
Surveillance et diagnostic de l'état des transformateurs de puissance

Condition monitoring and diagnostics of power transformers

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[ISO 18095:2018](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/8e290cd5-dd57-4658-877f-98db4cb59350/iso-18095-2018)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/8e290cd5-dd57-4658-877f-98db4cb59350/iso-18095-2018>



iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 18095:2018

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/8e290cd5-dd57-4658-877f-98db4cb59350/iso-18095-2018>



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2018

Tous droits réservés. Sauf prescription différente ou nécessité dans le contexte de sa mise en oeuvre, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie, ou la diffusion sur l'internet ou sur un intranet, sans autorisation écrite préalable. Une autorisation peut être demandée à l'ISO à l'adresse ci-après ou au comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office
Case postale 401 • Ch. de Blandonnet 8
CH-1214 Vernier, Geneva
Tél.: +41 22 749 01 11
Fax: +41 22 749 09 47
E-mail: copyright@iso.org
Web: www.iso.org

Publié en Suisse

Sommaire

Page

| | |
|--|-----------|
| Avant-propos..... | vi |
| Introduction..... | vii |
| 1 Domaine d'application | 1 |
| 2 Références normatives | 1 |
| 3 Termes et définitions | 1 |
| 4 Abréviations | 1 |
| 5 Approche pour la sélection des techniques appropriées de surveillance d'état | 2 |
| 5.1 Mise en œuvre de la surveillance de l'état des transformateurs..... | 2 |
| 5.2 Composants, modes de défaillance et techniques de détection..... | 2 |
| 6 Types de transformateur de puissance | 3 |
| 6.1 Transformateurs remplis d'huile..... | 3 |
| 6.2 Transformateurs de type sec..... | 4 |
| 6.3 Transformateur isolé au gaz (GIT, Gas-insulated transformer)..... | 6 |
| 7 Analyse des modes de défaillance des transformateurs de puissance | 6 |
| 7.1 Composants..... | 6 |
| 7.2 Catégories de mode de défaillance..... | 7 |
| 7.2.1 Généralités..... | 7 |
| 7.2.2 Défaillances diélectriques..... | 7 |
| 7.2.3 Défaillances thermiques..... | 7 |
| 7.2.4 Défaillances mécaniques..... | 8 |
| 7.2.5 Défaillances externes..... | 8 |
| 7.3 Modes de défaillance..... | 8 |
| 7.4 Influences sur la vitesse de progression d'un mode de défaillance..... | 10 |
| 7.4.1 Généralités..... | 10 |
| 7.4.2 Charge..... | 10 |
| 7.4.3 Environnement..... | 10 |
| 7.4.4 Conception..... | 11 |
| 7.4.5 Maintenance..... | 11 |
| 7.4.6 Protection..... | 11 |
| 8 Éventail de techniques | 11 |
| 9 Vue d'ensemble des techniques de surveillance de l'état des transformateurs de puissance | 14 |
| 9.1 Intensité/tension/charge du secteur..... | 14 |
| 9.1.1 Mécanisme de défaut..... | 14 |
| 9.1.2 Technique..... | 14 |
| 9.1.3 Défauts détectés/composants couverts..... | 14 |
| 9.2 Examen visuel..... | 14 |
| 9.2.1 Mécanisme de défaut..... | 14 |
| 9.2.2 Technique..... | 15 |
| 9.2.3 Défauts détectés/composants couverts..... | 15 |
| 9.3 État de l'huile..... | 15 |
| 9.3.1 Mécanisme de défaut..... | 15 |
| 9.3.2 Technique..... | 17 |
| 9.3.3 Défauts détectés/composants couverts..... | 18 |
| 9.4 Température et thermographie..... | 19 |
| 9.4.1 Mécanisme de défaut..... | 19 |
| 9.4.2 Technique..... | 20 |
| 9.4.3 Défauts détectés/composants couverts..... | 20 |
| 9.5 Décharge partielle (PD)..... | 20 |
| 9.5.1 Mécanisme de défaut..... | 20 |
| 9.5.2 Techniques..... | 21 |

| | | |
|---|---|-----------|
| 9.5.3 | Défauts détectés/composants couverts..... | 22 |
| 9.6 | Analyse des gaz dissous (DGA)..... | 22 |
| 9.6.1 | Mécanisme de défaut..... | 22 |
| 9.6.2 | Technique..... | 23 |
| 9.6.3 | Défauts détectés/composants couverts..... | 23 |
| 9.7 | Bruit..... | 23 |
| 9.7.1 | Mécanisme de défaut..... | 23 |
| 9.7.2 | Technique..... | 24 |
| 9.7.3 | Défauts détectés/composants couverts..... | 24 |
| 9.8 | Ultrasons..... | 24 |
| 9.8.1 | Mécanisme de défaut..... | 24 |
| 9.8.2 | Technique..... | 25 |
| 9.8.3 | Défauts détectés/composants couverts..... | 25 |
| 9.9 | Vibrations..... | 25 |
| 9.9.1 | Mécanisme de défaut..... | 25 |
| 9.9.2 | Technique..... | 25 |
| 9.9.3 | Défauts détectés/composants couverts..... | 25 |
| 9.10 | Facteur de puissance/tan-delta et capacité..... | 26 |
| 9.10.1 | Mécanisme de défaut..... | 26 |
| 9.10.2 | Technique..... | 26 |
| 9.10.3 | Défauts détectés/composants couverts..... | 28 |
| 9.11 | Résistance..... | 29 |
| 9.11.1 | Mécanisme de défaut..... | 29 |
| 9.11.2 | Technique..... | 29 |
| 9.11.3 | Défauts détectés/composants couverts..... | 29 |
| 9.12 | Réponse en fréquence diélectrique (DFR), courant de polarisation/de dépolarisation (PDC), méthode de la tension de rétablissement (RVM)..... | 30 |
| 9.12.1 | Mécanisme de défaut..... | 30 |
| 9.12.2 | Technique..... | 30 |
| 9.12.3 | Défauts détectés..... | 30 |
| 9.13 | Analyse de réponse en fréquence (FRA)..... | 31 |
| 9.13.1 | Mécanisme de défaut..... | 31 |
| 9.13.2 | Technique..... | 31 |
| 9.13.3 | Défauts détectés..... | 31 |
| 9.14 | Courant d'excitation monophasé de dix (10) kV..... | 32 |
| 9.14.1 | Mécanisme de défaut..... | 32 |
| 9.14.2 | Technique..... | 32 |
| 9.14.3 | Défauts détectés/composants couverts..... | 32 |
| 9.15 | Flux de réactance de fuite..... | 33 |
| 9.15.1 | Mécanisme de défaut..... | 33 |
| 9.15.2 | Technique..... | 33 |
| 9.15.3 | Défauts détectés/composants couverts..... | 33 |
| 9.16 | Mesurage de capacité des traversées..... | 34 |
| 9.16.1 | Mécanisme de défaut..... | 34 |
| 9.16.2 | Technique..... | 34 |
| 9.16.3 | Défauts détectés/composants couverts..... | 35 |
| 9.17 | Nouvelles techniques..... | 36 |
| 9.17.1 | Méthode de l'estimation de la force de serrage des enroulements..... | 36 |
| 9.17.2 | Analyse en ligne de forme d'onde de tension et d'intensité basée sur un modèle..... | 36 |
| 10 | Établissement du programme..... | 37 |
| 10.1 | Sélection des techniques – De manière individuelle et en combinaison..... | 37 |
| 10.2 | Sélection de la fréquence de chaque technique de surveillance..... | 37 |
| Annexe A (informative) Facteurs influençant la durée de vie d'une isolation à base de papier et rôle de l'analyse de l'huile de transformateur/de l'analyse des gaz dissous..... | | 39 |
| Annexe B (informative) Exemple de programme type de surveillance d'état – Résultat produit suite à l'utilisation du présent document..... | | 43 |

| | |
|--|-----------|
| Annexe C (informative) Analyse des modes de défaillance et des symptômes (AMDS) | 45 |
| Bibliographie | 51 |

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[ISO 18095:2018](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/8e290cd5-dd57-4658-877f-98db4cb59350/iso-18095-2018)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/8e290cd5-dd57-4658-877f-98db4cb59350/iso-18095-2018>

Avant-propos

L'ISO (Organisation internationale de normalisation) est une fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation (comités membres de l'ISO). L'élaboration des Normes internationales est en général confiée aux comités techniques de l'ISO. Chaque comité membre intéressé par une étude a le droit de faire partie du comité technique créé à cet effet. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'ISO participent également aux travaux. L'ISO collabore étroitement avec la Commission électrotechnique internationale (IEC) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

Les procédures utilisées pour élaborer le présent document et celles destinées à sa mise à jour sont décrites dans les Directives ISO/IEC, Partie 1. Il convient, en particulier de prendre note des différents critères d'approbation requis pour les différents types de documents ISO. Le présent document a été rédigé conformément aux règles de rédaction données dans les Directives ISO/IEC, Partie 2 (voir www.iso.org/directives).

L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments du présent document peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. L'ISO ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et averti de leur existence. Les détails concernant les références aux droits de propriété intellectuelle ou autres droits analogues identifiés lors de l'élaboration du document sont indiqués dans l'Introduction et/ou dans la liste des déclarations de brevets reçues par l'ISO (voir www.iso.org/brevets).

Les appellations commerciales éventuellement mentionnées dans le présent document sont données pour information, par souci de commodité, à l'intention des utilisateurs et ne sauraient constituer un engagement.

(standards.iteh.ai)

Pour une explication de la nature volontaire des normes, la signification des termes et expressions spécifiques de l'ISO liés à l'évaluation de la conformité, ou pour toute information au sujet de l'adhésion de l'ISO aux principes de l'Organisation mondiale du commerce (OMC) concernant les obstacles techniques au commerce (OTC), voir le lien suivant: www.iso.org/avant-propos.

Le présent document a été élaboré par le comité technique ISO/TC 108, *Vibrations et chocs mécaniques, et leur surveillance*, sous-comité SC 5, *Surveillance et diagnostic des systèmes de machines*.

Introduction

Le présent document fournit des préconisations concernant la surveillance et le diagnostic de l'état des transformateurs de puissance utilisant des paramètres (tels que l'état de l'huile, la contamination de l'huile, l'état diélectrique, la température, la puissance, la tension et le courant) généralement associés aux critères de performance, d'état et de qualité. L'évaluation du fonctionnement et de l'état d'un transformateur de puissance peut être fondée sur la performance, l'état ou la qualité de la sortie.

Le présent document s'adresse aux gestionnaires d'actifs, aux personnes chargées de la spécification des équipements, aux propriétaires, aux exploitants et aux ingénieurs de fiabilité et de maintenance. Il fournit une «feuille de route» pour le processus de sélection. Les paramètres et les techniques sont axés sur la maintenance conditionnelle selon des bonnes pratiques, la détection des défauts, l'orientation des décisions de maintenance et l'évaluation de l'état de santé des actifs.

Il s'adresse principalement aux personnes qui ne sont pas des spécialistes des transformateurs, mais qui ont un petit nombre de transformateurs, par exemple pour alimenter un site de fabrication où de nombreux autres équipements dépendent du bon fonctionnement des transformateurs. La limite supérieure de puissance de ces transformateurs est probablement d'environ 50 MVA. Même si les mêmes principes s'appliqueront également aux propriétaires et aux exploitants d'un grand nombre de transformateurs, tels que les services publics, qui peuvent dépasser 50 MVA, on s'attend à ce qu'ils disposent déjà de leurs propres lignes directrices et procédures internes pour surveiller leurs transformateurs. De ce fait, ils ne sont pas la cible prioritaire du présent document.

Le présent document fait suite à l'ISO 17359, qui décrit le processus général de mise en œuvre d'un programme de maintenance conditionnelle.

ITeH STANDARD PREVIEW

(standards.iteh.ai)

ISO 18095:2018

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/8e290cd5-dd57-4658-877f-98db4cb59350/iso-18095-2018>

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 18095:2018

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/8e290cd5-dd57-4658-877f-98db4cb59350/iso-18095-2018>

Surveillance et diagnostic de l'état des transformateurs de puissance

1 Domaine d'application

Le présent document établit des lignes directrices relatives aux techniques de surveillance à envisager lors de l'élaboration d'un programme de surveillance de l'état de transformateurs de puissance et comporte des références à des normes associées nécessaires dans le cadre de ce processus. Il vise à faciliter la mise en œuvre d'un programme cohérent de surveillance de l'état et de maintenance conditionnelle tel que décrit dans l'ISO 17359 citée ci-après.

Le présent document est applicable aux transformateurs de puissance de courant alternatif monophasé ≥ 1 kVA et aux transformateurs de puissance de courant alternatif triphasé ≥ 5 kVA.

2 Références normatives

Les documents suivants cités dans le texte constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

ISO 13372, *Surveillance et diagnostic des machines — Vocabulaire*

IEC 60050, *Vocabulaire électrotechnique international*

ISO 18095:2018

[https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/8e290cd5-dd57-4658-877f-](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/8e290cd5-dd57-4658-877f-98db4cb59350/iso-18095-2018)

98db4cb59350/iso-18095-2018

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions de l'ISO 13372 et l'IEC 60050 ainsi que les suivants, s'appliquent.

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

— ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <https://www.iso.org/obp>

— IEC Electropedia: disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org/>

3.1

magnétostriktion

propriété des matériaux ferromagnétiques qui les fait changer de forme ou de dimensions pendant un processus d'aimantation

4 Abréviations

Pour les besoins du présent document, les abréviations suivantes s'appliquent.

C1 capacité principale des traversées d'un transformateur, mesurée entre un conducteur central transportant du courant et une électrode de mesure C1 intégrée dans la traversée

DGA analyse des gaz dissous (Dissolved Gas Analysis)

DFR réponse en fréquence diélectrique (Dielectric Frequency Response)

| | |
|-----------|--|
| DETC | changeur de prises hors tension (De-Energized Tap-Changer) |
| FFT | transformée de Fourier rapide (Fast Fourier Transform): analyse qui convertit un signal du domaine temporel en un spectre de fréquences |
| FRA | analyse de réponse en fréquence (Frequency Response Analysis) |
| IEEE | Institute of Electrical and Electronics Engineers |
| KOH | hydroxyde de potassium, utilisé dans une méthode de titrage destinée à évaluer l'acidité d'une huile |
| BT | basse tension |
| | NOTE Dans le présent document, cela fait référence au côté de plus basse tension du transformateur par rapport au côté de plus haute tension, et non à un quelconque niveau de tension spécifique. |
| OLTC | changeur de prises en charge (On-Load Tap-Changer) |
| OIP | papier imprégné d'huile (Oil Impregnated Paper), un type de technologie de traversées (voir également RBP, RIP et RIS) |
| PD | décharge partielle (Partial Discharge) |
| PDC | courant de polarisation et de dépolarisation (Polarization and De-polarization Current) |
| PF | facteur de puissance (Power Factor) |
| RBP | papier lié par résine (Resin Bonded Paper) |
| RIP | papier imprégné de résine (Resin Impregnated Paper) |
| RIS | matière synthétique imprégnée de résine (Resin Impregnated Synthetics) |
| RVM | méthode de la tension de rétablissement (Recovery Voltage Method) |
| tan-delta | tangente de l'angle de dissipation |

5 Approche pour la sélection des techniques appropriées de surveillance d'état

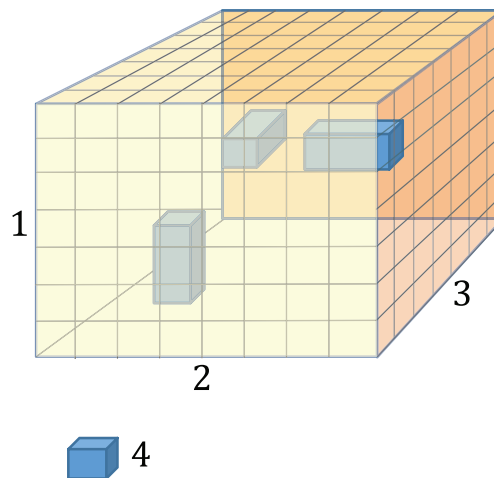
5.1 Mise en œuvre de la surveillance de l'état des transformateurs

Le processus général de mise en œuvre d'un programme de maintenance conditionnelle est décrit dans l'ISO 17359. Ce document donne des exemples davantage détaillés ainsi que des préconisations concernant un éventail de techniques spécifiques applicables à la surveillance de l'état des transformateurs.

5.2 Composants, modes de défaillance et techniques de détection

Le principal objectif de la surveillance d'état est de connaître l'état de l'équipement, d'être prévenu des possibles défaillances et de pouvoir effectuer les tâches de maintenance appropriées au moment opportun, c'est-à-dire une maintenance conditionnelle. Les tâches de maintenance sont effectuées pour éviter ou corriger les défaillances. Il est donc essentiel pour la maintenance conditionnelle de comprendre les modes de défaillance qui peuvent affecter l'équipement, et les techniques qui peuvent être utilisées pour détecter les premiers stades de ces modes de défaillance (défaillance potentielle) avant une défaillance fonctionnelle. Des modes de défaillance spécifiques affectent des composants spécifiques de l'équipement, et certaines techniques de détection sont plus adaptées à des modes de défaillance particuliers sur des composants particuliers. Par conséquent, la sélection du régime

de surveillance d'état le plus approprié implique d'avoir une compréhension des techniques les plus pertinentes pour les composants et modes de défaillance particuliers impliqués. Cela peut être représenté dans une matrice tridimensionnelle, comme indiqué à la [Figure 1](#), où les cases bleues indiquent la zone d'applicabilité de techniques particulières.



Légende

- 1 modes de défaillance
- 2 composants de transformateur
- 3 techniques de détection
- 4 zone d'applicabilité

ITeH STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

Figure 1 — Matrice de techniques de surveillance d'état applicables en fonction des composants et des modes de défaillance

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/8e290cd5-dd57-4658-877f-98db4cb59350/iso-18095-2018>

Les [Articles 6](#) à [10](#) présentent les différents types de transformateurs couramment utilisés, les composants impliqués dans ces types de transformateurs, les modes de défaillance associés à ces composants, et les techniques de détection de ces modes de défaillance.

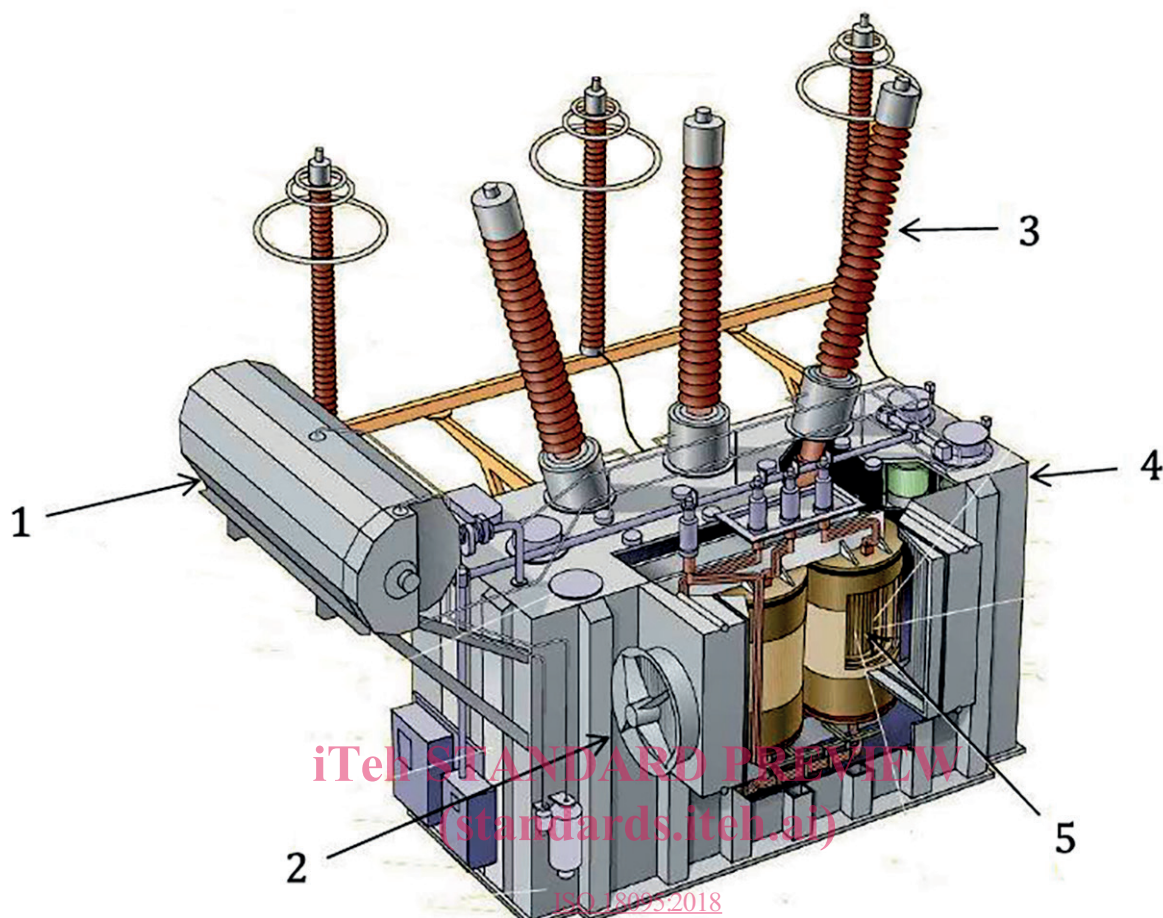
6 Types de transformateur de puissance

6.1 Transformateurs remplis d'huile

La majorité des gros transformateurs sont remplis d'huile ou d'un fluide diélectrique semblable à des fins de refroidissement et d'isolation. Souvent, il est possible de les décrire de diverses manières en fonction de leur puissance et de leur application, des exemples typiques étant:

- Transformateur principal de sortie (MOT, Main Output Transformer) ou transformateur survolteur (GSU, Generator Step Up transformer): relie une centrale électrique au système de transmission, généralement dans la plage de puissance de 100 MVA à 1 000 MVA.
- Transformateurs de transmission: généralement dans la plage de puissance de 30 MVA à 400 MVA.
- Transformateurs de distribution: généralement dans la plage de puissance de 2,5 MVA à 70 MVA.
- Transformateurs destinés au montage sur poteau: généralement dans la plage de puissance de 10 kVA à 3 MVA.
- Transformateurs d'alimentation de site ou d'usine: généralement dans la plage de puissance de 1 MVA à 50 MVA.

La [Figure 2](#) présente un schéma d'un transformateur rempli d'huile typique, illustrant les composants impliqués qui sont traités par la suite en [7.1](#) et dans le [Tableau 2](#).



Légende

- 1 réservoir/cuve d'huile
- 2 radiateur et ventilateur
- 3 traversées
- 4 cuve
- 5 enroulements et noyau

ISO 18095:2018
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/8e290cd5-dd57-4658-877f-98db4cb59350/iso-18095-2018>

Figure 2 — Transformateur rempli d'huile avec identification des composants clés

6.2 Transformateurs de type sec

Les transformateurs de type sec sont utilisés lorsqu'il est important d'éviter tout risque d'incendie et toute contamination environnementale. Étant donné qu'ils ne contiennent aucun fluide diélectrique comme de l'huile, leur contribution en termes d'énergie calorifique à la source d'un incendie est très limitée. Les transformateurs de type sec sont auto-extinguibles. Ils peuvent être utilisés dans des environnements protégés où une fuite d'huile ou d'autres fluides doit être évitée.

Les applications typiques du transformateur de type sec incluent les industries (pétrole et gaz, métaux et exploitation minière, etc.), les bâtiments (hôpitaux, aéroports, stades, grandes tours, etc.), les applications en mer (éoliennes, bateaux, plates-formes, etc.) et bien d'autres domaines.

De nos jours, les transformateurs de type sec peuvent atteindre une puissance de 63 MVA et une tension nominale de 72,5 kV. Ils peuvent également être installés avec des changeurs de prises en charge à isolant non liquide.

L'isolation diélectrique est généralement assurée par un isolant solide ou un mélange d'isolant solide et d'air. Les bobines sont soit imprégnées d'un vernis, soit encapsulées dans une résine. Ce type de construction donne lieu à un ensemble de modes de défaillance différent de celui des transformateurs remplis d'huile, car il n'y a évidemment pas d'isolant papier ou d'huile à dégrader. Un exemple type est donné à la [Figure 3](#).

Les transformateurs remplis d'huile comportent plus de composants que le transformateur de type sec, comme cela est indiqué dans le [Tableau 1](#). Cela a des répercussions sur les modes de défaillance possibles et donc sur les exigences en matière de maintenance et les techniques appropriées de surveillance d'état.

Les transformateurs de type sec peuvent également être équipés de changeurs de prises en charge. La [Figure 4](#) illustre un exemple. Sa puissance nominale est de 25 MVA et sa tension nominale de 69 kV.



NOTE Crédit photo: ABB Inc.

Figure 3 — Exemple de transformateur de type sec



NOTE Crédit photo: ABB Inc.

Figure 4 — Exemple de transformateur de type sec 69 kV 25 MVA avec changeur OLTC

6.3 Transformateur isolé au gaz (GIT, Gas-insulated transformer)

Pour les applications où la faible inflammabilité est primordiale, des conceptions ont été développées dans lesquelles le transformateur est isolé et refroidi avec du gaz SF₆. Ce type de transformateur est une alternative à la construction de type sec dans les cas où il est essentiel d'éliminer le risque d'incendie et d'éviter une éventuelle contamination de l'environnement par le déversement d'huile.

Les transformateurs haute tension SF₆ peuvent atteindre 300 MVA à 275 kV et des prototypes ont même atteint 500 kV pendant leur phase d'essai. Les transformateurs et les réacteurs remplis de gaz sont plus chers que les unités remplies d'huile, mais les coûts peuvent être justifiés pour éliminer un risque d'incendie, en particulier sur un site où le coût du terrain est élevé et où l'emprise au sol globale de l'unité peut être réduite par l'élimination des équipements de lutte contre l'incendie.

7 Analyse des modes de défaillance des transformateurs de puissance

7.1 Composants

La surveillance d'état vise à détecter les défaillances naissantes suffisamment tôt pour remédier au problème par des interventions appropriées avant qu'une défaillance totale ne se produise, c'est-à-dire pour pouvoir adopter une maintenance conditionnelle. Puisque les défaillances sont associées à des composants particuliers dans le transformateur, la description des modes de défaillance et des techniques de détection dans le présent document est structurée autour des composants. Les composants des différents types de transformateurs sont indiqués dans le [Tableau 1](#).

Tableau 1 — Composants des principaux types de transformateur

| | Composants | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|--------------|-------|---------------------|------------|-----------|----------------|------------|----------------------------|-------|----------------|------------------------|--------------------|-----------------|
| | Enroulements | Noyau | Connexions internes | Traversées | Isolation | Cuve/réservoir | Conserveur | Système de refroidissement | | | | Changeur de prises | |
| | | | | | | | | Huile | Pompe | Radia- teur | Ven- tila- teurs | En charge | Hors tension |
| Transformateurs remplis d'huile | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | (✓) | ✓ | (✓) | (✓) | (✓) | (✓) | (✓) |
| Transformateurs de type sec | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | (✓) | - | - | - | (✓) | (✓) | (✓) | (✓) |
| Transformateurs isolés au gaz | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | (✓) | - | (✓) | (✓) | (✓) | - | (✓) |

Légende
 ✓ Toujours présent
 (✓) Facultatif
 - Absent en principe

7.2 Catégories de mode de défaillance

7.2.1 Généralités

Les modes de défaillance des transformateurs de puissance sont généralement regroupés en quatre catégories, à savoir:

- défaillance diélectrique;
- défaillance thermique;
- défaillance mécanique;
- défaillance externe.

7.2.2 Défaillances diélectriques

La dégradation de l'isolation entre les conducteurs et les pièces mises à la terre, comme le fer du noyau, les cadres du noyau et d'autres pièces métalliques de structure à l'intérieur d'un transformateur peut entraîner des pertes accrues, une surchauffe et, pour les transformateurs remplis d'huile, la génération de gaz dans l'huile. À mesure que l'isolation se dégrade, sa capacité à résister aux contraintes de tension diminue et la capacité du transformateur à résister aux surtensions peut être considérablement réduite. À mesure que la dégradation devient plus sévère, l'isolation peut éventuellement ne plus pouvoir assurer son rôle dans des conditions normales de fonctionnement, conduisant à une défaillance catastrophique complète du transformateur.

7.2.3 Défaillances thermiques

Les radiateurs, les refroidisseurs, les ventilateurs, les pompes, les échangeurs thermiques, les refroidisseurs d'huile/d'eau et leurs équipements de commande associés doivent tous être en bon état de fonctionnement pour maintenir la température du transformateur à des niveaux acceptables. Une surchauffe peut conduire à des niveaux accrus de dégradation de l'isolation et à une dilatation thermique inégale. Des températures élevées de l'huile peuvent également créer des problèmes diélectriques, en particulier dans des transformateurs humides (remplis d'huile), et peuvent provoquer des problèmes de dilatation de l'huile. De nombreux défauts (notamment des défauts de connexion, des défauts de traversée, des défauts d'enroulement, etc.) peuvent également engendrer un échauffement