Illustration 1. Des appareils compacts et facilement transportables comme frida TD facilitent la réalisation du diagnostic tan δ. Les gestionnaires de parcs obtiennent ainsi des données essentielles pour déterminer la durée de vie résiduelle des câbles

Source d'image (toutes les images) : BAUR

Une combinaison de méthodes au service d'une évaluation d'état des câbles plus fiable

Déterminer la durée de vie résiduelle des câbles haute tension

Pour que les gestionnaires de réseau de distribution puissent utiliser le plus longtemps possible les câbles sans risquer la sécurité d'approvisionnement, il faut connaître parfaitement leur état. De nombreux exploitants ont déjà recours à la mesure de décharges partielles afin de détecter les points faibles et de prévenir les pannes. En revanche, la mesure de Tangente Delta est peu fréquemment utilisée. Pourtant, cette procédure fournit justement des données fiables, permettant de déterminer l'état de vieillissement d'un câble et sa durée de vie résiduelle. Seule l'application des deux diagnostics permet d'obtenir les informations nécessaires pour la gestion des actifs. La mesure parallèle de Tangente Delta et des décharges partielles peut même être effectuée dans un cycle de mesure et se combiner, en option, avec un essai de câble.

Josua Sabo, Senior Sales & Ingénieur d'applications, BAUR GmbH, Sulz (Autriche)

De nombreux gestionnaires de réseau tirent parti de la mesure des décharges partielles, pour vérifier les liaisons câblées, qu'elles soient neuves, réparées ou existantes. Le diagnostic de décharge partielle révèle des points faibles potentiels au niveau des câbles et des accessoires, notamment

- Défauts sur les accessoires, par exemple un mauvais montage des boîtes de jonction ou des extrémités.
- Défauts dans l'isolation des câbles XLPE (arborescences électriques)
- Assèchement dans l'isolation au papier par imprégnation à masse entraînant une isolation insuffisante
- Dommages mécaniques de la gaine du câble

Toutefois, le diagnostic de décharge partielle n'est pas le reflet intégral de l'état d'un câble. Tout comme un médecin combine différentes méthodes lors d'une consultation médicale, par exemple un examen individuel avec analyses en laboratoire, il faut incorporer un procédé supplémentaire pour le diagnostic de câble afin d'ob-

tenir des informations plus complètes et plus fiables sur l'état des câbles, à savoir la mesure de Tangente Delta (également appelée mesure tan δ).

Déterminer l'âge de l'isolation de câble

La mesure de TD permet de déduire l'état de l'ensemble de la liaison câblée et constitue un procédé sans aucun risque de destruction du câble. Le facteur de dissipation diélectrique tan δ correspond au rapport entre la puissance réelle et la puissance réactive. Sa valeur donne des informations sur l'état de l'isolation du câble et sur son vieillissement.

Sur les appareils BAUR, la mesure (*voir illustrations 1 et 2*) de la valeur tan δ s'effectue en suivant différents paliers de tension réglables, avec une tension sinusoïdale basse fréquence d'une forme idéale (*voir texte dans l'encadré « truesinus »*). Dans le cas de câbles usagés, il en résulte une augmentation caractéristique du facteur de dissipation pour une tension de mesure croissante, ce qui permet d'établir une première classification des câbles, notamment dans les classes « bon », « à surveiller » et « médiocre ». Cette classification approximative n'est cependant pas le seul résultat obtenu ; la mesure de TD fournit également les renseignements suivants :

- Zones endommagées par l'eau (arborescences d'eau) dans l'isolation des câbles XLPE entraînant ultérieurement des arborescences électriques et des défauts de câble
- Emplacements défectueux en raison de l'assèchement dans l'isolation de câbles isolés à papier imprégné ou bien de la présence d'humidité
- Présence d'humidité dans des portions de câble, boîtes de jonction ou extrémités
- Décharges partielles éventuelles
- Impacts éventuels du vieillissement

Sur la base des informations obtenues par les gestionnaires de parcs grâce à la mesure de TD, ils peuvent planifier le remplacement des câbles usagés en fonction de l'état de vieillissement réel. L'expérience est formelle : De nombreuses liaisons câblées se trouvent dans un bien meilleur état que ce que leur durée d'exploitation pourrait laisser penser.

Diagnostic de câble une tension sinusoïdale de 0,1 Hz

Pour les mesures de diagnostic et l'essai de câble décrits dans le texte, les équipements BAUR utilisent une source de tension appelée truesinus. Les sources de tension sont maniables et assurent des résultats extrêmement fiables. Outre la tension sinusoïdale à basse fréquence (VLF = Very Low Frequency à 0,1 Hz) à la forme idéale, les sources fournissent également la tension continue nécessaire au test de gaine.
La source truesinus permet d'obtenir des valeurs de mesure précises et reproductibles lors des mesures tan δ et des mesures de décharges partielles. La tension sinusoïdale VLF est notamment plus adaptée à la mesure tan δ essentielle pour l'évaluation de l'état que les autres types de tension ou fréquences habituels, car elle permet de détecter les moindres changements.

Les avantages de la source truesinus sont les suivants :
- Résultats de mesure indépendants de la charge
- Précision maximale lors de la mesure tan δ
- Résultats de mesure reproductibles
- Essai et mesures de diagnostic possibles en parallèle (MWT)
- Durée de mesure réduite
- Sources de tension compactes

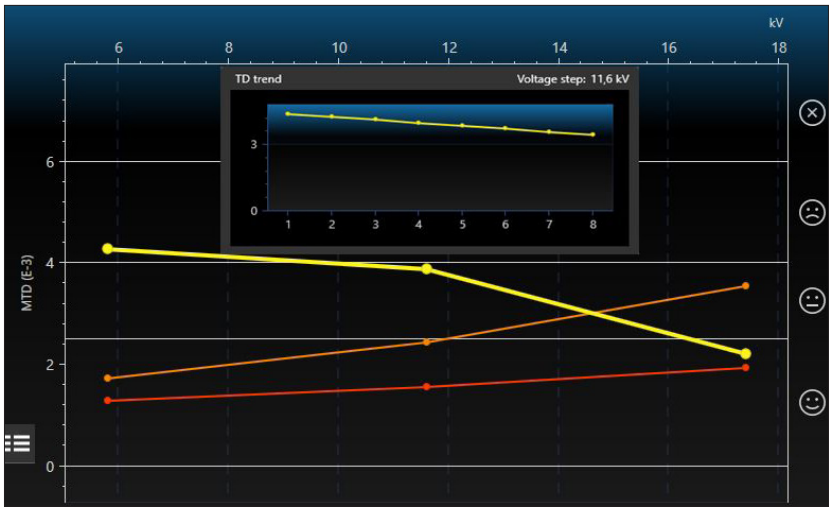

Illustration 2. Les résultats de la mesure de Tangente Delta sont analysés directement sur place ou au bureau avec le logiciel BAUR Software 4

Ces câbles peuvent donc être maintenus en exploitation pendant encore quelques années, ce qui réduit considérablement le coûts d'entretien du réseau. Pour déterminer de manière fiable la durée de vie résiduelle, l'analyse des valeurs tan δ peut s'effectuer avec le logiciel statex (*plus de détails ci-dessous*).

La mesure des décharges partielles ou la mesure de Tangente Delta en elles-mêmes fournissent des informations précieuses sur l'état des câbles, mais si l'on considère leurs résultats dans leur contexte, il en résulte une valeur ajoutée et une image plus claire de l'état des câbles. Pour illustrer la parfaite complémentarité de ces deux méthodes, rien de tel qu'un exemple clair : Les décharges partielles dans les accessoires sont influencées par l'humidité et la pénétration d'eau, toutefois l'humidité ne se détecte pas lors de la mesure de décharges partielles, mais plutôt lors de la mesure de Tangente Delta. S'il résulte de la mesure tan δ, que l'accessoire est sec, les résultats obtenus avec la mesure de décharges partielles peuvent ainsi être mieux évalués.

Mesure du facteur de dissipation sans frais supplémentaires

La mesure de TD offre donc un avantage supplémentaire, mais ne coûte quasiment pas de temps supplémentaire, car la mesure de décharge partielle et la mesure de Tangente Delta peuvent être effectuées simultanément dans un même cycle de mesure. Il est également possible de combiner diagnostic de câble et essai de câble dans ce que l'on appelle un Monitored Withstand Test (MWT, Diagnostic diélectrique automatique). Le MWT vous fournit des informations essentielles pour l'évaluation de l'état et permet d'adapter la durée de l'essai à l'état du câble. Le procédé combiné reconnu par les comités comme l'IEEE et la CEI est recommandé pour les installations de câbles usagés. Le « Full MWT » s'accompagne en outre d'une mesure de décharges partielles (*Illustration 3*).

Le déroulement MWT programmé dans les équipements BAUR se divise en deux parties : Dans la première phase, les mesures de diagnostic sont effectuées, la tension de mesure augmentant de manière progressive pour préserver les câbles. Les résultats apportent une première idée sur l'état des câbles, ce qui permet d'identifier immédiatement les câbles trop usagés. S'il subsiste un doute concernant un câble déjà endommagé, il est possible d'interrompre la séquence afin de ne pas soumettre le câble à la contrainte d'une tension d'essai encore plus élevée.

Si le câble se trouve dans un état suffisamment satisfaisant, la deuxième phase de l'essai de câble est lancée et le diagnostic tan δ se poursuit simultanément. Il est ainsi possible de procéder à la mesure du comportement du facteur de dissipation au fil du temps, ce qui apporte des informations supplémentaires sur l'état des câbles. En présence de valeurs de mesure de diagnostic satisfaisantes, l'essai de câble peut être réduit à 15 min. pour éviter de soumettre inutilement le câble à la tension d'essai pendant de longues périodes.

À l'inverse, il est possible de prolonger la durée de l'essai pour recueillir des valeurs de mesure supplémentaires en cas d'état critique des câbles, notamment en cas de dérive de la valeur tan δ. La pratique a déjà démontré qu'une forte augmentation de la valeur tan δ durant cette phase de la mesure MWT peut révéler un point faible au niveau des décharges partielles. La mesure Full-MWT permet alors la localisation et l'évaluation immédiates du point de décharge partielle.

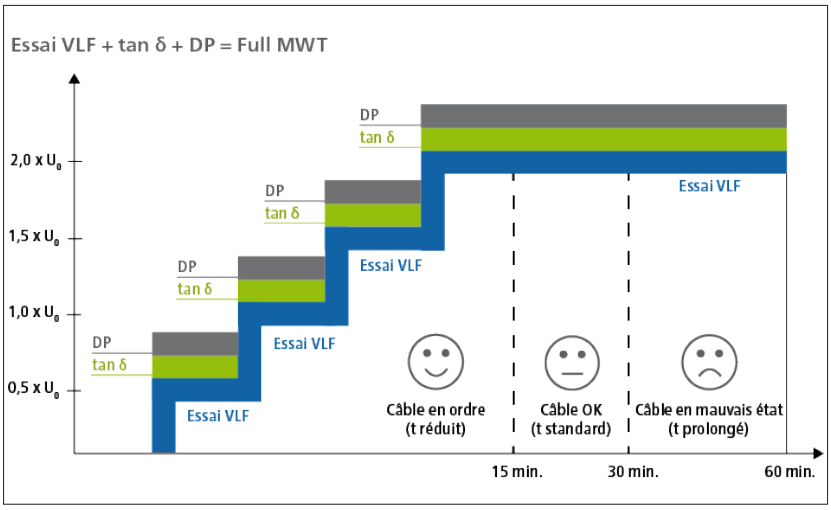

Illustration 3. Durant le test dit Full-MWT (Full Monitored Withstand Test), la mesure du facteur de dissipation (tan δ) et la mesure des décharges partielles (DP) sont combinées avec l'essai de câble dans une même séquence. La durée d'essai peut être raccourcie ou prolongée en fonction de l'état du câble

Illustration 4. Dans le logiciel BAUR Software 4, les techniciens de mesure peuvent réaliser les procédures de mesure, observer les résultats directement durant la mesure et établir des rapports pertinents. Les gestionnaires de réseau peuvent également mettre en place des procédures d'essai internes à l'entreprise et ainsi prescrire une méthode de mesure adaptée à leur propre philosophie de diagnostic

Déterminer la durée de vie résiduelle avec statex

Une évaluation des résultats de mesure et une comparaison avec les mesures précédentes ou des liaisons câblées similaires sont d'ores et déjà possibles avec le logiciel BAUR Software 4 (*Illustration 4*). Le logiciel permet également d'enregistrer les valeurs mesurées et d'établir rapidement des rapports de mesure pertinents. Il permet également de définir ses propres procédures de mesure et valeurs limites pour la mise en place d'un déroulement de la procédure de

mesure largement automatisé. La version Office du logiciel permet d'aller encore plus loin dans l'évaluation et le classement des résultats de mesure pour la gestion des actifs. L'analyse prend une longueur d'avance avec le logiciel BAUR statex. Il a été développé par Korea Electric Power Corporation (KEPCO) en collaboration avec BAUR.

Le logiciel d'analyse statex évalue les données de la mesure tan δ et calcule la durée de vie résiduelle statistique des câbles au moyen d'un algorithme breveté. Il s'appuie sur une grande de données dans lequel sont enregistrés les résultats de mesure de 120 000 câbles à isolant plastique et câbles isolés à papier imprégné ou ainsi que de lignes mixtes de câbles (*Illustration 5*). L'analyse réalisée avec statex permet une évaluation considérablement plus précise de l'état des câbles, par rapport à une simple évaluation selon des critères IEEE, par exemple. Grâce à l'analyse, les utilisateurs étaient en mesure de prolonger la durée d'exploitation de leurs câbles de plusieurs années.

En outre, statex donne des recommandations concernant le moment où le prochain diagnostic de câble doit être effectué ou l'agenda des interventions d'entretien sur les accessoires et des remplacements des câbles. Cela permet de réduire les coûts de diagnostic, car il n'est pas nécessaire de prévoir des intervalles fixes pour les nouveaux tests. En cas de mesures répétées sur la même liaison câblée, le logiciel intègre les mesures précédentes et précise le pronostic de durée de vie résiduelle.

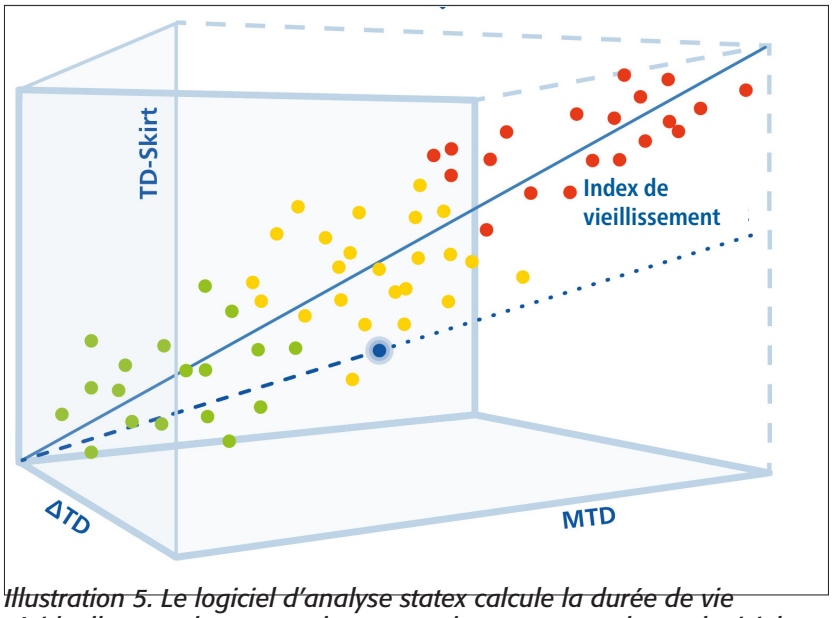

Illustration 5. Le logiciel d'analyse statex calcule la durée de vie résiduelle en se basant sur la mesure de Tangente Delta. Le logiciel recommande également à quel moment la répétition de mesure doit être effectuée

Report des remplacements, réduction des coûts de réseau

Les deux exemples suivants montrent le potentiel d'économie offert par le calcul de la durée de vie résiduelle avec statex.

Exemple 1 : Un remplacement a été prévu pour un câble à gaine de plomb de 2 000 m installé dans les années 1980. Les coûts de remplacement se montaient à environ 300 000 Euros. À l'origine, le gestionnaire de réseau voulait faire lier la date de remplacement à l'exécution réussie d'un essai de câble avec 3 x U0 pendant 15 min. Si l'essai se soldait par un succès, le câble pourrait rester en exploitation pendant dix années supplémentaires, sinon il devrait être remplacé.

Les mesures de diagnostic effectuées sur le câble n'ont montré aucune décharge partielle et ont affiché des valeurs tan δ stables compte tenu de l'âge de la liaison câblée. L'état du câble est donc suffisamment satisfaisant et son remplacement dans un avenir proche n'est pas nécessaire. Le logiciel statex a constaté une faible vitesse de vieillissement et a prédit une durée de vie résiduelle fiable de 20 années supplémentaires. Pour préciser cette affirmation, le logiciel statex recommande de répéter la mesure au bout de dix ans. Si, en cas de réussite de l'essai de câble, celui-ci devait rester en exploitation dix années de plus par rapport à ce que le gestionnaire de réseau avait prévu, l'économie réalisée serait d'au moins 100 000 euros, et probablement beaucoup plus si l'on tient compte du renchérissement sur une période de 20 ans.

Exemple 2 : Un câble en polyéthylène (PE) de première génération, installé dans les années 1980, a atteint la fin de sa durée de vie prévue. Il a été supposé que le câble d'une longueur de 2 000 m présentait des signes de vieillissement de type arborescence d'eau. Là encore, le fournisseur d'électricité avait initialement prévu de tester le câble pendant 15 minutes afin de décider de l'éventuelle prolongation de son utilisation. En cas d'échec de l'essai, son remplacement aurait dû être envisagé, pour un coût d'environ 300 000 Euros.

Le diagnostic de câble a révélé que la phase 1 principalement présentait des arborescences d'eau et d'importants signes de vieillissement. Toutefois, aucune activité de décharge partielle n'a été constatée. Lors d'un essai de câble, la phase 1 du câble serait probablement tombé en panne au bout de quelques minutes. L'analyse effectuée avec statex a toutefois révélé que le câble pourrait encore rester en exploitation pendant huit années supplémentaires sans être soumis à un test VLF (Very Low Frequency, Très basse fréquence) ; une nouvelle mesure est recommandée au bout de quatre ans. La prolongation de la durée de vie de huit années supplémentaires correspond ici à une économie d'au moins 60 000 Euros.

Conclusion

Les exemples illustrent le bénéfice économique de la mesure de Tangente Delta et de l'évaluation des résultats avec statex. Évidemment, il ne faut pas s'attendre à des périodes d'utilisation plus longues dans tous les cas. La pratique a toutefois montré que les câbles peuvent en moyenne rester en exploitation plusieurs années supplémentaires par rapport à une évaluation de la durée

de vie résiduelle en fonction de leur durée d'exploitation ou selon les critères de la norme IEEE. Le diagnostic tan δ fournit également une valeur ajoutée pour la mesure des décharges partielles – dont les résultats peuvent être mieux évalués si l'on connaît le facteur de dissipation. Étant donné que la mesure des décharges partielles et la mesure de Tangente Delta peuvent être combinées en une seule procédure de mesure, les gestionnaires de parcs peuvent obtenir des informations supplémentaires sur les liaisons câblées mesurées sans perte de temps lors de la mesure. Ces informations sont essentielles pour déterminer de manière fiable la durée de vie résiduelle des câbles et pour planifier les investissements de remplacement en fonction des besoins plutôt que sous la pression du temps.

ja.sabo@baur.eu

www.baur.eu/de