

Normalisation

CEI 60270, *Techniques des essais à haute tension – Mesure des décharges partielles.*

D'autres normes spécifient des conditions d'essais pour la mesure des décharges partielles sur certains types particuliers d'équipement (transformateurs, machines tournantes...)

Le but de ces essais est de déterminer :

- le niveau de décharges partielles, en fonction de la tension ou en fonction du temps (pour une tension appliquée donnée) ;

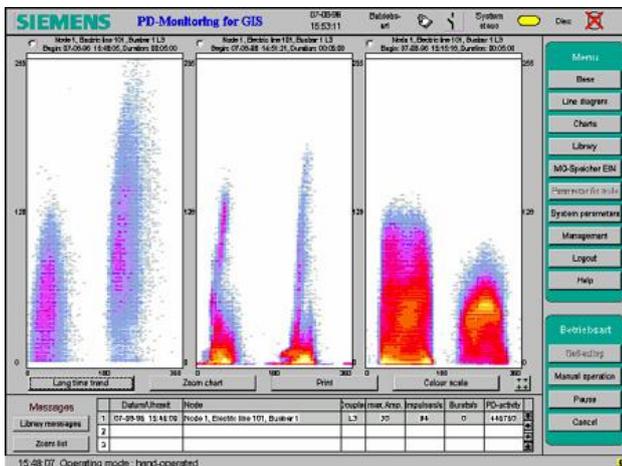
Définition : Le *niveau de décharges partielles* est une intégrale temporelle de la charge apparente des décharges individuelles ; il se mesure en picocoulombs (pC).

- la valeur de la tension à partir de laquelle des décharges se produisent (en tension croissante), appelé **seuil d'apparition des DP** ;
- la valeur de la tension au-dessous de laquelle les décharges s'arrêtent (en tension décroissante), appelé **seuil d'extinction des DP**.

Interprétation des mesures

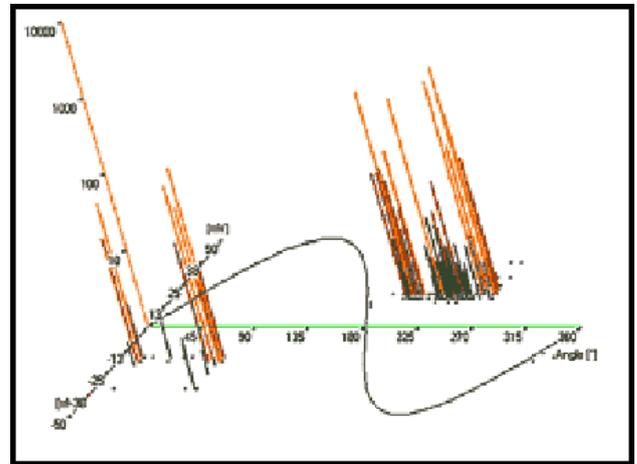
Le diagnostic d'une isolation par la mesure de décharges partielles se fonde sur différents paramètres des mesures. Les éléments à prendre en considération sont :

- la position des décharges par rapport à la phase de la tension d'alimentation (avant les crêtes – sur les crêtes – proches des zéros) ;
- la stabilité des décharges par rapport à la phase (fixes – se déplaçant régulièrement – se déplaçant aléatoirement) ;
- la symétrie, ou non, des décharges apparaissant sur les alternances positive et négative.
- les variations de l'amplitude des décharges, en fonction de l'amplitude de la tension d'essai ou en fonction de la durée d'application de la tension.



Distribution d'énergie visualisée par la couleur (système triphasé) [Siemens]

Avec le développement des systèmes d'acquisition numériques très rapides, il est désormais possible de calculer en temps réel l'énergie de chaque décharge individuelle et de visualiser la distribution des énergies, soit sous forme de couleur (ci-dessus) ou sur un axe (ci-dessous).



Distribution d'énergie reportée sur un axe [Powertest Asia]

Détection et mesure

Deux méthodes qualitatives de détection permettent de déterminer facilement les seuils d'apparition et d'extinction des décharges partielles :

- Détection acoustique.** Des capteurs acoustiques sensibles, appliqués directement sur l'objet en essai (par exemple un câble) peuvent capter le son émis par les décharges. De tels dispositifs travaillent généralement dans le domaine des ultrasons entre 70 kHz et 150 kHz. Avec plusieurs capteurs répartis en différents points de l'équipement, et avec des corrélations sur les signaux captés, il est possible de reconstruire géométriquement le point d'où sont émises les décharges.
- Détection électromagnétique.** Une radio placée à proximité de l'objet en essai émet subitement des parasites lorsque les décharges commencent à se produire.

Pour la mesure du niveau de décharges partielles, la procédure d'essai consiste à monter lentement la tension (en une minute environ) jusqu'à une valeur un peu supérieure à la tension assignée de l'objet, puis à redescendre lentement jusqu'à zéro. Deux méthodes électriques sont alors utilisées pour obtenir la valeur du niveau de DP : la **mesure directe** et la **mesure en pont**.

Mesure directe

Cette méthode présente l'avantage d'un équipement et d'une mise en œuvre simples. Elle nécessite un étalonnage des décharges, à l'aide d'un étalonneur (figure ci-contre) qui permet d'appliquer une décharge connue aux bornes de l'objet en essai.



INCONVÉNIENT

Avec cette méthode, les décharges partielles provenant du transformateur, l'éventuel effet de couronne apparaissant autour du circuit, ainsi que les perturbations rayonnées de l'extérieur, viennent s'ajouter aux décharges de l'objet en essai. La méthode directe ne permet pas de les séparer des décharges intervenant à l'intérieur de l'objet.

Mesure en pont

Afin d'éliminer les décharges partielles d'origine extérieure à l'objet en essai, on peut établir un montage en pont. Les deux branches du pont sont victimes des mêmes perturbations, mais elles donnent lieu à des tensions perturbatrices de niveaux différents, puisque les deux branches n'ont pas forcément la même impédance. On compense cela en choisissant les valeurs des éléments variables (*équilibrage du pont*) de manière à pouvoir éliminer les tensions perturbatrices par soustraction.

ÉQUILIBRAGE DU PONT

Pour équilibrer le pont, on injecte des perturbations artificielles à la sortie du transformateur haute tension (celui-ci étant hors tension) et l'on règle les éléments variables du pont de manière à minimiser ces perturbations au niveau de la mesure U_m . Pour ce faire, on utilise le même étalonneur que pour étalonner la mesure directe (mais cette fois aux bornes du transformateur et non aux bornes de l'objet en essai). Ensuite, on procède à l'étalonnage de la mesure, de la même manière que pour la mesure directe.

INCONVÉNIENT

La mesure en pont nécessite un appareillage relativement onéreux et encombrant.

Sources de perturbations

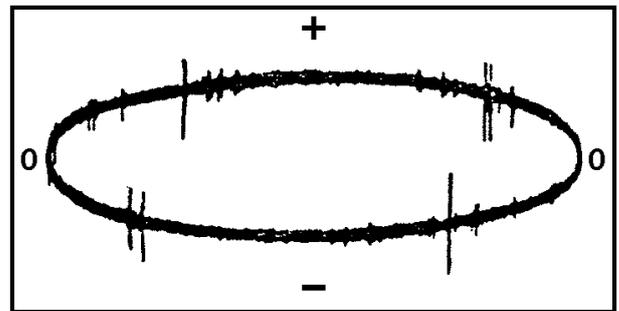
Le circuit de mesure peut être victime de diverses perturbations.

En laboratoire

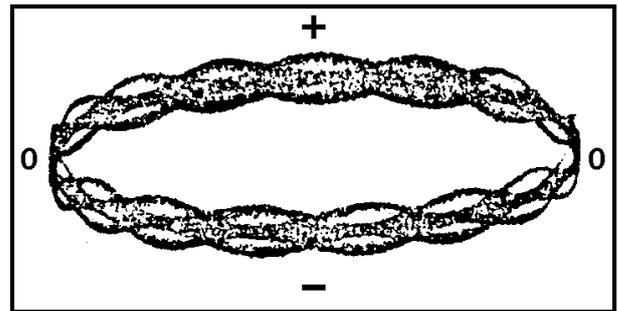
- Des décharges de surface autour de l'objet sous test.
- Des décharges dues à l'effet de couronne autour des éléments du circuit haute tension.
- Des décharges survenant dans des mauvais contacts au niveau des connexions.
- Des décharges se produisant autour d'objets électriquement flottants, qui se trouvent dans le champ électrique engendré par l'installation haute tension.
- Des harmoniques dus à une saturation du circuit magnétique du transformateur d'essai ou d'autres éléments du dispositif.
- Des champs électromagnétiques rayonnés par des éclairages fluorescents.

À l'extérieur

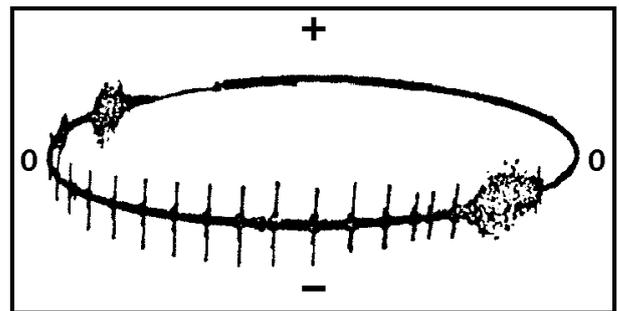
- Des parasites provenant de machines électriques en fonction.
- Diverses perturbations provenant de dispositifs particuliers tels que des thyristors, des bacs de nettoyage à ultrasons, etc.
- Des ondes électromagnétiques dans des fréquences allant jusqu'au GHz, modulées en amplitude ou en fréquence, ou encore pulsées.



Exemple de perturbations dues à un thyristor



Exemple de perturbations dues à une onde radio AM



Exemple de perturbations dues à un éclairage fluorescent

Electra, 1969 n°11, pp. 53-98

Mesure sur site

Pendant longtemps, la mesure sur site a nécessité l'utilisation de montage en pont, du fait des nombreux signaux perturbateurs présents dans l'environnement ; la mesure directe était alors réservée aux essais en laboratoire. Plus récemment, des dispositifs de traitement du signal, destinés à séparer les décharges partielles de toutes les autres impulsions du même type, ont permis d'obtenir de bons résultats en mesure directe. Les appareils de mesure des décharges partielles sur site, y compris sur des objets en service (câbles, transformateurs, machines tournantes) utilisent principalement deux types de traitement du signal :

- **Filtrage par fréquence.** Les perturbations ne concernent pas forcément la même bande de fréquences que les décharges partielles.
- **Fenêtrage.** Lorsque des perturbations sont corrélées avec l'alimentation, elles ne tombent pas forcément sur la même partie de la phase de la tension d'alimentation que les décharges partielles, ce qui permet de les éliminer en délimitant une fenêtre sur la phase.

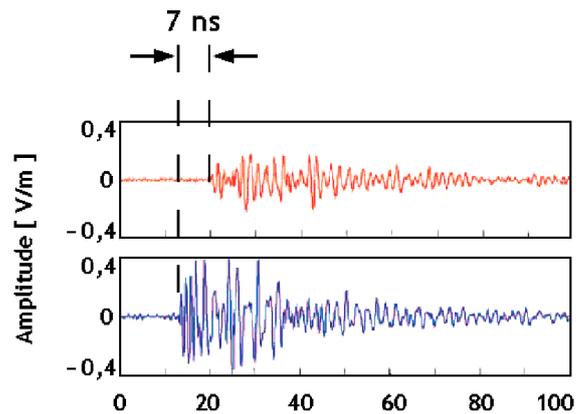
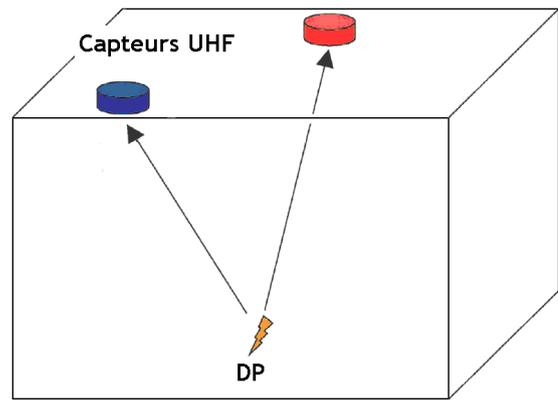
Localisation des défauts dans les transformateurs

Depuis quelques années, des tentatives ont été réalisées pour localiser d'éventuels défauts sur les transformateurs de puissance en service, par détection des décharges partielles à l'aide de capteurs à haute fréquence.

Le principe adopté est celui du décalage temporel dans l'instant de détection, entre plusieurs capteurs répartis sur la cuve du transformateur (figure ci-contre). Ces décalages sont de l'ordre de quelques nanosecondes, ce qui est aussi le cas de la durée d'une impulsion du genre des décharges partielles. Ainsi, des capteurs travaillant autour du gigahertz permettent de mesurer de tels signaux. À partir de ce principe, la localisation fiable des défauts se heurte toutefois à deux difficultés :

- les bruits haute fréquence que les capteurs reçoivent de la part de différentes sources externes ou internes au transformateur ;
- la modélisation du chemin suivi par les signaux provenant des décharges partielles. Contrairement à ce que laisse penser la figure simplifiée ci-dessus, les signaux provenant du défaut ne se propagent pas en ligne droite vers le capteur : ils traversent différents composants du transformateur et peuvent être diffractés ou réfléchis sur certaines surfaces. En outre, les caractéristiques des matériaux dépendent de la température, qui change selon l'état de charge du transformateur.

Cette technique fait l'objet de recherches assez poussées actuellement, dans le cadre de la surveillance en continu (*monitoring*) des éléments du réseau électrique, afin d'évaluer leur durée de vie restante et de planifier de manière optimale leur renouvellement.



Martin D. Judd, Li Yang, Ian B. B. Hunter, *Partial Discharge Monitoring for Power Transformers Using UHF Sensors*, IEEE Electrical Insulation Magazine, vol. 21 n°2 (mars/avril 2005) pp. 5-14.