

Comment définir les spécifications des transformateurs secs enrobés pour les bâtiments commerciaux et industriels

de Michel Sacotte

Résumé

Afin de garantir un maximum d'avantages à leurs clients et pour leurs propres activités, les concepteurs et prescripteurs de réseaux de distribution électrique pour les bâtiments commerciaux et industriels doivent accorder une attention particulière à la manière dont ils sélectionnent les transformateurs. Cet article donne quelques conseils sur les principaux critères à prendre en compte dans le processus de conception des transformateurs, qui permettent d'améliorer la sécurité, la continuité de service, le rendement énergétique, la conformité, la durabilité et l'optimisation des dépenses d'investissement, sans perdre de vue l'importance des coûts d'exploitation qui en résultent et qui ont un impact considérable sur la satisfaction de l'utilisateur final.

Introduction

Les spécifications de projet concernant l'alimentation électrique ne sont généralement pas les premiers critères pris en compte pour les bâtiments commerciaux et industriels, mais représentent une part non négligeable des coûts. Cela est particulièrement vrai pour les transformateurs. Même si les dépenses d'investissement sont souvent le seul point pris en compte, cela ne devrait pas être le cas. Les dépenses d'exploitation de ces réseaux sont bien plus importantes que les dépenses d'investissement, en particulier du point de vue de l'utilisateur final.

Les raisons pour lesquelles les coûts d'exploitation sont souvent ignorés lors de la conception des transformateurs pour les bâtiments commerciaux et industriels sont nombreuses :

- Les coûts engendrés par la consommation électrique ne sont facturés que dans un deuxième temps, après que les dépenses d'investissement ont été engagées, et ne sont pas clairement liés à des décisions ou des pratiques d'exploitation particulières. Par conséquent, ils sont considérés comme inévitables.
- Les outils de modélisation des coûts électriques des bâtiments commerciaux et industriels ne sont pas très répandus et ne sont pas communément utilisés pendant la conception.
- Les coûts électriques facturés relèvent rarement de la responsabilité ou du budget du concepteur de l'installation, alors même qu'ils devraient être étudiés pendant la phase de conception.
- La facture d'électricité pour les bâtiments est parfois incluse dans une facture plus globale et n'est pas toujours disponible séparément.
- Les décideurs ne disposent pas d'informations suffisantes pour prendre leurs décisions de planification et d'achat en ce qui concerne les conséquences des coûts de l'électricité.

Des aspects majeurs comme la sécurité, la continuité de service, le rendement énergétique, le respect de l'environnement, l'optimisation des dépenses d'investissement et la conformité avec les normes sont importants pour déterminer les spécifications du transformateur et ont un impact sur leur coût. Ces facteurs sont souvent étroitement liés :

- La sécurité est définie par le comportement au feu et le niveau de résistance sismique
- La continuité de service peut être gérée par une maintenance digitalisée ainsi que la sécurité dans la définition diélectrique et la définition thermique
- Le rendement énergétique est souvent lié aux normes et réglementations
- Le respect de l'environnement est caractérisé selon les essais climatiques et environnementaux
- L'optimisation des dépenses d'investissement est directement liée à la définition des conditions d'utilisation et à leur connaissance
- La conformité avec la norme et la spécification est liée au fournisseur choisi

Ces aspects des transformateurs peuvent avoir un impact significatif non seulement sur le coût des transformateurs, mais aussi sur les coûts de l'énergie électrique sur la durée de vie d'un bâtiment commercial ou industriel, et peuvent parfois représenter jusqu'à 20 % de la facture d'électricité. Lorsque ces facteurs sont pris en compte

pendant la phase de définition, des économies financières substantielles sont possibles pour les gestionnaires, les utilisateurs et les investisseurs des installations d'un bâtiment. Bien que les plus gros avantages puissent être obtenus avec la conception de nouvelles installations, des économies sont aussi possibles pour les bâtiments existants et les bâtiments remaniés.

L'impact de la spécification sur les coûts

Bien que les concepteurs et prescripteurs considèrent naturellement leurs spécifications en termes techniques, les facteurs décrits ci-dessus sont directement affectés par leurs choix. Et bien que la puissance nominale soit souvent le premier critère en termes de coûts, d'autres facteurs, comme les pertes, le niveau d'isolement, la tension nominale, le niveau de bruit, le degré de protection, les conditions d'installation, les conditions d'utilisation et les normes, peuvent avoir, dans la même mesure, un impact sur le coût du transformateur et sur son coût d'exploitation.

Les raisons pour lesquelles ces facteurs font une telle différence dans le coût d'achat et le coût d'exploitation des équipements sont nombreuses :

- Le niveau de pertes avec des transformateurs efficaces est désormais très bas. Le flux dans le noyau est réduit, la qualité de l'acier magnétique est élevée et cela augmente le coût du transformateur.
- Le choix de l'isolement modifie les distances diélectriques dans le transformateur, avec un effet majeur sur la taille des transformateurs pour que les autres paramètres restent constants.
- Le degré de protection avec l'utilisation ou non de l'enveloppe est également un critère.
- L'altitude, les conditions environnementales, le comportement au feu et la résistance sismique ont un impact sur le coût, car les transformateurs qui répondent à ces exigences présentent des matières premières spéciales, des distances spéciales et des architectures spéciales.
- Pour réduire le bruit, le flux dans le noyau doit être réduit, ce qui augmente le coût, car la section du noyau doit alors être augmentée.

Impact des paramètres sur les critères de projet

Le tableau suivant montre la correspondance des principaux paramètres du transformateur avec les valeurs clés pour les immeubles commerciaux et industriels.

	Sécurité	Continuité de service	Rendement électrique	Respect de l'environnement	Conformité avec la norme	Dépenses d'investissement
Puissance nominale		✓	✓		✓	✓
Système de refroidissement	✓	✓			✓	✓
Pertes			✓		✓	✓
Niveau d'isolement	✓	✓			✓	✓
Tension nominale			✓		✓	✓
Degré de protection	✓					
Comportement au feu	✓			✓	✓	
Environnement et climat	✓	✓		✓	✓	
Essai sismique	✓	✓			✓	✓

Tableau 1

Correspondance des principaux paramètres du transformateur avec les valeurs clés pour les bâtiments commerciaux et industriels

Comment définir les spécifications des transformateurs secs enrobés pour les bâtiments commerciaux et industriels

	Sécurité	Continuité de service	Rendement électrique	Respect de l'environnement	Conformité avec la norme	Dépenses d'investissement
Directive environnementale				✓	✓	✓
Maintenance		✓				✓
Documentation						

Comment déterminer les spécifications des principaux paramètres d'un transformateur

Cette section explique les caractéristiques physiques des transformateurs, afin de faciliter la prise de décision concernant leurs valeurs.

Puissance nominale

Les principaux critères pour les bâtiments commerciaux et industriels, comme la continuité de service, le rendement électrique, les dépenses d'investissement et la conformité avec les normes, sont liés à la définition correcte de la puissance nominale.

Problématiques

Un transformateur peut fonctionner normalement pendant environ 20 ans sous une charge continue qui correspond à sa puissance nominale et à une température ambiante journalière moyenne de 20 °C.

Le choix d'un transformateur avec une puissance nominale trop faible ou trop importante a des conséquences négatives. Si la puissance nominale est trop faible, des problèmes de sécurité peuvent survenir. Et bien que le transformateur puisse supporter une surcharge pendant une très courte période (jusqu'à 1,5 fois le courant nominal), sa durée de vie est alors réduite.

Si la puissance nominale est trop élevée, les dépenses d'investissement et d'exploitation sont sous-optimisées. Si le transformateur est surdimensionné, alors le prix, les dimensions et les poids sont inappropriés. Dans ce cas, la consommation d'électricité pour les pertes à vide est plus importante et augmente le coût d'exploitation, mais peut être compensée par des pertes en charge réduites. Ce point doit être pris en compte pendant la phase de conception. Une section ultérieure dans cet article est consacrée aux pertes et explique comment déterminer quel est le meilleur compromis.

Recommandations

- La détermination de la puissance nominale doit tenir compte de tous les paramètres connus concernant la charge connectée aux transformateurs, le profil de charge, les taux d'harmoniques de la charge et les modifications à venir de ces paramètres.
- Le profil de charge doit montrer la vue d'ensemble de la charge journalière ainsi que les événements exceptionnels qui peuvent survenir.

- Si la charge journalière n'est pas continue au cours du jour et de la nuit, alors la taille du transformateur peut être réduite sans réduire sa durée de vie en tenant compte de la constante de temps thermique et de l'avantage de la période sans charge par rapport à la période en charge.
- Si les taux d'harmoniques (le taux de la valeur effective de tous les harmoniques par rapport à la valeur effective de la fondamentale voir CEI60076-1) sont supérieurs à 5 %, ils doivent être étudiés avec soin pour éviter la surchauffe des transformateurs.
- La future charge devra également être connue afin d'avoir une réserve de puissance nominale et d'éviter d'avoir à remplacer le transformateur par un appareil de plus forte puissance.
- Les événements de surcharge exceptionnelle peuvent être gérés
 - grâce à un système de refroidissement supplémentaire
 - grâce au calcul de l'impact de l'effet instantané et à la compensation par la période de temps avec une charge réduite.

Les cas d'urgence doivent également être envisagés dans le cas ci-dessus, afin de respecter les normes ou réglementations en vigueur.

- Si les transformateurs sont équipés de différentes méthodes de refroidissement (par exemple des ventilateurs), la puissance nominale des transformateurs doit être donnée avec les ventilateurs. Si ces ventilateurs sont utilisés uniquement dans les cas d'urgence, la puissance nominale des transformateurs peut être définie sans les ventilateurs.

Transformateurs isolés à l'air

Les principaux critères pour les bâtiments commerciaux et industriels, comme la sécurité, la continuité de service, les dépenses d'investissement et la conformité avec les normes, sont liés à une définition correcte de la température ambiante autour des transformateurs.

Problématiques

La température de l'agent de refroidissement externe in situ peut dépasser une ou plusieurs valeurs normales données ci-dessous.

Recommandations

Toutes les limites d'échauffement indiquées pour la classe thermique doivent être corrigées proportionnellement à la valeur excédentaire.

Les limites de température ambiante normale pour les transformateurs de puissance sont données dans les normes CEI 60076-1 et CEI 60076-2. En ce qui concerne les exigences relatives à l'augmentation de température normale, les températures sur le site d'installation ne doivent pas dépasser :

- + 40 °C à tout moment
- + 30 °C pour la température moyenne mensuelle, pour le mois le plus chaud
- + 20 °C pour la température moyenne annuelle

Les températures moyennes doivent être obtenues à partir des données météorologiques suivantes (voir CEI 60076-1) :

- La température moyenne mensuelle est la somme de la moyenne du maximum journalier et de la moyenne du minimum journalier pendant un mois donné, sur plusieurs années.

- La température moyenne annuelle est un douzième de la somme des températures moyennes mensuelles.

Pertes

Les principaux critères pour les bâtiments commerciaux et industriels, comme le rendement énergétique, la conformité avec les normes et les dépenses d'investissement, sont liés à une définition correcte des pertes.

Problématiques

Le coût d'utilisation des transformateurs n'est pas négligeable et il est fonction des pertes à vide, des pertes en charge et du facteur de charge des transformateurs. Le coût d'utilisation plus le coût des transformateurs est appelé le coût total de propriété (TCO=Total cost of ownership).

Les pertes à vide sont générées par le noyau magnétique pendant toute la durée de vie des transformateurs, quelle que soit leur charge. Les pertes à vide sont sensibles à la tension primaire, qui est en général la tension nominale des transformateurs. Si les transformateurs sont mis sous tension avec une tension supérieure à leur tension nominale, alors leur consommation d'énergie est plus importante. Les harmoniques en tension qui sont normalement très rares peuvent également provoquer des pertes à vide supplémentaires.

D'autre part, les pertes en charge sont générées par la bobine BT et la bobine MT et varient avec le carré du courant dans ces bobines. Les pertes en charge peuvent également varier considérablement avec le niveau de l'harmonique du courant.

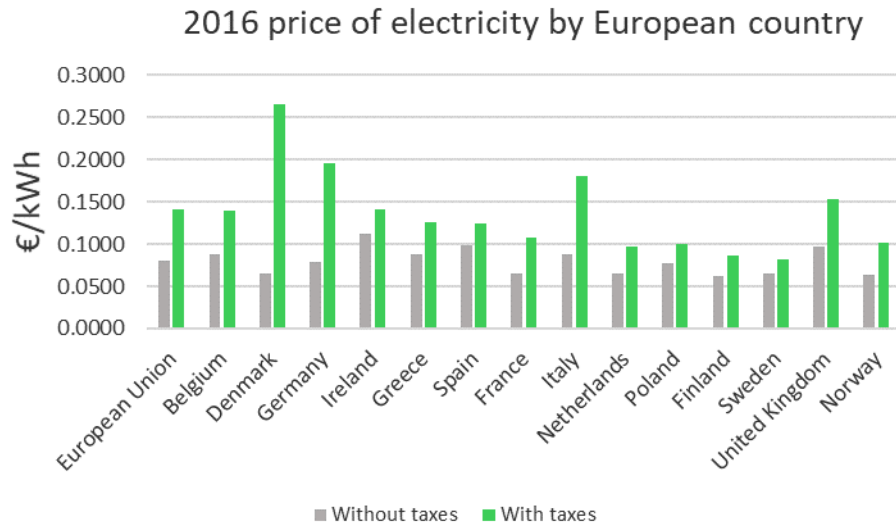
Les transformateurs avec des pertes à vide inférieures et des pertes en charge inférieures sont plus coûteux, mais leur coût d'utilisation est inférieur car ils consomment moins d'électricité.

L'impact des pertes est important et, étant donné que les pertes dépendent de la température, nous recommandons de veiller à ce que la température indiquée pour les pertes soit celle définie dans la norme (par exemple la température pour les pertes en charge pour la Classe F est de 120 °C et pour la Classe H de 145 °C).

Dans les pays européens, en fonction de la situation, le coût de l'électricité toutes taxes incluses est compris entre 0,08 €/kWh pour la Suède et 0,26€/kWh au Danemark, avec une moyenne de 0,13 €/kWh.

Figure 1

Coût par kWh dans les pays de l'UE
Source : eurostat



Ces informations rendent le choix des transformateurs plus difficile si l'utilisateur veut maîtriser le coût d'utilisation (et par conséquent le TCO) des transformateurs pendant leur durée de vie.

Dans les pays européens et d'autres pays développés, les réglementations et les normes ont été rédigées pour réduire le volume d'émissions de CO₂. En Europe, la directive 2009/125/CE conduit à modifier les niveaux de perte des transformateurs pour réduire le niveau de CO₂ avec le même coût total de propriété (coût d'achat plus coût opérationnel) pendant leur cycle de vie. La réglementation européenne autorise deux niveaux d'efficacité : NIVEAU 1 et NIVEAU 2. Le NIVEAU 1 est obligatoire depuis le 1^{er} juillet 2015 et le NIVEAU 2 deviendra obligatoire en 2021.

Recommandations

Pour faire le choix le plus économique, les prescripteurs et concepteurs doivent connaître les paramètres nécessaires à la prise de décision :

- Le coût de l'électricité
- Le taux d'intérêt
- Le facteur de charge (car les pertes en charge varient avec le carré de cette valeur)
- La durée de vie escomptée des transformateurs

Plusieurs exemples ci-dessous illustrent le meilleur choix concernant le TCO, si les clients d'un prescripteur ou d'un concepteur veulent tenir compte de ces paramètres.

En supposant qu'un concepteur ou un prescripteur veuille faire son choix en fonction de la puissance nominale, les tableaux suivants montrent le meilleur choix en termes de TCO, confirment le choix de la puissance nominale et donnent des indications sur le choix de NIVEAU dans les réglementations de l'UE.

Tableau 2

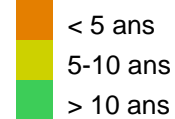
Choix de NIVEAU en fonction du facteur de charge (K) avec un coût de l'électricité de 0,13 €/kWh pour 15 ans d'utilisation

Puissance nominale	Economies du NIVEAU 2 par rapport au NIVEAU 1 en %				Délai de récupération en années			
	K = 0,25	K = 0,5	K = 0,75	K = 1	K = 0,25	K = 0,5	K = 0,75	K = 1
250								
400								
630								
800								
1 000								
1 250								
1 600								
2 000								
2 500								

Réduction du TCO par rapport au NIVEAU 1



Délai de récupération par rapport au NIVEAU 1



Dans tous les cas, le NIVEAU 2 est préférable.

Tableau 3

Choix de NIVEAU en fonction du facteur de charge (K) avec un coût de l'électricité de 0,08 €/kWh

Puissance nominale	Economies du NIVEAU 2 par rapport au NIVEAU 1 en %				Délai de récupération en années			
	K = 0,25	K = 0,5	K = 0,75	K = 1	K = 0,25	K = 0,5	K = 0,75	K = 1
250								
400								
630								
800								
1 000								
1 250								
1 600								
2 000								
2 500								

Ces deux tableaux montrent qu'il est dans l'intérêt de l'utilisateur de choisir le NIVEAU 2, même si le prix d'achat est supérieur. Sur une période de 15 ans, les économies réalisées sur le TCO sont toujours positives, de 0,5 % à plus de 10 %, avec un délai de récupération qui varie de 1 à 30 ans selon nos calculs.

Niveau d'isolement

Les principaux critères pour les bâtiments commerciaux et industriels, comme la sécurité, la continuité de service, la conformité avec les normes et les dépenses d'investissement, sont liés à la définition correcte du niveau d'isolement des transformateurs.

Problématiques

Une rupture diélectrique interrompt inévitablement le service car, dans la plupart des cas, cette rupture fait que la protection ouvre le circuit. Les causes principales de la rupture électrique sont (1) la surtension, (2) une faiblesse importante du transformateur ou un événement inattendu.

1. Rupture diélectrique en raison de la surtension

Recommandations

Pour éviter ce genre d'incident, il est indispensable de choisir un niveau d'isolement approprié pour les transformateurs.

La norme CEI 60076-11(2004) propose plusieurs niveaux d'isolement pour les transformateurs secs, comme indiqué dans le tableau 5 :

Tension la plus élevée pour l'équipement U_m (valeur efficace) kV	Tension appliquée ou tension de tenue en tension induite des extrémités de ligne (valeur efficace) kV	Tension nominale de tenue aux chocs (valeur de crête) kV	
		Liste 1	Liste 2
1,1	3	-	-
3,6	10	20	40
7,2	20	40	60
12,0	28	60	75
17,5	38	75	95
24,0	50	95	125
36,0	70	145	170

Tableau 4

Niveaux d'isolement basés sur la pratique européenne

Pour l'enroulement basse tension (en général ~400 V), le choix de l'isolement 1,1 kV est souvent le meilleur, car il n'y a pas de contraintes électriques élevées sur cet enroulement dans les réseaux basse tension.

Pour l'enroulement moyenne tension, le choix de la tension la plus élevée pour l'équipement doit tenir compte de la tension maximale y compris la prise, et se faire entre la Liste 1 et la Liste 2 dans le tableau ci-dessus.

Le choix entre la liste 1 et la liste 2 doit se faire en tenant compte du degré d'exposition aux surtensions de foudre et de manœuvre, du type de système de mise à la terre du neutre et, le cas échéant, du type de dispositif de protection de surtension (voir CEI 60071).

Cependant, pour améliorer la sécurité et la continuité de service et réduire le risque, il est préférable de choisir la valeur de la Liste 2, qui permet d'avoir plus de marge en cas d'événements inattendus sur le réseau (par exemple une surtension transitoire due à un foudroiement ou un déclenchement). Le coût de la Liste 2 est supérieur car les distances diélectriques augmentent entre les bobines entre elles et entre les bobines et le noyau.

2. Ruptures diélectriques en raison d'une faiblesse importante du transformateur

Pour éviter ce genre de rupture, l'essai de décharge partielle conformément à la norme avec un écart limité de 10 % doit toujours être effectué, étant donné qu'il s'agit d'un essai périodique. Les fabricants avec de bons niveaux de qualité peuvent généralement utiliser les essais de type pour prouver que leurs transformateurs sont capables de ne pas dépasser 5 pC. Cet essai prouve que les bobines sont bien conçues en termes de contraintes électriques internes et bien moulées, sans bulles ni fissures.

Pour garantir un niveau de qualité supérieur, certains fabricants réalisent l'essai de tension de tenue en tension induite à $2,5 U_n$ au lieu de $2 U_n$, comme indiqué par la norme CEI 60076-3. Cette valeur supérieure améliore la confiance dans le produit final, car ces essais peuvent détecter des défauts imprévus, qui ne peuvent être détectés avec des valeurs inférieures.

Il est également possible de demander un essai aux chocs de foudre (sur un échantillon) pour garantir la totale fiabilité des transformateurs dans des circonstances de contraintes élevées. En général, ce sont des essais de type (qui ne font pas l'objet d'essais systématique.) qui prouvent la capacité du fabricant à concevoir un système d'isolement de haute qualité capable de résister à un phénomène qui survient à haute fréquence (tension transitoire rapide).

Pour les nouveaux fabricants de transformateurs secs enrobés, il est conseillé de demander l'essai de décharge partielle des transformateurs à leur échauffement nominal. Cela prouve que le fabricant maîtrise tous les phénomènes avec la résine et garantit également qu'il n'y a pas de décharge partielle à hautes températures, ce qui réduit la probabilité de défaillance à long terme et assure une bonne continuité de service.

En résumé, pour obtenir la continuité de service la meilleure possible pour le transformateur, nous recommandons de demander les essais de tension de tenue induite à $2,5 U_n$, les essais aux chocs de foudre sur certains échantillons et des essais de décharge partielle spéciaux à l'échauffement nominal du transformateur.

Tension nominale

Les principaux critères pour les bâtiments commerciaux et industriels, comme le rendement énergétique, la conformité avec les normes et les dépenses d'investissement, sont liés à la définition correcte de la tension nominale.

Problématiques

Pendant la phase d'installation du transformateur, le choix de tension est généralement simple, mais il est obligatoire de spécifier la tension nominale. La chute de tension sera également prise en compte ; elle est fonction de l'impédance et du type de charge.

Recommandations

En ce qui concerne le rendement énergétique et les dépenses d'investissement, il est important d'avoir une tension adéquate du côté basse tension, en minimisant les pertes dans le réseau ou en fonction de l'application.

Si vous voulez ajuster la tension, il est recommandé de bien régler les prises de tension, et de veiller à leurs réglages durant la vie du transformateur.

Degré de protection

Les principaux critères pour les bâtiments commerciaux et industriels, comme la sécurité, sont améliorés par l'enveloppe.

Problématiques

L'enveloppe est très importante pour la sécurité du personnel. Même avec la résine, le fait de toucher un transformateur sec peut entraîner la mort.

Solutions et technologies

Différents degrés de protection peuvent être appliqués aux transformateurs secs enrobés. IP00 signifie qu'il n'y a pas d'enveloppe. Les concepteurs peuvent choisir parmi les indices de protection (IP) standard, comme IP31 ou IP21. Ces codes d'enveloppes sont définis dans la norme CEI 60529. Le premier chiffre dans l'indice de protection caractérise la protection contre la pénétration de corps solides étrangers. Le second caractérise la protection contre la pénétration de l'eau avec effets nuisibles.

Recommandations

L'indice IP31 est souvent un bon compromis, car il assure un bon niveau de protection, sans trop réduire la circulation d'air autour du noyau et de l'enroulement du transformateur. Il indique une protection contre les corps solides supérieurs à 2,5 mm. Le 1 indique la protection contre les gouttes d'eau verticales.

Comportement au feu

Les principaux critères pour les bâtiments commerciaux et industriels, comme la sécurité, le respect de l'environnement et la conformité avec les normes, sont liés au comportement de résistance au feu des transformateurs. Les transformateurs appartenant à la Classe F1 doivent être sélectionnés.

Problématiques

Les transformateurs secs enrobés sont particulièrement adaptés aux bâtiments où le risque d'incendie n'est pas acceptable.

Solutions et technologies

Pendant plus de 30 ans, les experts responsables de la normalisation au Cenelec et à l'IEC/TC 14 ont travaillé sur le sujet pour affiner les essais au feu, et ainsi permettre aux fabricants de livrer des transformateurs de série parfaitement fiables.

C'est pourquoi les séquences d'essai ont désormais été élaborées dans la norme CEI 60076-11(2004), pour que les transformateurs livrés aux clients soient identiques à ceux qui ont passé les essais avec succès. La séquence démarre donc avec l'essai climatique, suivi par l'essai d'environnement et enfin par l'essai de résistance au feu sur les mêmes transformateurs. Il est essentiel que les fournisseurs remettent les certificats indiquant cette séquence d'essais sur des transformateurs similaires à ceux livrés.

Recommandations

En cas d'incendie, dans les conditions de l'essai pour les transformateurs de la classe F1, l'augmentation de température au-dessus de la température ambiante de la fumée restera en dessous de 420 K et la toxicité du gaz limitée, de sorte que les pompiers puissent éteindre l'incendie.

Essai d'environnement et essai climatique

Les principaux critères pour les bâtiments commerciaux et industriels, comme la sécurité, la continuité de service et la conformité avec les normes, sont liés à la définition correcte des essais d'environnement et climatiques.

Problématiques et solutions

Même si les transformateurs ne sont pas exposés à des températures très basses, l'essai climatique est important pour montrer que le fabricant maîtrise l'expansion de la résine par rapport aux conducteurs en aluminium ou en cuivre.

Recommandations

Les essais améliorent la confiance dans les produits. Les essais d'environnement montrent que le transformateur peut supporter un niveau élevé d'humidité et peut assurer une continuité de service même si la pièce où il est installé présente un problème d'humidité ou de système de conditionnement d'air.

Comportement sismique

Les principaux critères pour les bâtiments commerciaux et industriels, comme la sécurité, la continuité de service et la conformité avec les normes et les dépenses d'investissement, sont liés à la définition correcte des essais sismiques.

Problématiques

En fonction de l'endroit où est installé le transformateur, il peut être important que celui-ci résiste aux effets sismiques et assure la continuité de service dans une telle situation. Certaines caractéristiques concernant la résistance sismique peuvent donc être exigées.

Solution

La zone sismique permet aux projeteurs de choisir le niveau d'essai sismique approprié ; cependant, même pour les sites de faible activité sismique, une exigence de résistance sismique, au moins de premier niveau, est souhaitable, afin de garantir la continuité de service. Les centrales nucléaires exigent toujours un haut niveau de résistance.

En outre, lorsque les fabricants maîtrisent ce genre d'essais, ils prouvent leur haut niveau de compétence dans la structure et la conception mécaniques et en termes de calculs la maîtrise d'outils de conception modernes.

Les fabricants sont aujourd'hui capables de concevoir des transformateurs standard pouvant résister à des séismes de niveau supérieur à 7 sur l'échelle de Richter.

Recommandations

En cas d'événements inattendus tels que des séismes, le propriétaire de l'installation peut ainsi être rassuré sur la continuité de service. Mais même si une conception n'exige pas la capacité à résister aux séismes, il est conseillé de demander ces certificats d'essai du fabricant quoi qu'il en soit, afin d'évaluer son degré de maturité à cet égard.

Directives environnementales européennes (RoHS, REACH, PEP, EOLI)

Un des critères clés lors de la conception de bâtiments commerciaux et industriels tels que le respect de l'environnement est lié à la prise en compte par les fournisseurs des principaux critères environnementaux, notamment les instructions de fin de vie (EOLI), la limitation de l'utilisation de certaines substances dangereuses dans les équipements électriques et électroniques (RoHS), le Profil Environnemental Produit (PEP) et l'enregistrement, l'évaluation, l'autorisation et la restriction des substances chimiques (REACH).

Recommandations

Il est important que les transformateurs aient l'impact environnemental le plus faible possible. Les réglementations sont de plus en plus strictes à ce sujet. Cela peut également permettre d'éviter des coûts de remplacement de composants considérables (comme par le passé avec les polychlorobiphényles ou PCB). Nous recommandons de vérifier les informations suivantes pour chacun de ces critères :

- Pour Eoli, le fabricant doit indiquer comment gérer la fin de vie des composants des transformateurs. Une procédure claire doit être fournie.
- Le document Profil Environnemental Produit (PEP) fournit des informations détaillées sur l'impact environnemental de chaque produit et de ses matières premières. Le fabricant doit pouvoir donner des informations détaillées concernant l'impact environnemental du produit et de ses composants. Cet impact est défini par 11 indices (CO₂, réduction de la couche d'ozone, toxicité de l'eau, production de déchets dangereux, etc.). (<http://www.pep-ecopassport.org/>)
- Dans le cadre de REACH (réglementation européenne), il existe des substances chimiques autorisées et des substances chimiques interdites. Le fabricant doit être en mesure de fournir la liste des substances chimiques autorisées, en précisant les quantités correspondantes. Les fabricants doivent prouver qu'aucune substance interdite n'est utilisée dans leurs transformateurs ni dans leurs composants.
- Dans le cadre de la directive ROHS (2011/65/EU) concernant les métaux (cadmium, mercure, plomb, chrome hexavalent) et les phtalates, même si ceux-ci n'entrent pas encore dans le cadre de la directive, les fabricants doivent indiquer que l'utilisation des dix substances limitées respecte les tolérances.

Conformité avec la norme

Problématique

Surveillance du marché pour assurer une concurrence loyale

Solution

Le seul moyen de vérifier la fiabilité des transformateurs est de faire des essais. En fait, même si la taille et le poids peuvent donner une première idée de sa conformité, l'impact de la conception et du procédé est tellement important que seuls des essais peuvent prouver la conformité. Les mesures diélectriques, thermiques, acoustiques et de rendement, etc. sont également très compliquées et doivent être suivies avec attention.

La conformité avec les normes est fondamentale pour garantir des transformateurs sûrs et fiables pendant une longue durée de vie, c'est-à-dire plus de 40 ans s'ils sont bien conçus et bien testés, conformément aux normes et aux instructions décrites dans cet article.

Recommandations

Nous recommandons aux projeteurs et spécificateurs d'être très exigeants en ce qui concerne les essais en usine et de comprendre quels sont les essais périodiques et lesquels sont obligatoires. En ce qui concerne les essais de type et les essais spéciaux, la documentation en conformité avec les normes CEI doit être exigée.

Maintenance et fiabilité

Problématique

Bien que les transformateurs secs enrobés ne nécessitent normalement pas de maintenance, des capteurs thermiques sont disponibles pour indiquer la température des bobines, avec les tolérances correspondantes.

Un nouveau concept en cours de développement permet de réaliser des mesures en divers points des transformateurs pour détecter les contacts vieillissants ou la liaison de contacts avec les réseaux. Ces informations permettent des pratiques de maintenance innovantes qui se concentrent sur des méthodes prédictives et proactives plutôt que réactives, ce qui peut avoir un impact favorable sur la continuité de service et les coûts d'exploitation.

Documentation

Les principaux critères pour les bâtiments commerciaux et industriels, comme la continuité de service, le rendement et les dépenses d'investissement, sont liés à la facilité d'accès à la documentation même plusieurs années après la mise en service d'une installation.

Problématique

Il est souvent difficile de localiser la documentation sur la maintenance, l'historique et les performances des équipements.

Solution

La documentation connectée constitue un gros avantage pour le personnel de maintenance et les gestionnaires des installations. Un Code QR sur la plaque du transformateur donne rapidement accès aux informations principales à l'aide d'un *Smartphone* ou d'une tablette. Ces informations peuvent être stockées en fonction des préférences du client, sur un réseau spécialisé ou dans le *Cloud*.

Cela permet de gérer les connaissances sur le cycle de vie des transformateurs ou de toute l'installation électrique, y compris le stockage et la récupération des informations sur les transformateurs dans un lieu central unique, et de garder une trace des modifications apportées à ces informations ou de procéder au partage sélectif des informations avec des utilisateurs particuliers.

Conclusion

Lorsque les concepteurs et prescripteurs de réseaux de distribution électrique pour des bâtiments commerciaux et industriels accordent une attention particulière à certains paramètres des transformateurs, ils peuvent optimiser non seulement le coût d'investissement des nouveaux transformateurs mais aussi les coûts d'exploitation nécessaires pour exploiter ces équipements de manière régulière. Les dépenses d'exploitation de ces équipements sont non négligeables et l'optimisation de ces coûts procure des avantages conséquents pour les investisseurs et les gestionnaires d'installations qui financent et exploitent ces réseaux.

L'avantage de concevoir des transformateurs en tenant compte des coûts d'exploitation concerne également les prescripteurs et les concepteurs. La livraison

de transformateurs conçus dans les règles de l'art selon des paramètres spécifiques qui optimisent les coûts d'exploitation peut également différencier les fournisseurs sur le marché et les aider à développer leur activité.

Ces paramètres comprennent la puissance nominale, les pertes, le niveau d'isolement, le degré de protection, le comportement au feu, le comportement sismique et la conformité avec les normes, et chacun d'entre eux doit être pris en compte pendant la phase de conception électrique de tout projet de bâtiment commercial ou industriel.

A propos de l'auteur

Michel Sacotte est Vice-Président de la Standardisation et des Prescriptions pour les Transformateurs chez Schneider Electric. Il est diplômé de l'Ecole Nationale d'Ingénieurs de Metz. Depuis 1975, il a occupé les fonctions d'Ingénieur en Chef du Département technique, de Directeur R&D, de Directeur Technique et Qualité et de Directeur/Industriel Technique/Achats/Qualité chez France Transformers pendant 11 ans et Vice-Président R&D de l'Activité Transformateurs de Schneider Electric pendant 7 ans. Il a officié en tant qu'animateur de groupes de travail sur plusieurs normes CEI et Cenelec pour les transformateurs de distribution (transformateurs secs, auto-protégés, applications pour l'éolien, rendement énergétique, etc.). Il a grandement contribué au travail de normalisation de la CEI dans le domaine des transformateurs. Il a été Président du comité national français pour l'Union Technique de l'Electricité et les Fabricants (Gimélec) concernant les transformateurs. Michel est Président de T&D Europe pour l'activité transformateurs. Il a déposé de nombreux brevets couvrant divers aspects des transformateurs de distribution.