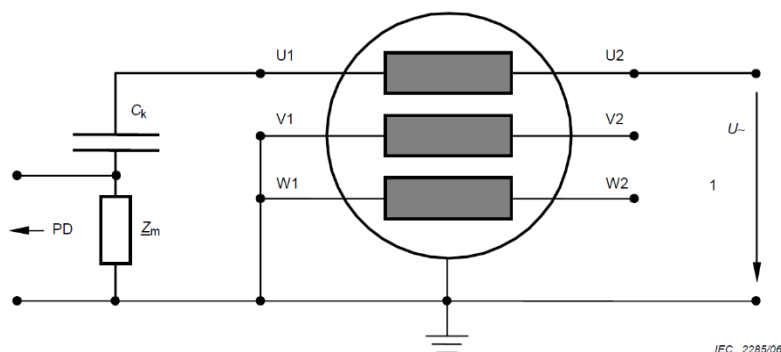


Figure 8 : Circuit électrique équivalent de la mesure hors ligne d'un canal sur la phase U.

Comme les deux types de mesure présentent des avantages et des inconvénients et offrent différentes possibilités de diagnostic, les mesures hors ligne et en ligne peuvent être considérées comme des façons complémentaires de déterminer l'état de l'isolation.

Séparation des phénomènes de décharges partielles

Quiconque a effectué une mesure de DP sur un moteur ou générateur ne sait que trop bien que les résultats découlent normalement d'au moins deux sources de DP. Pour faire une évaluation fiable du risque découlant des phénomènes individuels, il est donc important de séparer ces sources de DP individuelles. L'ingénieur d'essai est généralement confronté à trois difficultés :

- 1) Interférences externes
- 2) Superposition de divers phénomènes de DP
- 3) Couplage transversal provenant des phases environnantes (mesure en ligne)

Pour réduire au maximum les interférences des signaux, ces derniers peuvent être numérisés au niveau du point d'acquisition. La transmission longue distance des signaux analogiques ne se fait plus, ce qui rend la mesure aussi robuste et fiable que possible. Les systèmes de mesure sélective en fréquence permettent également de choisir différents paramètres de filtre et même d'effectuer des mesures à des fréquences plus élevées où les niveaux d'interférence sont moins importants. Ceci doit être réalisé avec le plus grand soin, néanmoins, car la sensibilité de la mesure est fortement affectée par ce paramètre (figure 3).

Les éléments 2) et 3) ci-dessus doivent être pris en compte ensemble. Il peut s'avérer très compliqué de différencier les divers phénomènes dans un seul tracé à résolution de phase. Outre l'expérience, l'insertion des sources de DP individuelles à divers intervalles de tension dans une mesure hors ligne peut, par exemple, aider à l'interprétation. Si la seconde option n'est pas possible, ou en présence de niveaux d'interférence élevés pendant la mesure en ligne, des systèmes de mesure multicanal synchrone sélective en fréquence offrent des outils logiciels qui facilitent l'élaboration de conclusions justifiables. En voici des exemples :

- 3PAR (3 Phase Amplitude Ratio Diagram)
- 3CFRD (3 Center Frequency Ratio Diagram)

3PAR

Une représentation schématique du fonctionnement du diagramme 3PAR est disponible à la figure 9. Trois canaux synchrones – dans ce cas les phases L1, L2 et L3 – détectent la même impulsion de décharge partielle à diverses amplitudes au sein d'une fenêtre temporelle définie par l'utilisateur. En supposant que le phénomène se produit en L1, c'est là que l'intensité sera la plus élevée. Les deux autres canaux mesurent également l'impulsion grâce à un couplage transversal dans l'enroulement. L'amplitude est alors transformée en vecteur qui, agrégé graphiquement, donne un point dans le diagramme en étoile 3PAR. Si la source de DP survient régulièrement, les différents points forment un nuage, également appelé « groupe ». Des sources de DP différentes forment divers groupes dans le diagramme. Ces groupes peuvent ensuite être séparés et retransformés en tracé à résolution de phase pour analyse ultérieure.

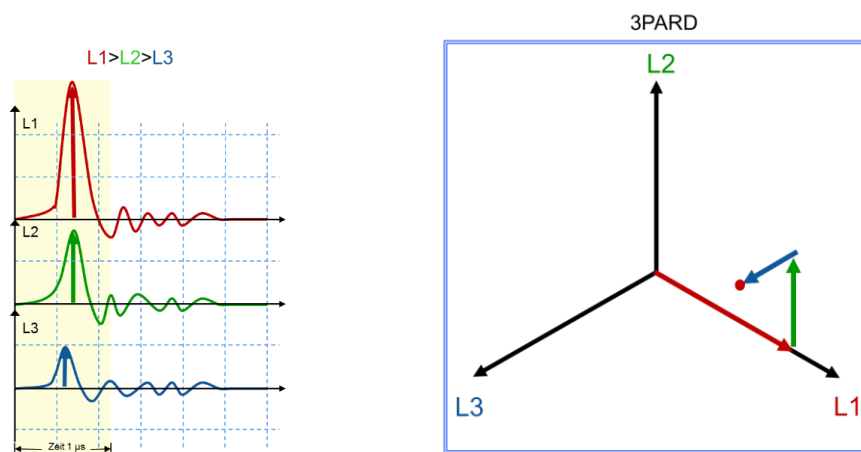


Figure 9 : Fonctionnement du diagramme 3PAR – À gauche : l'impulsion est détectée à diverses amplitudes dans les trois canaux. À droite : agrégation graphique des vecteurs dans un diagramme 3PAR.

L'exemple pratique de la figure 10 aide à clarifier les choses. Les trois canaux synchrones individuels et leurs tracés de DP à résolution de phase sont illustrés sur la gauche. Comme il s'agit d'une mesure en ligne, la phase de chacun est décalée de 120°. L'amplitude de la charge des tracés à résolution de phase individuels est la valeur instantanée en coulomb. La présence de nombreuses sources de DP, dont certaines se chevauchent, est clairement visible. La vue 3PAR est représentée sur la figure de droite.

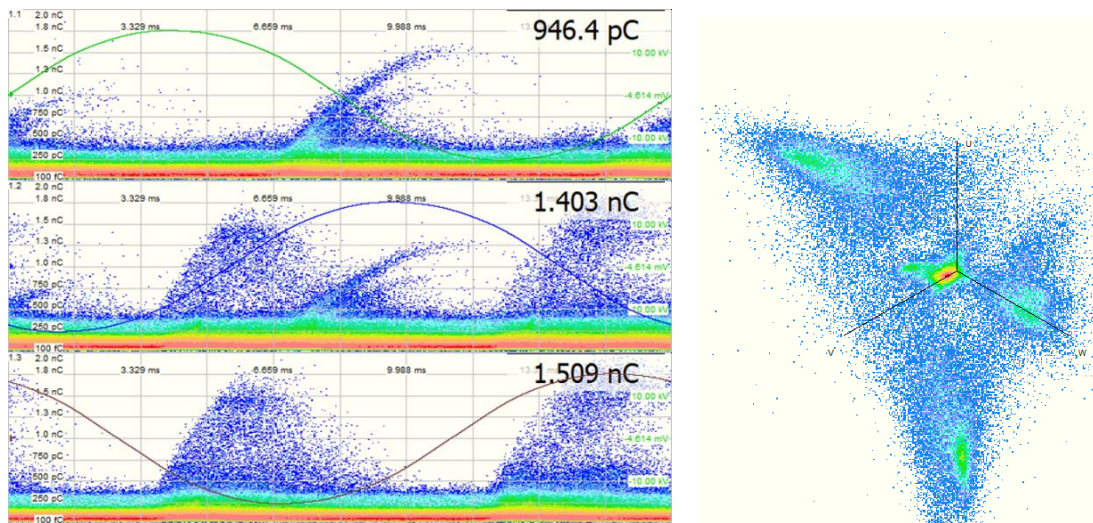


Figure 10 : 3PARD, exemple pratique avec mesure de sortie et vue 3PARD.

Les quatre groupes de cette vue peuvent maintenant être identifiés et retransformés en tracés de DP à résolution de phase. La figure 11 explique la procédure. Le phénomène individuel peut ensuite être identifié et une évaluation des risques réalisée. Avec un peu d'expérience, la délamination dans le groupe 2 et les décharges des têtes d'enroulement entre les phases V et W seront également apparentes par rapport à la mesure d'origine. Cependant, la décharge interne dans le groupe 4 n'est pas visible dans la mesure d'origine, car elle est complètement masquée par les perturbations identifiées par le groupe 1.

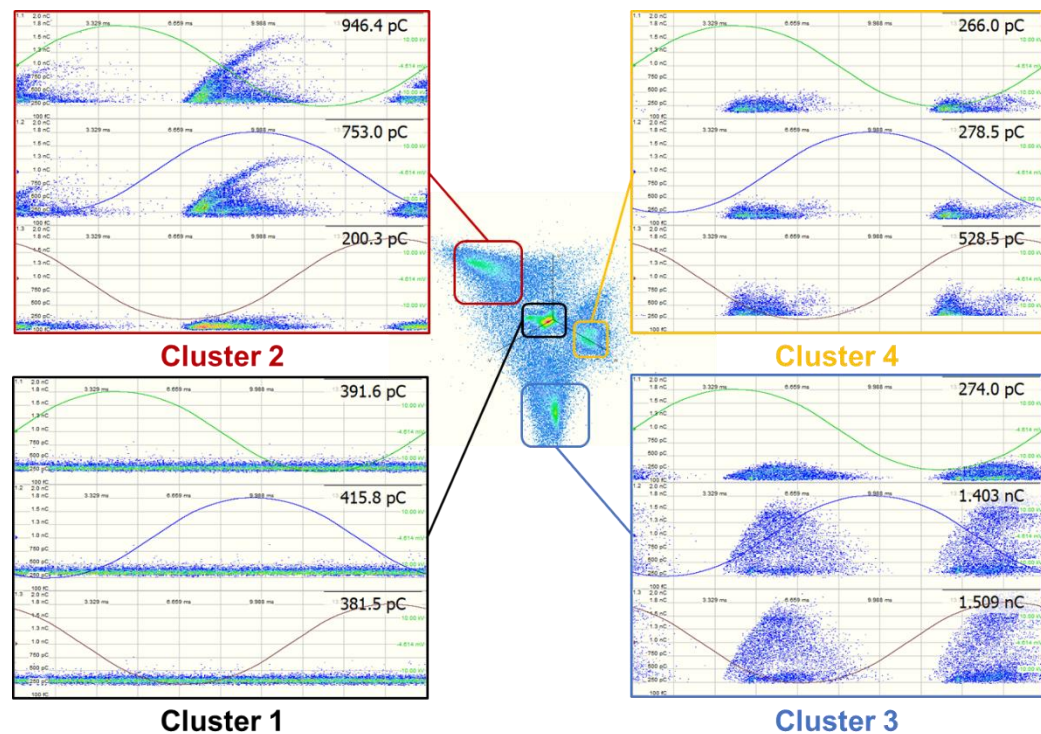


Figure 11 : Séparation des sources de DP à la figure 10

3CFRD

La méthode 3CFRD sépare les sources de DP de la même façon et est principalement utilisée dans des situations où les mesures à l'aide des trois canaux sont impossibles, ou lorsqu'un critère de décision supplémentaire (autre que 3FREQ) est nécessaire. Cette méthode mesure les impulsions de DP simultanément à l'aide de trois bandes passantes de filtre différentes. En fonction du mécanisme de création, de la propagation du signal et de l'atténuation, différentes sources de DP présentent également différentes amplitudes dans les paramètres de filtre respectifs (figure 12).

Celles-ci sont ensuite entrées dans le diagramme en étoile décrit ci-dessus et, après une agrégation graphique, forment des groupes pour les divers phénomènes de DP.

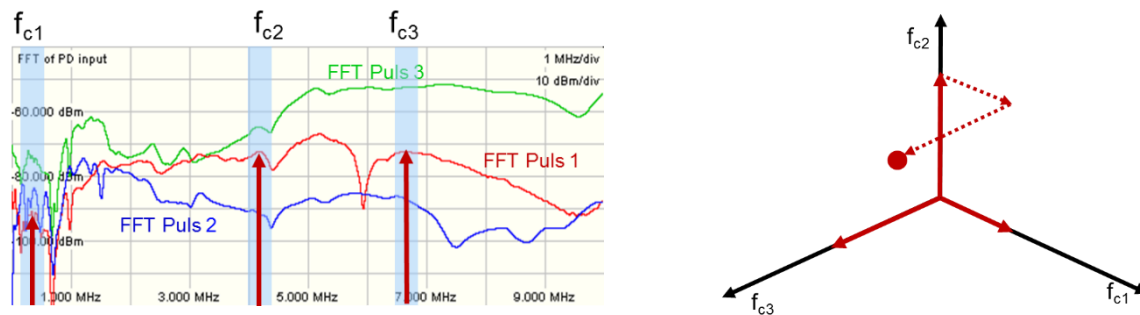


Figure 12 : Principe 3CFRD – Une fois agrégée graphiquement dans le diagramme de droite, qui montre l'impulsion de DP rouge, chacune des trois sources de DP du diagramme de gauche forme différents groupes.

Reconnaissance automatique des groupes

Il existe des outils logiciels qui aident à séparer les groupes décrits précédemment. La séparation automatique est une condition préalable à l'étape suivante afin d'aider le plus possible pendant l'évaluation. Comme décrit précédemment, on suppose que chaque groupe représente une source de DP. Les différents défauts génèrent des décharges partielles dont les tracés à résolution de phase sont depuis longtemps connus. Après la présentation de la séparation automatique des sources de DP, ces tracés peuvent être interprétés automatiquement à l'aide du logiciel.

Néanmoins, le résultat de cette interprétation assistée par ordinateur dépend de certains paramètres système, dont l'un des plus significatifs est le temps de mesure, qui doit être suffisamment long pour générer assez de tracés PRPD clairs. En partant de ce principe, la procédure peut être séparée en cinq étapes :

1. Création du diagramme 3PARD avec les groupes séparés
2. Différentiation de la source de DP dans la machine et des autres signaux
3. Classification – évaluation basée sur les connaissances
4. Classification – reconnaissance des tracés
5. Création de rapports

L'identification des groupes est réalisée à l'aide d'OPTICS (**O**rdering **P**oints **T**o **I**dentify the **C**lustering **S**tructure), un algorithme basé sur la densité permettant d'identifier les groupes. Seuls les groupes présentant une densité de point suffisante sont inclus. Les points ou groupes individuels qui ne sont pas assez denses passeront à travers les mailles du filet en raison de leur manque de points de données.

L'identification ultérieure des signaux indésirables et la capacité à les distinguer des signaux utiles du système d'isolation de la machine éliminent tous les points de données non pertinents pour l'interprétation. Le logiciel peut identifier différents phénomènes de perturbations, notamment les signaux asynchrones, tels que le « bruit de fond » fréquent dans les tracés PRPD, ou les interférences synchrones, telles que les impulsions du système d'excitation.

Une fois tous les groupes inutiles supprimés de la mesure, le logiciel se concentre sur l'interprétation de ceux qu'il reste. La première passe vérifie les attributs de chaque groupe, comme ceux énumérés dans le tableau 1.

Tableau 1 : Exemples d'attributs utilisés pour classer les décharges partielles

Nom de l'attribut	Propriété de l'attribut
Variation impulsion-charge sur l'alternance positive	Large
Symétrie impulsion-charge sur l'alternance positive	Symétrique
Comportement impulsion-charge sur l'alternance positive	Pointe
Rapport de polarité	Polarité identique
Symétrie impulsion-phase sur l'alternance positive	Côté droit biaisé
Régularité phase-charge sur l'alternance positive	Non plat
Symétrie phase-charge sur l'alternance positive	Côté droit biaisé

Le logiciel exécute un certain nombre d'itérations le long d'une arborescence. Si l'un des attributs est détecté, le critère suivant est alors examiné. L'arborescence fournit une procédure déterministe pour identifier les instances uniques et claires. Si aucune n'est trouvée, le logiciel effectue un nouveau tri d'identification de tracé.

Les tracés examinés sont comparés à des tracés de référence stockés dans une base de données. La similarité entre un phénomène mesuré et un tracé existant est déterminée à l'aide d'un algorithme de distance euclidien,

$$d(x, y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}$$

dans lequel la distance x_i représente le vecteur de propriété du tracé PRPD actuel et y_i le vecteur de propriété du tracé de référence. L'index i est un paramètre substituable pour les différentes propriétés. Si la distance est proche de zéro, on peut supposer que le phénomène mesuré correspond à la référence et que le type de défaut a été identifié.

Un rapport détaillé énumérant les divers types de sources de DP est généré à la fin de chaque session d'identification automatique.

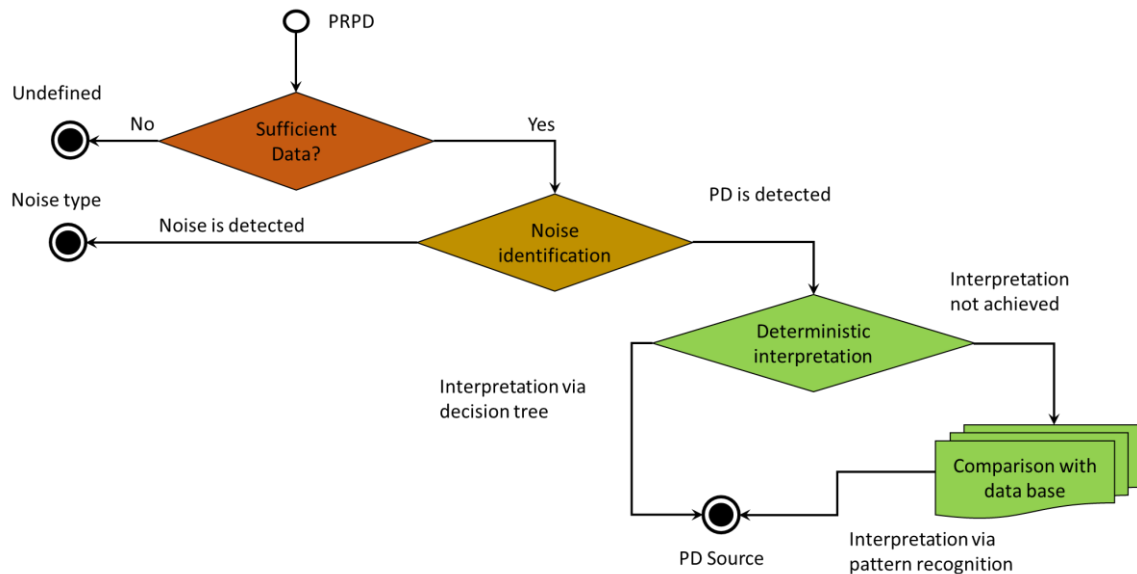


Figure 13 : Vue d'ensemble du processus utilisé pendant l'interprétation automatique.

Nous allons utiliser un autre exemple pratique pour illustrer le processus de décision décrit. Celui-ci utilise un système de surveillance pour un rotor de turbo-générateur de 1 160 MVA d'une tension nominale de 27 kV, installé en 2012. Les données historiques sont identifiées et évaluées à l'aide de la reconnaissance des tracés. Le groupe analysé est mis en évidence en rouge dans la figure 14.

Le groupe analysé a été identifié en tant que tel par le programme qui a déterminé qu'il présentait suffisamment de points de données. Une classification sur la base des attributs a démontré qu'il existait un cas limite entre deux phénomènes. Pour chacune des trois mesures, le système a refait un tri pour effectuer une comparaison avec l'un des phénomènes stockés dans la base de données.

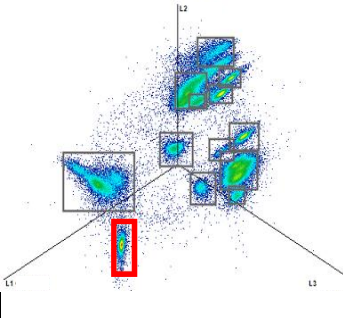
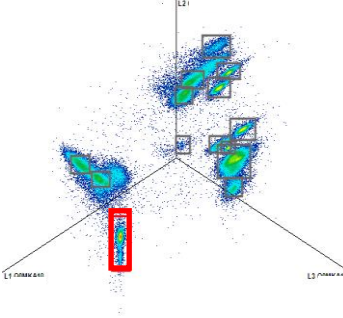
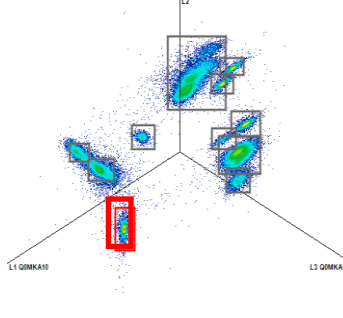
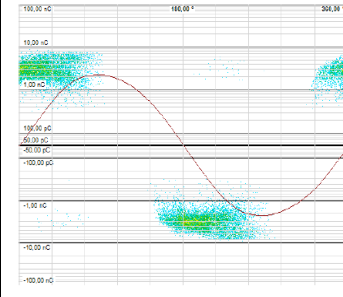
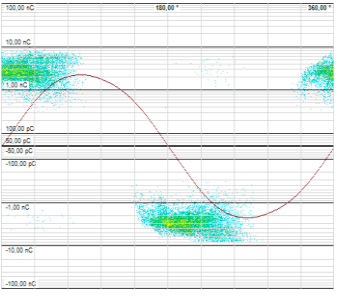
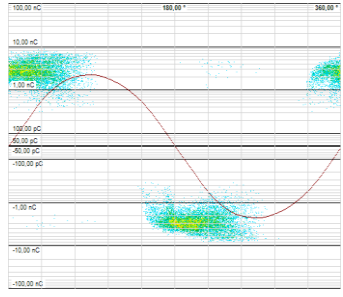
		01/2017	02/2017	03/2017
Exemple d'identification	3PARD			
	PRPD			
	Résultat	Décharge de surface en extrémité d'enroulement – E1 Processus de décision : Données suffisantes → Signal utile → Décision basée sur les attributs – Pas de conclusion ferme → Comparaison avec la base de données PRPD (E1 50 %)	Décharge de surface en extrémité d'enroulement – E1 Processus de décision : Données suffisantes → Signal utile → Décision basée sur les attributs – Pas de conclusion ferme → Comparaison avec la base de données PRPD (E1 100 %)	Décharge de surface en extrémité d'enroulement – E1 Processus de décision : Données suffisantes → Signal utile → Décision basée sur les attributs – Pas de conclusion ferme → Comparaison avec la base de données PRPD (E1 100 %)

Figure 14 : Identification des groupes à partir de plusieurs mesures avec un processus de décision.

Résumé

La mesure des décharges partielles dans les machines électriques tournantes est aujourd'hui considérée comme la méthode de mesure électrique permettant de tirer les conclusions les plus détaillées en ce qui concerne l'état de l'isolation d'une machine. De nombreux types de défauts peuvent être identifiés et classés en toute fiabilité en fonction du risque associé.

En dépit des nombreux avantages de ce type de mesure, il faut tenir compte des particularités de cette méthode de mesure lors de l'interprétation des résultats. Elles comprennent notamment la capacité répartie de l'enroulement, le type de connexion, l'interférence causée par les signaux indésirables ou l'occurrence simultanée de plusieurs phénomènes de DP.

Les systèmes de DP numériques sélectifs en fréquence fournissent divers outils pour contrôler ces particularités et tirer des conclusions justifiables. Ils s'étendent de la numérisation au point d'acquisition à la mesure à l'aide de divers paramètres de filtre et à l'interprétation automatique des différentes sources de DP.

Références

- [1] CEI 60270 (2015) : Techniques des essais à haute tension – Mesures des décharges partielles.
- [2] CEI 60034-27 (2006) : Machines électriques tournantes – Partie 27 : Mesure hors ligne des décharges partielles sur l'isolation de l'enroulement de stator des machines électriques tournantes.
- [3] Öttl, F., Fuhr, J., Riesen, D., Krüger, M., Binder, E., Storr, B., Pöschl, J., Keßler, T., Bittner, B. (2016) : Eine Untersuchung zum Ausbreitungsverhalten von Teilentladungsimpulsen in der Hochspannungswicklung rotierender elektrischer Maschinen. VDE-Fachtagung Hochspannungstechnik.
- [4] Kraetge, A., Hoek, S., Koch, M., Koltunowicz, W. (2013) : Robust Measurement, Monitoring and Analysis of Partial Discharges in Transformers and other HV Apparatus. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 20, Édition 6, Décembre, pp. 1715-1723.
- [5] Badicu, L.V., Koltunowicz, W., Broniecki, U., Batlle, B. (2016) : Increased operation reliability through PD monitoring of stator winding. 13th International Electrical Insulation Conference (INSUCON), Birmingham, Royaume-Uni.
- [6] Binder, E., Draxler, A., Egger, H., Hummer, A., Muhr, M., Praxl, G. (1998) : Experience with on-line and off-line PD measurements of generators. Session générale du Cigré.
- [7] Koltunowicz, W., Plath, R. (2008) : Synchronous multi-channel PD measurements. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 15, Édition 6, Décembre, pp. 2043-2051.
- [8] Badicu, L.V., Koltunowicz, W., Koch, M., Piccolo, A. (2013) : Return of experience from continuous PD monitoring of rotating machines. 18^e Symposium international d'ingénierie haute tension (ISH) , Séoul, Corée du Sud.
- [9] Rethmeier, K., Obralic, A., Kraetge, A., Krüger, M., Kalkner, W., Plath, R. (2009) : Improved noise suppression by real-time pulse-waveform analysis of PD pulses and pulse-shaped disturbances. 16^e Symposium international d'ingénierie haute tension (ISH), Le Cap, Afrique du Sud.
- [10] Koltunowicz, W., Belkov, A., Broniecki, U., Badicu, L.V., Gorgan, B., Krause, O. (2017) : Automated evaluation of PRPD patterns for on-line PD monitoring of stator windings. 20^e Symposium international d'ingénierie haute tension (ISH), Buenos Aires, Argentine.
- [11] Koltunowicz, W., Badicu, L.V., Broniecki, U. (2016) : Increased Operation Reliability of HV Apparatus through PD Monitoring. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 23, Édition 6, Juin, N° 3, pp. 1347-1354.

Auteurs

Fabian Oettl est responsable de produits chargé des tests et des mesures des machines électriques tournantes chez OMICRON electronics à Klaus, en Autriche. Avant de rejoindre OMICRON, il a travaillé en tant qu'ingénieur en isolation dans le service de recherche et de développement d'ANDRITZ Hydro, entreprise également basée en Autriche. Il a étudié le génie électrique à l'Université technique de Graz, d'où il est sorti diplômé en 2011.

Michael Krueger est ingénieur principal en test et diagnostic d'appareillages électriques chez OMICRON electronics à Klaus, en Autriche. Il a suivi des études de génie électrique à l'Université technique de Rhénanie-Westphalie (RWTH) à Aix-la-Chapelle et à l'Université de Kaiserslautern, et obtenu son diplôme en 1976. En 1990, il a reçu son doctorat en ingénierie de l'Université technique de Vienne. Michael Krüger a plus de 40 ans d'expérience dans le domaine de l'ingénierie haute tension et le diagnostic des transformateurs, transformateurs de mesure, machines électriques tournantes, câbles et GIS. Il est membre du VDE, du CIGRÉ et de l'IEEE et participe à plusieurs groupes de travail pour l'ÖVE, le CIGRÉ et la CEI.

Wojciech Koltunowicz a obtenu un diplôme en génie électrique en 1980, 1985 et 2004, respectivement. Il a reçu un doctorat et une qualification post-doctorale en ingénierie haute tension de l'Université technique de Varsovie, en Pologne. De 1987 à 2007 il a travaillé pour CESI en Italie, où il était chargé des tests et du diagnostic des systèmes haute tension. Il est consultant technique général pour OMICRON Energy Solutions à Berlin depuis 2007 et engagé dans la surveillance des équipements haute tension. Il est le représentant autrichien du comité d'étude du CIGRÉ D1 « Matériaux et techniques de test émergentes » et président du groupe de travail du CIGRÉ WG D1.66 « Requirements for Partial Discharge Monitoring Systems for Gas Insulated Systems ». Il est également membre de la CEI TC42 WG14.

Laurentiu-Viorel Badicu a obtenu un diplôme en génie électrique en 2008. En 2012, il a reçu son doctorat en ingénierie de l'Université polytechnique de Bucarest, en Roumanie. Il a rejoint OMICRON Energy Solutions à Berlin en tant qu'ingénieur d'essai en 2012, où il a travaillé à la maintenance des systèmes de surveillance et été responsable de l'analyse des fichiers de DP et des rapports ultérieurs. Depuis 2015, Laurentiu-Viorel est responsable de produits chez OMICRON, où il est responsable des systèmes de surveillance en ligne et de leur développement.

Bogdan Gorgan a obtenu un diplôme d'ingénieur et un doctorat en génie électrique de l'Université polytechnique de Bucarest, en Roumanie en 2009 et 2013, respectivement. Il a travaillé pour Simtech International en Roumanie de 2012 à 2015, où il effectuait des tests haute tension et des diagnostics des transformateurs de puissance, systèmes de surveillance en ligne pour les transformateurs de puissance, indice de santé et calculs de fiabilité des systèmes HT. Il a rejoint OMICRON Energy Solutions à Berlin en 2016, où il est employé en tant qu'ingénieur en applications haute tension, travaillant sur la surveillance et le diagnostic des équipements haute tension.

OMICRON est une société internationale qui développe et commercialise des solutions innovantes de test et de diagnostic pour l'industrie électrique. Les produits OMICRON offrent aux utilisateurs une fiabilité extrême dans l'évaluation de leurs équipements primaires et secondaires. Des services dans le domaine du conseil, de la mise en service, du test, du diagnostic et de la formation viennent compléter l'offre.

Dans plus de 150 pays, ses clients lui font confiance pour leur fournir des technologies d'excellente qualité, toujours à la pointe de l'innovation. Présents sur tous les continents, les centres d'assistance proposent une vaste base de connaissances et une assistance clientèle incomparable. Tous ces atouts alliés à notre solide réseau de partenaires commerciaux placent notre entreprise au tout premier rang dans le secteur de l'énergie électrique.