Des transformateurs encore plus efficaces grâve aux noyaux amorphes

Autor(en): **Carlen, Martin / Spinelli, Marco**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin.ch : Fachzeitschrift und Verbandsinformationen von Electrosuisse, VSE = revue spécialisée et informations des associations Electrosuisse, AES**

Band (Jahr): **102 (2011)**

Heft 12

PDF erstellt am: **24.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-856879

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Des transformateurs encore plus efficaces grâce aux noyaux amorphes

Jusqu'à 70 % de réduction des pertes

Quoique très efficaces, les transformateurs sont à la base de pertes énergétiques non négligeables, 2 à 3 % de la production électrique, essentiellement dues au grand nombre d'unités installées. C'est pourquoi ils doivent être encore plus performants et efficaces. Une nouvelle gamme de transformateurs munis de noyaux en métal amorphe permet de réduire considérablement les pertes et d'améliorer ainsi l'efficacité énergétique dans les réseaux de distribution électrique.

Martin Carlen, Marco Spinelli

Bien que les transformateurs de distribution modernes soient très efficaces, ils sont néanmoins – de par le grand nombre d'unités installées – responsables d'importantes pertes énergétiques. En général, on estime que ces pertes représentent environ 2 à 3 % de toute la production électrique, correspondant à quelque 50 GW de puissance de génération au niveau mondial. Selon une étude réalisée en 2008 [1], l'Europe compte à elle seule environ 4,5 millions de transformateurs de distribution. Ils provoquent chaque année des pertes estimées à 38 TWh – soit plus de la totalité de l'électricité consommée par le Danemark – et génèrent ainsi une émission de plus de 30 millions de tonnes de CO_2.

Tous les transformateurs présentent deux types de pertes :

- Les pertes à vide (pertes hors charge), qui se produisent dans les noyaux des transformateurs à cause de l'hystérésis et des pertes par courants de Foucault, lesquelles sont constamment présentes lorsque le transformateur est mis sous tension.
- Les pertes dues à la charge, qui se produisent dans le circuit électrique du transformateur – y compris dans les enroulements et les composants – dues aux pertes par effet Joule, et qui dépendent des conditions de charge.

Les pertes hors charge dominent lorsque le transformateur est exploité avec une faible charge. Par contre, lors d'une utilisation avec une charge élevée, ce sont les pertes dues à la charge qui priment.

Figure 1 Transformateur à noyau en métal amorphe lors du montage : l'épaisseur des bandes métalliques amorphes est limitée à environ 25 µm.

Noyaux de transformateur en métal amorphe

Une nouvelle option est offerte aux entreprises qui cherchent à réduire leurs pertes énergétiques : l'installation de transformateurs de distribution ultraperformants bénéficiant de la technologie de noyau AMDT (Amorphous Metal Distribution Transformer), c'est-à-dire de transformateurs de distribution à noyau en métal amorphe. Combinée avec l'optimisation de la conception des bobines, cette technologie permet une réduction considérable des pertes. Le noyau AMDT est par exemple l'un des principaux éléments de la nouvelle génération de transformateurs secs ultraperformants EcoDry d'ABB (figure 1).

Réalisation

Contrairement à la tôle électrique usuelle, le noyau amorphe ne possède aucune structure cristalline. Le métal en fusion est refroidi très rapidement et de ce fait, il ne s'écoule pas assez de temps au cours de la phase de durcissement pour permettre l'organisation des atomes dans une structure cristalline (figure 2). Un taux de refroidissement de 10^6 K/s est en effet requis pour empêcher la cristallisation.

Dans le cas des transformateurs de distribution amorphes, des alliages de fer, de silicium et de bore sont utilisés et transformés en bandes métalliques amorphes. La conductivité thermique et le taux de refroidissement élevé requis limitent l'épaisseur de ces bandes à environ 25 µm (10 fois plus mince que la tôle de noyau conventionnelle). Le noyau est ensuite construit selon la technologie du bobinage.

Des pertes à vide réduites de 70 %

Le métal amorphe est plus facile à magnétiser que la tôle de noyau conventionnelle, ce qui aplanit la courbe d'hystérèse et limite les pertes (figure 2c). Grâce à la résistivité supérieure (130 µΩ•cm contre 50 µΩ•cm) et à l'épaisseur res-

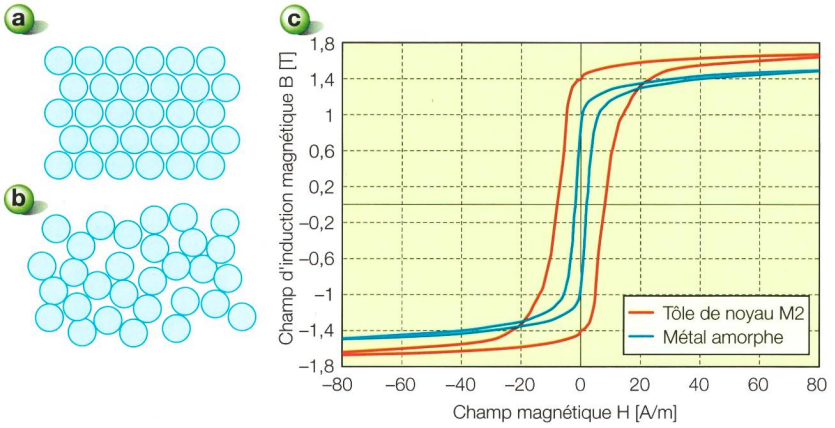

Figure 2 Structure cristalline (a) et amorphe (b). Courbes d'hystérèse de la tôle des noyaux amorphe et conventionnel (c).

treinte des bandes métalliques, les pertes liées aux courants de Foucault se trouvent également sensiblement réduites. Les pertes à vide des noyaux amorphes correspondent ainsi à peine à 30 % environ de celles des noyaux conventionnels.

L'inconvénient du métal amorphe réside toutefois dans son induction de saturation moindre, liée à la présence de bore (1,56 T contre 2,1 T). De ce fait, les noyaux de transformateur amorphes présentent normalement une section plus importante, ce qui augmente la taille du transformateur dans son ensemble.

Stabilité du métal amorphe

Les premiers transformateurs de distribution à noyau amorphe ont été développés aux Etats-Unis dès les années 1980. Un certain nombre d'entre eux sont toujours exploités à l'heure actuelle. Depuis, la composition du métal amorphe et ses méthodes de production ont été optimisées.

Dès les années 1990, il a été démontré que le métal amorphe résiste pendant plus de 1000 ans à sa température d'exploitation et que ce matériau ne cristallise pas [2]. Les laboratoires d'ABB ont récemment confirmé ces résultats pour le matériau actuel.

Applications et avantages

Les transformateurs de distribution composés d'un noyau en métal amorphe renforcent la tendance mondiale supportant des transformateurs toujours plus efficaces et ainsi plus respectueux de l'environnement. L'efficacité de ces transformateurs peut être exploitée dans un grand nombre d'applications. Ils sont tout particulièrement adaptés aux applications dans le domaine des énergies renouvelables (figure 3).

Afin de pouvoir répondre aux besoins des clients les plus divers, ABB propose depuis 2009 des transformateurs ultra-efficaces en différentes configurations, notamment des transformateurs de distribution à noyau amorphe immergés dans l'huile minérale, dans l'huile végétale biodégradable et peu inflammable, ainsi que des transformateurs secs écologiques et sûrs (EcoDry).

Comme indiqué plus haut, le principal avantage des transformateurs amorphes réside dans la réduction jusqu'à 70 % des pertes à vide (figure 4a). Par exemple, dans le cas de l'exploitation d'un transformateur sec de 1000 kVA sur une période de 20 ans, cela représente une réduction des émissions de CO_2 de 140 t – ce qui équivaut à la combustion de 60 000 litres de pétrole – et l'impact sur l'environnement correspond à peine à 40 % de celui d'un transformateur standard.

Avantages supplémentaires des transformateurs secs

De plus, les transformateurs de distribution de type sec offrent d'autres avantages pratiques considérables. En voici quelques-uns :

- Pas de risques d'incendie.
- Pas de risques de fuite de polluants ou de substances inflammables.
- Longue durée de vie.
- Résistance mécanique élevée.
- Capacité à faire face aux changements de charge, aux surcharges, aux courts-circuits et aux surtensions.
- Installation à encombrement réduit.

Ils peuvent donc être installés près de l'endroit où ils seront utilisés, réduisant ainsi le câblage et les pertes dans les câbles et les bornes sur le côté basse tension.

Bilan écologique

Etant donné que la densité de flux magnétique inférieure du métal amorphe implique la mise en œuvre d'une plus grande quantité de matériau, la réduction des pertes qu'il autorise pourrait être réduite à néant en termes d'impact sur l'environnement. C'est pourquoi ABB a réalisé une étude visant à établir un bilan écologique (figure 4b). Les résultats obtenus sont dus au fait que la phase d'utilisation prévaut sur la quantité de matériau dans le bilan écologique [3].

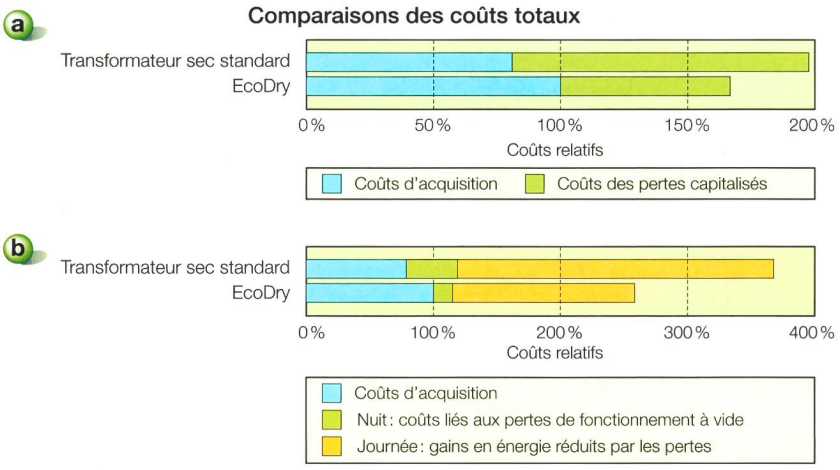

Figure 3 Comparaison des coûts totaux de transformateurs secs en configuration standard et avec noyau en métal amorphe (EcoDry) pour des applications dans un réseau de distribution (a) et dans une installation photovoltaïque (b).

La gamme EcoDry

Cette nouvelle gamme inclut trois modèles, chacun conçu pour satisfaire les différents besoins d'applications où les pertes sont soit principalement des pertes « hors charge », soit des pertes « dues à la charge », soit une combinaison des deux :

- EcoDry^{Basic} est tout particulièrement recommandé pour les applications du réseau de distribution qui, pour des raisons de redondance, fonctionnent souvent avec une charge faible à intermédiaire. Ce transformateur offre une réduction des pertes à vide de 70 %.
- EcoDry^{Ultra} a été développé pour des applications avec des charges intermédiaires ou très variables, par exemple dans le secteur des sources d'énergie renouvelables. En comparaison avec des transformateurs secs traditionnels, les pertes totales sont réduites de 45 %.
- EcoDry^{99Plus} est particulièrement adapté aux transformateurs fonctionnant en permanence avec une charge élevée, par exemple pour des applications industrielles. ABB a développé des méthodes permettant de réduire les pertes totales de 30 %.

Les transformateurs EcoDry sont disponibles dans des plages de 100 à 4000 kVA, avec une tension de service jusqu'à 36 kV. Pour chaque GW économisé, la réduction annuelle potentielle d'émission de CO_2 est de 5 millions de tonnes. Une réduction des pertes signifie aussi moins de chaleur. Par conséquent, l'effet de vieillissement sur l'isolation des transformateurs est réduit.

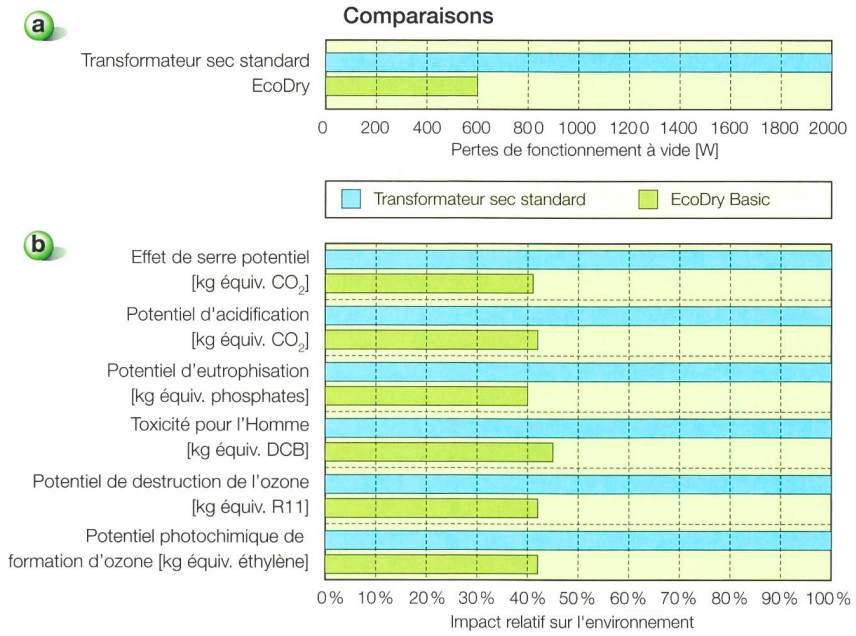

Figure 4 Comparaisons des pertes à vide (a) et du bilan écologique (b) d'un transformateur sec EcoDry amorphe et d'un transformateur standard.

Nouvelles normes

En 2010 la norme CENELEC EN 50541-1 a été approuvée. Comparée à l'ancienne norme, elle spécifie de nouveaux taux réduits pour les pertes des transformateurs secs. La norme EN 50541 comprend, par puissance assignée, trois classes pour les pertes à vide (A_0, B_0, C_0) et deux classes pour les pertes dues à la charge (A_k, B_k), la classe A affichant le taux de perte le moins important.

Il faut souligner que les pertes de la gamme de produits EcoDry ultra-efficaces restent nettement inférieures aux taux fixés dans la nouvelle norme. Ainsi, EcoDry^{Basic} et EcoDry^{Ultra} atteignent 50 % d'A_0 en pertes à vide, et EcoDry^{99Plus} ainsi qu'EcoDry^{Ultra} arrivent à des pertes dues à la charge inférieures de 20 % à A_k.

Figures : ABB

Figure 5 Transformateur amorphe EcoDry installé à ewz à Fällanden.

Application en Suisse

À l'automne dernier, les deux premiers transformateurs amorphes de la gamme EcoDry^{Ultra} ont été livrés en Suisse. Ils sont utilisés dans la sous-station ewz de Fällanden près de Zurich pour assurer l'auto-alimentation de l'installation (figure 5). Ces transformateurs réduisent à la fois les pertes hors charge et les pertes dues à la charge. Ils ont été développés pour des applications avec des charges intermédiaires ou très variables, ainsi que pour les applications où l'électricité est fournie via deux transformateurs à la fois (pour la redondance) et où chacun d'entre eux fonctionne en permanence à charge

Zusammenfassung

Noch effizientere Transformatoren dank amorphem Kern

Bis zu 70% weniger Verluste

Obwohl sehr effizient, weisen Transformatoren erhebliche Energieverluste auf: 2 bis 3 % der gesamten Stromerzeugung gehen durch Transformatorverluste verloren. Eine Erhöhung des Wirkungsgrads ist deshalb erstrebenswert. Neue Transformatoren mit Kernen aus amorphem Metall erlauben eine beträchtliche Verringerung der Verluste und somit eine Erhöhung der Energieeffizienz in den Stromnetzen.

Dieser Artikel erläutert die Ursachen für Transformatorverluste und zeigt auf, wie die Verluste reduziert werden können. Er schildert die Charakteristika von Transformatortypen mit einem Kern aus amorphem Metall und deren langfristige Stabilität. Vergleiche der Ökobilanzen und der Gesamtkosten von Standard-Trockentransformatoren und Transformatoren mit amorphem Kern machen die Vorteile letzterer ersichtlich. CHe

moyenne – comme dans les systèmes de pompage ou de ventilation.

Conclusions

La mise en œuvre de nouveaux matériaux et technologies permet d'optimiser les composants bien établis de notre système d'approvisionnement énergétique, de diminuer les pertes et de le rendre encore plus sûr. L'utilisation de métal amorphe dans les transformateurs de distribution de type sec en est un exemple particulièrement impressionnant, puisqu'avec cette technologie les pertes des transformateurs peuvent être considérablement réduites, dans certains cas de 70 %.

Références

[1] R. Targosz, F. Topalis et al.: Analysis of existing situation of energy efficient transformers – technical and non technical solutions. Report from the EU-IEE project SEEDT (Strategies for development and diffusion of Energy-Efficient Distribution Transformers), 2008. http://seedt.ntua.gr/index.php?option=com_remository&Itemid=15&func=fileinfo&id=110.

[2] V.R.V. Ramanan and H.H. Liebermann: Aging of glassy transformer core alloys and the activation energy spectrum model. J.Appl.Phys. 73, p. 5366, 1993.

[3] M. Carlen, U. Oeverstam, V.R.V. Ramanan, J. Tepper, L. Swanström, P. Klys, E. Striken: Life cycle assessment of dry-type and oil-immersed distribution transformers with amorphous metal core. 21st Int. Conf. on Electricity Distribution, paper 1145, Frankfurt, June 2011.

Informations sur les auteurs

Dr **Martin Carlen** a étudié la physique à l'Université de Fribourg et a achevé son doctorat en physique atomique en 1992. Il a ensuite collaboré au développement de cellules solaires amorphes au National Renewable Energy Laboratory de Golden dans le Colorado (États-Unis). De 1995 à 2008, il a travaillé au Centre de recherche d'ABB de Baden-Dättwil, dont les dernières années en tant que responsable du département « Elektrotechnologie ». Il est depuis 2008 Responsable Produits au niveau mondial pour les transformateurs secs d'ABB.

ABB Management Services, 8050 Zürich, martin.carlen@ch.abb.com

Marco Spinelli est ingénieur HES en énergie électrique. Il a obtenu son diplôme de l'EIF en 2003, où il a ensuite travaillé comme collaborateur scientifique. Depuis 2004, il travaille chez ABB Suisse, dans un premier temps comme responsable du laboratoire de haute tension développement et test, puis comme responsable des ventes en Europe pour les installations GIS > 220 kV. Depuis fin 2010, il est responsable du marché des transformateurs pour le marché suisse.

ABB Suisse SA, 5401 Baden, marco.spinelli@ch.abb.com

Anzeige

SGB STARKSTROM Partners in Power SMIT TRANSFORMERS

SGB–SMIT Transformatoren GmbH – Transformatoren aus EINER Hand

Verkauf – Lieferung – Projektierung – Beratung

Die Kompetenz in der Schweiz für

- **Transformatoren**
  Leistungsbereich 50kVA bis 1'500MVA
  Projektbegleitung, Projektabwicklung, Lieferung
- **Transformatorzubehör**
  Durchführungen, Stufenschalter, Monitoring, Spannungsregelung
  Beratung, Konzeptionierung und technische Unterstützung

Ihr Projekt ist unsere Aufgabe – wir werden Sie begeistern!

SGB-SMIT Transformatoren GmbH
Büro Zürich
Badenerstrasse 812
8048 Zürich

Pino Costa
Leitung Marketing und Verkauf
Email: pino.costa@sgb-trafo.de
Tel: +41 (0)43 311 92 46
+41 (0)79 77 199 93
Fax: +41 (0)43 311 92 47
www.sgb-trafo.de
www.smittransformers.com