

Erhöhte thermische Eigenschaften

Neu Isolierformteile zur flexiblen Auslegung von Transformatoren

Die Unternehmen Albert Schweizer GmbH & Co KG und Isotek GmbH haben neue Isolationslösungen für Transformatoren entwickelt. Das Ergebnis sind Isolierteile und -systeme mit erhöhten thermischen Eigenschaften. Sie ermöglichen eine flexiblere Gestaltung von zukunftsorientierten Hochtemperatur-Transformatoren gemäß IEC 60076-14.

Gegenwärtig werden komplexe Isolierformteile wie Wickelzylinder, Winkelringe und Kaminsegmente überwiegend aus normalem PSP-Pressspann gefertigt. Dies entspricht einem normalen, konventionellen Isoliersystem der Temperaturklasse 105 °C aus Zelluloseprodukten, das jedoch nicht in einem Hochtemperatur-Wicklungsaufbau gemäß IEC 60076-14 eingesetzt werden darf.

In der Praxis stellt dies für die Transformatorenindustrie einen limitierenden Faktor dar, der einer konsequenten Weiterentwicklung von Hochtemperatur-Transformatoren entgegensteht. Bei gesamtlicher Betrachtung aller thermischen Klassen für Festisolierstoffe von 120 °C, 130 °C, 140 °C, 155 °C und 180 °C bedeutet dies, dass für höhere thermische Klassen als 105 °C bisher kein vollumfängliches Sortiment an Isolierformteilen zur Verfügung steht. Demzufolge ist den Herstellern von Transformatoren aufgrund fehlender Produktalternativen eine optimierte Auslegung von Hochtemperatur-Transformatoren zurzeit nicht möglich.

Die Albert Schweizer GmbH & Co KG und die Isotek GmbH haben dies zum Anlass genommen, um ein Sortiment an Isolierteilen und Systemlösungen für Hochtemperaturanwendungen bei Transformatoren zu entwickeln. Grundlagen hierfür waren sowohl die thermischen Klassen der Transformatorennorm IEC 60076-14 als auch die gestiegenen Anforderungen in der Energieversorgung. Denn eine zunehmend dezentrale Energieerzeugung sowie die Themen Energiespeicherung, Netzmanagement, Erneuerung der Infrastruktur, Digitalisierung und E-Mobilität erfordern neue Lösungen – auch im Bereich der Transformatoren. Je nach Anforderungsprofil gilt es daher, bestehende Spezifikationen für Transformatoren zu überdenken und – sofern notwendig – zu optimieren.

Was bedeutet dies konkret für Leistungstransformatoren der Spannungsebenen 110 kV, 220 kV und 380 kV im deutschen Stromnetz?

In vielen Umspannwerken und Transformatorstationen im innerstädtischen Bereich werden künftig Transformatoren mit einer höheren Leistung notwendig, um den künftigen Anforderungen gerecht werden zu können. Vor allem steigende Leistungsspitzen in den Morgen- und Abendstunden und ein stetig steigender Strombedarf muss von der künftigen Generation von Leistungstransformatoren bewältigt werden, ohne dass die Vorgaben für Gewicht und Abmessung der bestehenden Transformatorfundamente und Gebäude außer Acht gelassen werden dürfen. Bei herkömmlicher Auslegung von Standardtransformatoren mit Zelluloseisolierungen der thermischen Klasse 105 °C ist eine Leistungserhöhung bei gleichbleibenden Transformatorabmessungen jedoch nicht möglich.

Platzbeschränkungen in Umspannwerken wären daher prädestiniert, um bei notwendiger Leistungserhöhung der Transformatoren eine alternative Auslegung mit Hybridisoliersystemen zur höheren thermischen Belastung in Betracht zu ziehen. Die erforderliche Leistungserhöhung bei gleichbleibenden Abmessungen und Gewichtsverhältnissen wäre somit leicht umzusetzen.

In diesen Fällen könnten sich aus der aktuellen Brandschutznorm DIN EN 61936-1 (VDE 0101) weitere Vorteile ergeben, da bei Leistungserhöhungen von zum Beispiel 50 MVA auf 80 MVA im ONAN-Betrieb die geforderte Obergrenze des Flüssigkeitsvolumens von 20 000 l Mineralöl in der Regel weiterhin einzuhalten ist. Dies muss jedoch in Abhängigkeit der jeweiligen Spezifikation des Transformators bei der Berechnung geprüft werden.

Weitere Anwendungsbeispiele für Hochtemperatur-Transformatoren der Leistungsebene zwischen 2 und 10 MVA gibt es in den Bereichen E-Mobilität, Schnellladestationen, Windenergie, Energiespeicher und Solarparks. Hier setzen Betreiber von Transformatoren seit Jahrzehnten Hochtemperatur-Isoliersysteme aus folgenden Gründen ein:

- überlastfähige Auslegung der Transformatoren zur kostenoptimierten Beherrschung von Lastspitzen bei gleichzeitiger kompakter Bauweise der Transformatoren
- aufgrund der höheren thermischen Belastbarkeit des Isoliersystems gemäß IEC 60076-14 bleibt die Lebensdauer unverändert
- verbesserter ökologischer Fußabdruck bei kombiniertem Einsatz von Hybridisolierungen mit umweltschonenden Ester-Flüssigkeiten
- erhöhte Zuverlässigkeit der Transformatoren
- Reduzierung der Kurz- und Leerlaufverluste bei maximalem Wirkungsgrad gemäß der europäischen EKO-Design-Verordnung 548/2014 (Stufe 2).

Die in **Tabelle 1** dargestellten Übertemperaturgrenzwerte gemäß IEC 60076-14 dienen als Orientierung, um die Entwicklung neuer Isolierlösungen und -produkte für höhere Temperaturklassen voranzutreiben. Das Ergebnis ist ein erweitertes Produktportfolio an geformten 3D-Teilen und Produkten, das im Folgenden dargestellt wird.

Isolierformteile der thermischen Klasse 180 °C gemäß IEC 60076-14

In Zusammenarbeit mit dem Partner DuPont wurden die bestehenden Produktlinien Nomex Pressboard T993 sowie T994 konsequent weiterentwickelt. Damit ist jetzt eine flexible Verformung der Basismaterialien möglich. Dies war

Übertemperaturgrenzwerte						
	konventionelle Isolierte Systeme	Hybrid-Isolierte Systeme				
		halb-hybride Isolierwicklung	mixed-hybride Isolierwicklung	voll-hybride Isolierwicklung (hermetisch versiegelte Transformatoren)		
minimal erforderliche feste Hochtemperatur-Isolations-Wärme Klasse (°C)	105	120	130	130	140	155
Top Liquid Temperatur Rise (K)	60	60	60	60	60	60
durchschnittlicher Anstieg der Wicklungstemperatur (K)	65/70	75	65	85	95	105
Hot-Spot-Temperaturanstieg für Festisolierung (K)	78	90	100	100	110	125
Ester-Flüssigkeit						
minimal erforderliche feste Hochtemperatur-Isolations-Wärme Klasse (°C)	130	140	155	180		
Top Liquid Temperatur Rise (K)	90	90	90	90		
durchschnittlicher Anstieg der Wicklungstemperatur (K)	85	95	105	125		
Hot-Spot-Temperaturanstieg für Festisolierung (K)	100	110	125	150		

Tabelle 1. Orientierung für die Produktentwicklung: IEC 60076-14 – Richtlinien für maximale kontinuierliche Übertemperaturgrenzwerte (in °C) für Transformatoren mit Hybridisolierte Systemen

die Voraussetzung, um mit angepasster Verfahrenstechnik auf Basis dieser formbaren Nomex-Pressboard-Varianten ein Sortiment an Formteilen zu entwickeln und herzustellen. Damit stehen Systemlösungen sowie Wickelzylinder, Kaminsegmente und Winkelringe aus Nomex Pressboard T993 und T994 für eine Vollhybrid-Wicklungsauslegung für Transformatoren zur Verfügung.

Isolierformteile der thermischen Klassen 105 °C bis 180 °C gemäß IEC 60076-14

Bei der Entwicklung des Basismaterials zum Hybrid-Pressboard stand das Kosten-Nutzen-Verhältnis im Vordergrund, ohne die thermischen Anforderungen für Formteile zur flexibleren Auslegung von Hochtemperatur-Transformatoren zu vernachlässigen. Hierfür wurden die zwei im Transformatorenmarkt etablierten Pressboard-Varianten aus Nomex und PSP-Materialien kombiniert, um den unterschiedlichen thermischen Anforderungen im Wicklungsaufbau gerecht zu werden. Für typische Wicklungsanwendungen gestaltet sich der Isolierstoffbau zum Beispiel wie im Folgenden dargestellt.

Die Materialseite, die sich im direkten Kontakt mit dem elektrischen Leiter befindet, ist mit einem Nomex-Pressboard



Clackband ohne Verwendung von Klebstoffen zur Bildung von Kühlkanälen im Wicklungsaufbau

993/994 oder Nomex-Papier der thermischen Klasse 180 °C versehen. Die Materialseite, die sich dagegen nicht im Kontakt mit dem elektrischen Leiter befindet, wird mit dem günstigeren PSP-3050-Pressboard der thermischen Klasse 105 °C laminiert. Diese Produktreihe aus Hybridpresslaminaten ist in zwei Varianten erhältlich:

- Zwei-Schicht-Laminat: Nomex-Pressboard 993/994 und PSP-3050-Pressboard
- Drei-Schicht-Laminat: Nomex 993/994 und PSP 3050 und Nomex 993/994 Pressboards (Sandwichsystem).

Ob ein Zwei- oder Drei-Schicht-Hybridlaminatsystem zur Anwendung kommt, ist vom jeweiligen Anwendungsfall im Wicklungsaufbau abhängig.

Isolationsformteile aus Hybridlaminatsystemen eignen sich gemäß IEC 60076-14 für die Konstruktion von Wicklungen mit Semi- oder Mischhybridisoliierungen. Da die Kombination dieser beiden Grundstoffe als Laminat neu auf dem Markt ist, wurden in Zusammenarbeit mit dem Schering-Institut in Hannover mehrere thermische Alterungsversuche und dielektrische Versuche durchgeführt. Basierend auf diesen Versuchsergebnissen stehen somit die

Isolierformteile	Chimney Segments, Snouts, other moulded Parts	Angle Rings, Segments	CAP-Segments	Edge Protection	Cylinder - Closed and Open	Cooling Tapes	Distance-Spacer, Intermediate Layer	Support Rings	Shield Rings
PSP Pressboard, Thermal Class 105 °C	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
PSP 3050 TU Power Board, Thermal Class 120 °C in Oil	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Hybrid Laminate with PSP/Nomex 993/994 Pressboards, Thermal Classes 105 °C and 220 °C	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Nomex Pressboards T993/T994, Thermal Class 220 °C	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Tabelle 2. Übersicht über das Produktsortiment an Isolierformteilen



Kaminsegment für Wicklungsausgänge zum Anschluss von Durchführungen

erforderlichen technischen Angaben zu Materialdicken der Hybridlaminate in Abhängigkeit von Temperatur und Spannung je nach Anwendungsfall zur Verfügung.

Isolierformteile der thermischen Klassen 120 °C gemäß IEC 60076-14

Zur Komplettierung des Sortiments wurden basierend auf einer neuen Generation von thermostabilisiertem Zellulosepressboard – das TU-Powerboard PSP 3050 – weitere Systemlösungen und Formteile entwickelt. Das Basismaterial PSP 3050 besteht aus Zellulose, das chemisch mit Antioxidantien veredelt wird, um eine vorzeitige Alterung der Zelluloseketten bei erhöhten Temperaturen zu verhindern. Resultierend aus diesem Veredelungsverfahren ist das Produktsortiment auf Basis von TU-Powerboard PSP 3050 der erhöhten thermischen

Klasse von 120 °C in Mineralöl zuzuordnen. Die Konstruktion von Halbhybridwicklungen gemäß IEC-Norm sind mit diesen Produkten somit zulässig und möglich.

Das Grundmaterial TU-Powerboard PSP 3050 ist eine Produktneuheit im Transformatorenmarkt, das im Anwendungsbereich von mit Flüssigkeit befüllten Transformatoren mit thermostabilisiertem Zellulosepapier (TUK) vergleichbar ist. Die Verwendung von TUK-Zellulosepapieren ist im Transformatorbau für die thermische Klasse 120 °C seit Jahrzehnten etabliert, sodass die Herstellung von Formteilen und Produkten aus TU-Powerboard (TUK) eine logische und sinnvolle Weiterentwicklung ist.

Auch zu diesem neuen Produktsortiment wurden die erforderlichen thermischen, dielektrischen und mechanischen Testreihen in Kooperation mit dem Schering-

Institut durchgeführt, um den Herstellern von Transformatoren mit diesen Angaben eine sichere Wicklungsauslegung zu ermöglichen.

Mit diesen drei Kategorien an Isoliermaterialien steht der Transformatorenbranche ein vollständiges Produktportfolio an Isoliersystemlösungen zur Verfügung, das eine wesentlich flexiblere Wicklungsauslegung von Hochtemperatur-Transformatoren aller thermischen Klassen gemäß IEC-Standard zulässt. Einen Überblick über das neue Produktsortiment an Isolierformteilen ist in **Tabelle 2** dargestellt.

Zur Weiterentwicklung hin zu innovativen Transformatorlösungen ist jedoch eine offene sowie objektive Betrachtung neuer Lösungsansätze die Voraussetzung, um in bestehenden Spezifikationen entsprechende Änderungen für neue Isoliersysteme mit erhöhten Temperaturindizes gemäß IEC-Standard zuzulassen. Zur Produktberatung und zu Änderungen von bestehenden Leistungsverzeichnissen von Transformatoren stehen die Unternehmen Albert Schweizer und Isotek zur Verfügung.

>> **Mike Jorzik**,
Vertriebsleiter Bereich flüssigkeitsgefüllte Transformatoren,
Albert Schweizer GmbH & Co. KG,
Mannheim

>> m.jorzik@schweizer-net.de

>> www.schweizer-net.de