

Mesure de la température des enroulements des transformateurs de puissance

La "**durée de vie**" des transformateurs est essentiellement conditionnée par la température de fonctionnement en régime nominal et de surcharge. Afin d'optimiser leur exploitation, de vérifier la conformité au cahier des charges, de suivre leur comportement dans le temps, il est important de connaître, pour différents régimes de charges, la température moyenne du bobinage de cuivre, déterminante pour le vieillissement des isolants. La méthode retenue, est basée sur la variation de la résistance de l'enroulement, qui augmente avec la température : coefficient de température du cuivre : 0.004 Ohm/°C.

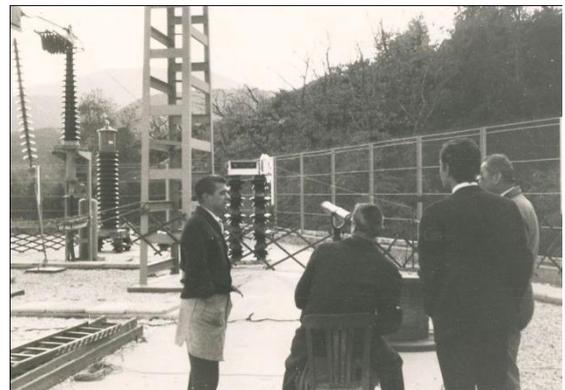
Cette méthode, mise au point par C Dietsch, H Larue, M Régent, a été expérimentée par la section essai de la division contrôle électrique en janvier 1950. Elle consiste à superposer un courant continu, fourni par des batteries d'accumulateurs, au courant alternatif de charge. La simple application de la loi d'Ohm : $R = U/I$, avec la mesure de l'intensité du courant continu dans le bobinage et de la tension continue à ses bornes, permet de connaître la résistance et donc d'en déduire la température moyenne de l'enroulement. Si le principe est simple, la réalisation l'est beaucoup moins, puisqu'il faut d'une part : injecter un courant continu et faire des mesures sur des enroulements sous haute tension alternative, depuis quelque kV, jusqu'à plusieurs centaines de kV, d'autre part : mesurer des grandeurs continues superposées à des grandeurs alternatives bien supérieures (plus de 100 fois), ceci avec une bonne précision et sur tous types de transformateurs :

- L'injection du courant continu est faite généralement au niveau des neutres mis à la terre à travers un dispositif constitué d'une batterie d'accumulateurs et de commutateurs. Le "retour" du courant continu se faisant par le neutre d'autres transformateurs ou d'un transformateur utilisés comme inductance haute tension ; L'injection n'est effectuée qu'au moment de la mesure.
- Pour la mesure du courant on utilise un millivoltmètre branché sur un shunt avec un filtrage du 50hz très poussé, par un transformateur différentiel et un circuit bouchon. Les shunts sont conçus pour un courant alternatif de 50 à 1000 A et un courant continu de mesure de 1 à 6 A.
- Pour la mesure de tension : mesure de quelques volts continus aux bornes d'un enroulement de transformateur en service, sous la pleine tension nominale de quelques dizaines de kV à 220 kV, un voltmètres est constitué par un microampèremètre monté en série avec une ou deux réactances haute tension servant à la fois à l'isolement, de résistance série, de filtre partiel à 50Hz. l'ensemble est complété : par des résistances additionnelles, un dispositif de filtrage très poussé (le rapport entre la tension alternative et la tension continue au niveau de la mesure étant très important jusqu'à 10000), ainsi que des éclateurs auto-soudables de protection en cas d'ouverture du circuit. On utilise généralement comme réactance des enroulements primaires de transformateurs de tension.

Vu les grandeurs au niveau des appareils de mesures : des millivolts et des microampères, de nombreuses précautions doivent être prises pour assurer une bonne précision : contacts, longueur des connexions, atténuation de thermocouples, câbles coaxiaux isolés au polyéthylène IL arrivait que les mesures soient faussées par des courants parasites : courants continus de traction circulant dans le sol...

En fonction : de la configuration locale, du type de transformateur, du couplage des enroulements, les systèmes de mesures peuvent être portés à des tensions alternatives élevées : jusqu'à 220 kV, dans ce cas les lectures se fait à la lunette terrestre à très fort pouvoir grossissant, par l'intermédiaire d'une glace placée au dessus du cadran avec un éclairage par un phare à pinceau lumineux.

Ces dispositifs seront améliorés par la suite : utilisation pour les mesures de tension de résistances HT, bobinées avec un fil de constantan (coefficient de température négligeable) montées dans des isolateurs, empilés en fonction de la tension. Appareils de mesure mis dans un coffret avec un système d'éclairage allumé à distance par l'intermédiaire d'une cordelette isolante...



Les mesures sont faites : sur des appareils de présérie chez les constructeurs (essais en court circuit), sur des transformateurs en exploitation ⁽¹⁾, périodiquement sur certains, notamment des transformateurs de groupes hydrauliques, qui ont un problème de vieillissement, ceci afin de suivre leur comportement dans le temps ⁽²⁾. De 1950 à 1952, elles ont été faites sur 20 transformateurs de tout types, elles se poursuivront par la suite au rythme de quelques appareils par an. En 1964 la réalisation de ces essais est transférée au Laboratoire de Saint

Denis qui les effectuera jusqu'aux années 1970. Ils seront alors repris par les Etudes et Recherches avec d'autres méthodes de mesure.

⁽¹⁾ Possibilité de les exploiter à des puissances plus élevées (notamment d'anciens appareils qui étaient surdimensionnés), étalonnage des images thermiques... Contrôle de la valeur de la puissance nominale : un transformateur construit pour la ligne Maginot avait été installé au poste de Roye, les essais d'échauffement où "il s'est mis à frirer" ont montré que la puissance nominale, inscrite sur la plaque signalétique, était largement surestimée. La question c'est posée de l'efficacité de la réfrigération du transformateur du groupe hydraulique de 250 MVA, Brommat 7. Cet appareil étant installé dans une "caverne" à l'extrémité d'une galerie de plusieurs centaines de mètres il n'a pas été évident d'installer le dispositif et de faire les mesures !

⁽²⁾ A titre d'exemple : Les transformateurs des groupes de la centrale de Bort les Orgues sont contrôlés avec cette méthode environ chaque 10 an. Ces appareils ont un problème de refroidissement : la section des canaux de circulation d'huile est légèrement réduite par un dépôt de vernis isolant qui est dissous par l'huile isolante. Les essais montrent qu'ils peuvent continuer à être exploités à leur puissance nominale le refroidissement par des hydroréfrigérants alimentés par l'eau à 7°C du pied du barrage étant très efficace. Pour l'anecdote et pour illustrer la complexité de ces essais, lors d'une des campagnes d'essais qui a consisté à mesurer la température de l'enroulement 220 kV de chacun des pôles monophasés des deux groupes, l'alternateur étant à pleine puissance, La cordelette isolante qui retenait une connexion de mesure raccordée à une borne 220 kV a lâché (brulée localement par l'effet couronne à l'extrémité d'une chaîne d'isolateurs). Elle est tombée sur la tubulure de raccordement du réservoir d'huile du transformateur qui a été percée par l'arc provoquant une fuite d'huile et l'arrêt instantané du groupe par protection masse cuve.