Vor-Ort-Teilentladungsmessung an 170-kV-Kabel-Aufschiebemuffen = Mesure de décharges partielles sur site pour le contrôle après montage de jonctions préfabriquées 170 kV

Autor(en): **Heizmann, Thomas / Aschwanden, Thomas / Hahn, Heinz**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **89 (1998)**

Heft 4

PDF erstellt am: **24.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-902058

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Für die Kontrolle und Überwachung von Verbindungsmuffen in Hochspannungs-Kabelanlagen wurde ein induktiver Sensor für Teilentladungen entwickelt. Kalibrationsmessungen im Labor ergaben, dass der Sensor eine Empfindlichkeit von etwa 5 pC hat. Dieser Teilentladungs-Sensor wurde in total 15 Muffen von 3 neuerstellten XLPE- und EPR-Kabelstrecken im Stadtnetz von Zürich installiert. Anlässlich der Inbetriebnahmeprüfungen dieser Kabelanlagen konnte gezeigt werden, dass der entwickelte Teilentladungs-Sensor auch unter schwierigen Vor-Ort-Bedingungen einsetzbar ist und wichtige Informationen über allfällige Isolationsfehler in den Muffen liefern kann.

Vor-Ort-Teilentladungsmessung an 170-kV-Kabel-Aufschiebemuffen

■ Thomas Heizmann,
Thomas Aschwanden, Heinz Hahn,
Michel Laurent und Luigi Ritter

Einleitung

Zur Aufdeckung von Verlege- und Montagefehlern an neuinstallierten Hochspannungskabelanlagen wird von Energieversorgungsunternehmen seit einiger Zeit eine Inbetriebnahmeprüfung mit Wechselspannung verlangt [1, 2].

Da jedes heute installierte Kabel beim Kabelhersteller einer umfassenden Endprüfung unterzogen wird, ist es vor allem das vor Ort in Handarbeit montierte Zubehör einer Kabelanlage, das eine mögliche Fehlerquelle darstellt. Die Aussagekraft einer Vor-Ort-Wechselspannungsprüfung (Bild 1) nach der Montage der Kabelanlage lässt sich verbessern,

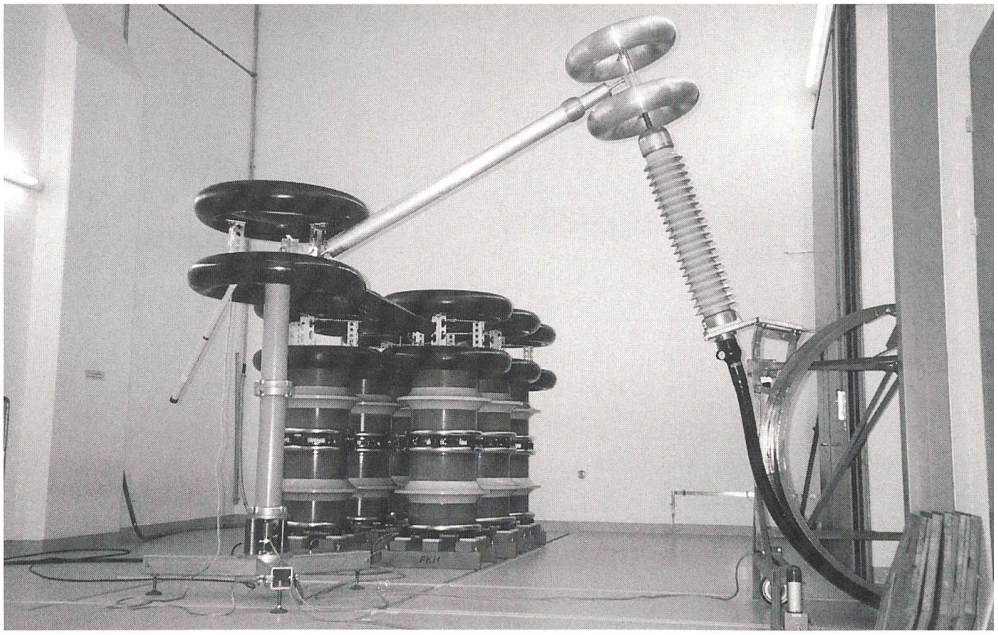

Bild 1 Serie-Resonanzanlage (300 kV/30 A) zur Erzeugung der Prüfwechselspannung, aufgebaut im Unterwerk Zeughaus des EWZ.

Figure 1 Installation d'essai résonance série (300 kV/30 A) dans la station EWZ.

Adressen der Autoren/Adresse des auteurs
Dr. *Thomas Heizmann** und
Dr. *Thomas Aschwanden*
Fachkommission für Hochspannungsfragen (FKH)
Voltastrasse 9
8044 Zürich

* ab 1.1.1998 bei
Alcatel Câble Suisse SA
2, rue de la Fabrique
2016 Cortaillod

Heinz Hahn und *Michel Laurent*
Alcatel Câble Suisse SA
1305 Cossonay-Gare

Luigi Ritter
Elektrizitätswerk der Stadt Zürich
Tramstrasse 35
8050 Zürich

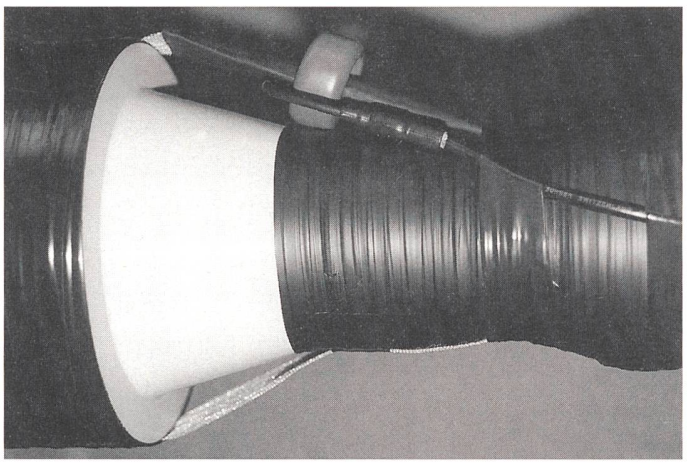

Bild 2 TE-Sensor an Aufschiebemuffe installiert (vorgefertigter Muffenkörper links).

Figure 2 Capteur de DP installé près du corps de jonction préfabriqué.

wenn in den Muffen (und eventuell auch in den Endverschlüssen) Teilentladungs-(TE)-Sensoren installiert werden. Damit können nicht nur grobe Fehler, die während der relativ kurzen Prüfzeit (typisch 15 bis 30 min) zum Durchschlag führen, entdeckt werden, sondern auch solche, die durch die zerstörerische Wirkung von elektrischen Teilentladungen erst nach längerer Betriebszeit zu Problemen geführt hätten. Dank der Integration von TE-Sensoren in die Muffen-Konstruktion hat man überdies die Möglichkeit, die Muffen jederzeit im Betrieb bei Verdacht von Isolationsschäden gezielt zu überwachen.

Der Aufsatz beschreibt die Entwicklung eines Teilentladungs-Sensors für Aufschiebe-Kabelmuffen der Spannungsreihe 170 kV. Gemäss Pflichtenheft war gefordert, den Sensor in eine bestehende Muffenkonstruktion zu integrieren; dabei wurde angestrebt, die notwendige Messempfindlichkeit und Störunterdrückung mit möglichst geringen konstruktiven Änderungen der Muffe zu erzielen.

Konstruktion und Eigenschaften des TE-Sensors

An einer für Niederspannungs-Hochfrequenzmessungen ausgerüsteten Originalmuffe konnte das Signalübertragungsverhalten bei hohen Frequenzen (HF) innerhalb der Muffe untersucht und verschiedene Auskopplungsmethoden auf ihre Empfindlichkeit hin im Labor untersucht werden. Als Resultat dieser Voruntersuchungen konnte ein induktiver Teilentladungssensor (HF-Stromwandler) vorgeschlagen werden, der auf einem Ferritkern basiert. Als Primärwicklung dient die Verbindung des Schirmbelages des zentralen Silikonkautschuk-Muffenkörpers (Aufschiebeteil) zum Kabelschirm (Bild 2). Die Messwicklung des TE-Sensors besteht ebenfalls aus einer einzigen Windung, die auf eine isolierte HF-Koaxialbuchse am Muffengehäuse geführt wird. Durch die magnetische Auskopplung konnten alle galvanischen Verbindungen im Schirmbereich der Muffe im Originalzustand belassen werden, wodurch sich das elektrische Verhalten der Muffe weder im Betrieb noch im Fehlerfall (Erdschluss) ändert, das heisst diese Konstruktion zeichnet sich durch eine sehr hohe Betriebssicherheit aus. Der so aufgebaute TE-Sensor wirkt wie ein Bandpassfilter mit rund 12 MHz bis 40 MHz Durchlassbereich. Aus dieser relativ hohen Messfrequenz ergibt sich, dass der Sensor nur Teilentladungen aus der Muffe bzw. aus den unmittelbar angrenzenden Bereichen der Hochspannungskabel registriert, da Hochspannungskabel infolge von Verlusten in den Halbleiterbelägen bei hohen Frequenzen eine grosse Dämpfung besitzen und somit TE-Impulse, die von weiter her kommen, stark abschwächen.

Kalibrationsmessungen im Labor

Das Teilentladungs-Messsystem besteht neben dem beschriebenen Sensor aus einem HF-Vorverstärker (34 dB Signalverstärkung mit Batteriespeisung), der direkt an die Buchse am Muffengehäuse angeschlossen wird. Die eigentliche Teilentladungsmessung erfolgt mit einem Spektrum-Analysator, mit dessen Bandpassfilter die eingehenden Teilentladungsimpulse integriert und bewertet werden. Dieses Gerät erlaubt zudem die Identifikation und Unterdrückung von externen Störungen.

Aufgrund der Dämpfungseigenschaften von Hochspannungskabeln war es von Anfang an klar, dass der TE-Sensor bei Vor-Ort-Messungen nicht von den Kabelenden her kalibriert werden kann. Es wurde daher entschieden, den Sensor anhand von Hochspannungsversuchen an einer Originalmuffe im Labor durch Vergleichsmessungen mit einem «klassischen» TE-Messsystem nach IEC 270 zu kalibrieren. Durch den Einbau künstlicher Fehlerstellen in der Muffe (Luftspalt unter dem Deflektor sowie abgelöster äusserer Schirmbelag) konnten typische Teilentladungen erzeugt und die Anzeigen der beiden Messsysteme miteinander verglichen werden. Diese Vergleichsmessungen haben ergeben, dass das auf dem neuen TE-Sensor basierende Messsystem unter Laborbedingungen in der Lage ist, Teilentladungen mit einer Messempfindlichkeit von mindestens 5 pC zu erfassen. Es konnte ausserdem nachgewiesen werden, dass sich der TE-Sensor recht genau auf eine scheinbare Ladung eineichen lässt und, dass das gesamte Messsystem im überprüften Bereich von etwa 4 pC bis 100 pC ein lineares Verhalten zeigt.

Praktischer Einsatz des TE-Sensors bei Vor-Ort-Kabelprüfungen

Im Zusammenhang mit der Vor-Ort-Wechselspannungsprüfung von drei 170-kV-Kabelanlagen im Stadtnetz von Zürich (EWZ) konnten die entwickelten TE-Sensoren unter praktischen Bedingungen erprobt werden. Die geprüften XLPE- bzw. EPR-Kabelanlagen hatten Trassee-Längen zwischen 800 m und 2000 m. Von den insgesamt 18 Muffen waren 15 mit TE-Sensoren ausgerüstet.

Die Prüfwechselspannung wurde mit einer Serie-Resonanzanlage unter Verwendung eines elektronischen Frequenzumrichters erzeugt (Bild 1) [2, 3]. Das Prüfprogramm sah eine Steh-Spannungsprüfung von 15 Minuten Dauer bei 190 kV (2,2 U_0) vor, wobei vor und nach dieser Spannungsprüfung eine TE-Messung an den Muffen bei 130 kV (1,5 U_0) durchzuführen war.

Als Basis für die Bewertung der TE-Messung wurde bei jeder Muffe vor der Prüfbeanspruchung das jeweilige Störspektrum im Frequenzbereich von 0 bis 50 MHz ermittelt. Diese Störspektren zeigen im Frequenzbereich bis etwa 30 MHz teilweise starke Störungen von Kurzwellensendern und von anderen Funkdiensten. Bei höheren Frequenzen (> 30 MHz) waren kaum Störungen mehr detektierbar.

Bild 3 zeigt eine fertig montierte und mit einem TE-Sensor versehene Aufschiebemuffe im Muffenschacht. Unter-

halb der Muffe ist der HF-Vorverstärker samt Batteriespeisung zu sehen. Die übrigen Geräte des Messsystems waren in einem Fahrzeug untergebracht. Diese mobile Messstation wurde für die TE-Messungen von Muffenschacht zu Muffenschacht verschoben.

Bei den an drei 170-kV-Kabelanlagen durchgeführten Messungen wurden bei der Inbetriebnahme in keiner Muffe Teilentladungen detektiert. Alle neun einzeln geprüften Phasen haben die 15-Minuten-Prüfung mit 190 kV Wechselspannung bestanden; das heisst es ist bei keiner Prüfung ein Durchschlag aufgetreten.

Zusammenfassung

Die Erfahrungen, die mit dem entwikkelten TE-Sensor beim Vor-Ort-Einsatz gemacht wurden, können wie folgt zusammengefasst werden [4]:

- Aufgrund des vor Ort gemessenen Störpegels (Stadtumgebung) und durch Vergleich mit den im Labor gemachten «Kalibrationsmessungen» kann gesagt werden, dass mit dem entwickelten Sensor eine Vor-Ort-Teilentladungsmessung in den untersuchten Muffen mit etwa 15 pC Detektionsempfindlichkeit realisiert werden kann.
- Die in einem Stadtnetz unvermeidbaren Hochfrequenzstörungen waren von Muffenschacht zu Muffenschacht stark unterschiedlich. Durch die Verwendung eines Spektrum-Analysators war es aber immer möglich, störungsarme Frequenzbereiche im Übertragungsbereich des TE-Sensors zu finden.
- Die von der elektronischen Einspeisequelle der Resonanzanlage (IGBT-Frequenzumrichter ohne Ausgangsfilter) erzeugten Störungen werden auf ihrem Weg durch das Hochspannungskabel bis zur ersten Muffe (typische Distanz rund 500 m) genügend stark gedämpft.

Literatur/Bibliographie

[1] CIGRE Working Group 21.09: After Laying Tests on High-Voltage Extruded Insulation Cable Systems. ELECTRA, no. 173, August 1997, pp. 33–41.

[2] *Aschwanden, Th.*: Vor-Ort-Prüfung von Hochspannungskabelanlagen. Bulletin SEV/VSE, Bd. 83, H. 15 (1992), S. 31–40.

[3] *Bernasconi, F., Zaengl, W.S., Vonwiller, K.*: A new high voltage series resonant circuit for dielectric tests. Proc. 3rd Int. Symp. on High Voltage Engineering, ISH, Milan (1979), vol. 2, paper 43.02.

[4] *Heizmann, Th., Aschwanden, Th., Hahn, H., Laurent, M., Ritter L.*: On-Site Partial Discharge Measurements on Premoulded Cross-Bonding Joints of 170 kV XLPE and EPR Cables. IEEE Power Engineering Society, Summer Meeting 1997, 20.–24. Juli 1997, Berlin, paper PE-947-PWRD-0-04-1997.

Un capteur inductif pour la mesure de décharges partielles à été développé pour pouvoir effectuer le contrôle après montage ainsi qu'une surveillance en service de jonctions HT préfabriquées. Les mesures de mise au point et de calibration effectuées en laboratoire ont démontré que le capteur avait une sensibilité d'environs 5 pC. Ce capteur a été installé dans 15 jonctions nouvellement montées dans le réseau de câbles HT de la ville de Zurich. Le capteur à démontré son efficacité lors des essais de mise en service, même dans des conditions de bruit ambiant élevé.

Mesure de décharges partielles sur site pour le contrôle après montage de jonctions préfabriquées 170 kV

Introduction

Pour le contrôle de la pose et du montage d'une nouvelle installation de câble HT, un essai de tension à courant alternatif [1, 2] est de plus en plus souvent exigé par les exploitants de réseaux électriques.

Les câbles ainsi que les jonctions préfabriquées subissent des essais de routine sévères en usine. Le rôle des essais sur site est donc de détecter une éventuelle anomalie de montage ou une blessure du câble lors de la pose. L'efficacité de l'essai de tension en courant alternatif est sensiblement améliorée par la mesure simultanée des DP dans les jonctions (et éventuellement dans les extrémités) grâce à des capteurs pré-installés dans les accessoires. En effet, seuls les défauts importants peuvent conduire à un claquage pendant la durée de l'essai (typiquement 15 à 30 minutes), alors que la présence de DP pourrait éventuellement occasionner un claquage ultérieur en service. Grâce à l'intégration d'un capteur de mesure de DP dans la jonction, le contrôle de l'absence de décharges est rendu possible à n'importe quel moment en service.

Le présent article décrit le développement d'un capteur de DP pour une jonction préfabriquée 170 kV. Selon le cahier des charges, il a été demandé d'intégrer ce capteur dans une construction de jonction existante sans y apporter de modifications importantes; tout en garantissant une bonne sensibilité de mesure et une immunité au bruit ambiant suffisante.

Construction et caractéristiques du capteur de DP

Des mesures haute fréquence (HF) à basse tension en laboratoire, sur une jonction complète préparée à cet effet, ont permis d'analyser la propagation

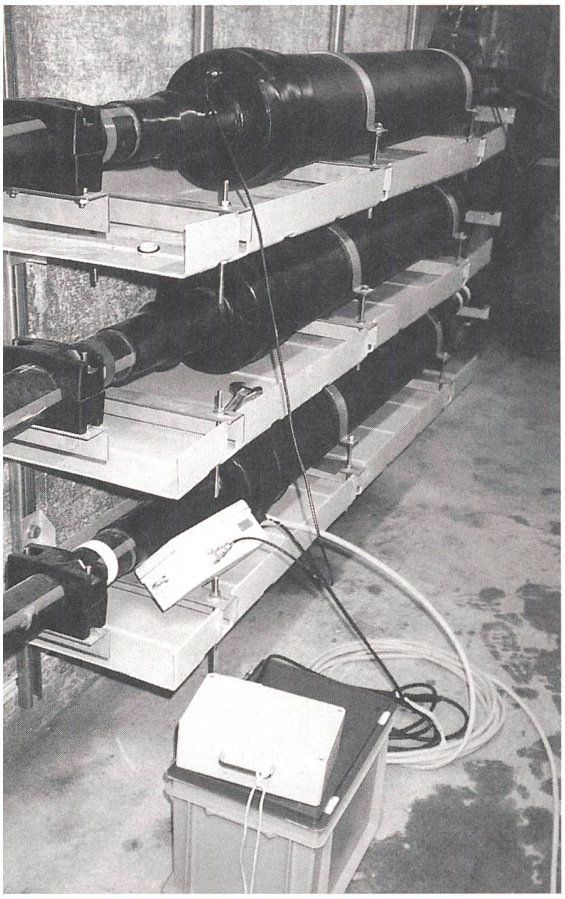

Bild 3 Aufschiebemuffe mit installiertem TE-Sensor und Vorverstärker (unten) im Muffenschacht einer 170-kV-Kabelanlage.

Figure 3 Jonctions complètes avec l'amplificateur HF connecté à l'une d'elle en essai.

d'un signal HF à l'intérieur de cette dernière et de comparer la sensibilité de mesure de plusieurs méthodes de couplage. A l'issue de ces mesures comparatives, le choix s'est porté sur un capteur de DP inductif (transformateur d'intensité HF) basé sur un noyau Ferrit. La connexion reliant l'écran conducteur de la partie centrale du corps de jonction à l'écran métallique du câble sert d'enroulement primaire (voir figure 1). L'enroulement de mesure (secondaire) ne comprend qu'une seule spire, et est relié au travers d'un câble coaxial à un connecteur BNC fixé de manière isolée sur l'enveloppe de jonction. Grâce au couplage magnétique du signal, la construction de la jonction est restée telle qu'originale. Ceci présente l'avantage de ne nécessiter aucune modification, tant pour le montage qu'en service normal ou en cas de court-circuit. Le capteur de DP ainsi intégré se comporte tel un filtre passe-bande avec une bande passante d'environ 12 à 40 MHz. Par le fait de cette fréquence élevée, le capteur ne va mesurer des décharges que dans la jonction et la partie de câble HT proche de cette dernière. En effet, les couches de semi-conducteur du câble HT ont pour effet d'atténuer rapidement les signaux HF.

Calibration en laboratoire HT

Le système de mesure comprend, outre le capteur précédemment décrit, un amplificateur HF (34 dB d'amplification, fonctionnant sur batteries) directement relié au connecteur BNC fixé sur l'enveloppe de jonction. La mesure proprement dite se fait à l'aide d'un analyseur de spectre dont les filtres passe-bande permettent d'intégrer et de quantifier les impulsions de décharge. Cet appareil permet d'identifier, et de ce fait, d'écarter les perturbations externes (bruit ambiant).

Une calibration sur site du système de mesure par injection d'un signal à l'extrémité de la liaison est impossible du fait de l'atténuation des signaux HF dans les câbles HT (comme mentionné précédemment). C'est pourquoi il a été décidé de réaliser une calibration en laboratoire HT sur une jonction complète, à l'aide de mesures comparatives entre un système de mesure de DP classique selon CEI 270 et le système avec capteur intégré. Des décharges partielles typiques ont été obtenues par la simulation de défauts (espace d'air sous l'un des déflecteurs de la jonction et écran extérieur blessé); les résultats obtenus par les deux systèmes de mesure ont pu être comparés. La comparaison a montré que la sensibilité du nouveau système était d'au moins 5 pC; d'autre part la mesure est linéaire entre 4 et 100 pC.

Mesures pratiques avec le capteur de DP lors d'essais de câbles HT sur site

L'efficacité du capteur de DP a pu être évaluée de manière pratique lors d'essais de tension sur site effectués sur trois installations de câbles 170 kV du réseau de la ville de Zurich. Les liaisons de câbles XLPE respectivement EPR essayées avaient des longueurs de 800 à 2000 m. Des 18 jonctions installées, 15 étaient équipées de capteurs de DP. La tension d'essai à été générée par une installation résonance série à fréquence variable, pilotée par un variateur de fréquence électronique (figure 2) [2, 3]. Le programme d'essai comprenait un essai de tension de 15 minutes à 190 kV (2,2 U_0), précédé et suivi d'une mesure de décharges partielles à 130 kV (1,5 U_0) sur chaque jonction.

Comme base pour la mesure des décharges, un enregistrement de spectre du bruit ambiant a été effectué dans une gamme de fréquence de 0 à 50 MHz sur chaque jonction avant sa mise sous tension. Les spectres de fréquences ainsi mesurés montrent dans la gamme de fréquence jusqu'à 30 MHz quelques perturbations importantes causées par des émetteurs à ondes courtes radio ou de services. A des fréquences plus élevées (> 30 MHz) il n'y avait pratiquement plus de perturbations mesurables.

La figure 3 montre trois jonctions complètement terminées équipées de capteurs, dans une chambre de jonction. Sous l'une d'elle on peut voir l'amplificateur HF alimenté par batteries, le reste du matériel de mesure étant à l'extérieur de la chambre de jonction, dans un véhicule. Cette installation de mesure mobile était déplacée de place en place pour chaque série de mesure de DP.

Sur les trois installations de câbles 170 kV, aucune décharge partielle n'a été détectée dans les 15 jonctions mesurées. Chaque phase a passée l'essai de tension de 15 minutes à 190 kV avec succès, aucun claquage ne s'étant produit.

Conclusions

L'expérience acquise par l'utilisation de ce capteur en grandeur réelle permet de tirer les conclusions suivantes [4]:

- Sur la base du bruit de fond mesuré sur place (environnement citadin) et par la comparaison avec les mesures de calibration faites en laboratoire, il a été déterminé que la sensibilité de mesure de DP sur site avec le capteur inductif était d'environ 15 pC.
- Les perturbations HF variaient fortement selon les chambres de jonction où étaient réalisées les mesures de DP. Grâce à l'utilisation d'un analyseur de spectre il a toujours été possible de trouver un domaine de fréquence peu perturbé dans la bande passante du capteur de DP.
- Les perturbations engendrées par l'alimentation électronique de l'installation résonance série (convertisseur de fréquence IGBT sans filtre de sortie) arrivent à la première chambre de jonction (distance d'environ 500 m) suffisamment atténuées par les pertes dans le câble HT.