



Radosław SZEWCZYK¹, Richard P. MAREK²

DuPont Poland Sp. z o.o. (1), E.I. du Pont de Nemours & Co, USA (2)

Komentarz do Specyfikacji Technicznej IEC/TS 60076-14 „Konstrukcja i zastosowanie transformatorów olejowych wykorzystujących wysokotemperaturowe materiały izolacyjne”

Streszczenie. Niniejszy artykuł zawiera komentarz do Specyfikacji Technicznej IEC/TS 60076-14. W skrótej formie przedstawia on główne założenia wysokotemperaturowych konstrukcji transformatorów i wyjaśnia podstawowe definicje zaproponowane w dokumencie IEC. Ponadto, dla różnych sklasyfikowanych układów izolacyjnych podaje przykłady zastosowań i komentarze do poszczególnych konstrukcji.

Abstract. (Comments to Technical Specification IEC/TS 60076-14 “Design and application of liquid-immersed power transformers using high-temperature insulation materials”). This paper contains comments to the Technical Specification IEC/TS 60076-14. It presents in a short form main concepts of the high temperature transformer design and explains basic definitions proposed in the IEC document. Additionally, for different defined insulation systems it gives examples of applications and comments to particular designs.

Słowa kluczowe: izolacja wysokotemperaturowa, układ izolacyjny jednorodny, układ izolacyjny mieszany, układ izolacyjny hybrydowy.

Keywords: high temperature insulation, homogenous insulation system, mixed insulation system, hybrid insulation system.

Wstęp

Transformatory wysokotemperaturowe są coraz bardziej popularne na świecie. Wyprodukowano już wiele transformatorów olejowych posiadających średni przyrost temperatury uzwojeń wyższy niż 65 K, podany w normach. Izolacje wysokotemperaturowe obejmujące emaliową i papierową izolację przewodów, przekładki, kliny i elementy wsporcze uzwojeń są powszechnie używane w transformatorach do podstacji przewoźnych, transformatorach trakcyjnych i przekształtnikowych. Wśród korzyści płynących z zastosowania materiałów odpornych na wyższe temperatury należy wymienić mniejszą masę, zwiększoną niezawodność i wydłużoną żywotność izolacji. Od wielu lat materiały te dają też dodatkowe możliwości optymalizacji konstrukcji w przypadku modernizacji urządzeń.

Pierwsze próby normalizacji konstrukcji i zastosowań transformatorów z izolacją wysokotemperaturową podjęte zostały w końcu lat osiemdziesiątych przez grupę roboczą IEEE. Zaowocowały one opublikowanym w 1994 roku podsumowaniem o charakterze informacyjnym [1]. Grupa robocza kontynuowała prace, by w roku 1997 opublikować przewodnik, z którego mogliby korzystać zarówno konstruktorzy, jaki i użytkownicy. Dokument ten (IEEE 1276 [2]), został powszechnie przyjęty w przemyśle transformatorowym w USA jako pierwszy krok w procesie normalizacji. Na bazie tego dokumentu, przez kilka lat produkowano w Ameryce transformatory do podstacji przewoźnych dla energetyki oraz dokonywano modernizacji i napraw innych transformatorów wykorzystując izolację wysokotemperaturową.

Dla porównania, społeczność międzynarodowa była bardziej zaawansowana w konstrukcji i zastosowaniu wysokotemperaturowych transformatorów olejowych. Transformatory trakcyjne z zastosowaniem materiałów wysokotemperaturowych są produkowane już od wielu lat. Ostatnio coraz większego znaczenia nabiera ich zastosowanie w transformatorach rozdzielczych słupowych oraz transformatorach dla elektrowni wiatrowych.

W odpowiedzi na to wzrastające zainteresowanie, Grupa Robocza 29 działająca przy Komitecie Technicznym IEC nr 14, opublikowała w listopadzie 2004 nową Specyfikację Techniczną. Opracowana została Część 14 normy IEC 60076 [3] i zawiera ona dodatkowe wskazówki

w zakresie specyfikacji, konstrukcji, prób i obciążalności energetycznych transformatorów olejowych wykorzystujących izolację wysokotemperaturową lub też kombinację izolacji wysokotemperaturowej i konwencjonalnej.

Konstrukcja wysokotemperaturowa

Wysokotemperaturowa konstrukcja transformatora jest zwykle pojmowana jako zamiana materiału izolacyjnego w urządzeniu. Zwykle konstruktor transformatorów olejowych, mając normalnie na uwadze typowe ograniczenia narzucone przez izolację celulozową i olej mineralny, nie dostrzega możliwości innego spojrzenia na problem. Izolacje stałe zdolne do pracy w wyższych temperaturach zwalniają konstruktora z ciągłego koncentrowania się na temperaturze najgorętszego miejsca, która niemal zawsze jest głównym ograniczeniem w konwencjonalnym transformatorze.

Przykładem może być uzależnienie konstrukcji od kanałów chłodzących. Kanały muszą być wyprodukowane, przygotowane i w końcu zainstalowane w uzwojeniu. Wszystko to zwiększa koszt oraz spowalnia proces produkcji. Ponadto kanały mogą zakłócać rozkład napięcia udarowego w uzwojeniu. Zadaniem kanału jest obniżenie przyrostu temperatury uzwojenia. Jeśli jednak izolacja może wytrzymać temperaturę znacznie wyższą niż spodziewany *hot spot*, mniejsza liczba kanałów lub ich całkowite wyeliminowanie może wydatnie ulepszyć konstrukcję.

Nowe definicje

Znaczną zaletą zastosowania izolacji wysokotemperaturowej jest zwiększona liczba opcji, jaką posiada konstruktor i użytkownik. W związku z tym, że nowe materiały były stosowane i udoskonalane przez lata, rozwinęło się też wiele nowych praktyk konstrukcyjnych. Celem Części 14 normy było uporządkowanie i zestandaryzowanie tego szerokiego wachlarza metod i praktyk. Jednym z głównych osiągnięć dokumentu idącym w kierunku standaryzacji było zdefiniowanie nowych określeń obejmujących cztery nowe układy izolacyjne. Zdefiniowanie tych układów posłużyło jako narzędzie do standaryzacji zawartości technicznej dokumentu, jeśli chodzi o wskazówki konstrukcyjne oraz dla ułatwienia komunikacji między producentami i użytkownikami.

Wyróżnia się zatem układy izolacyjne: jednorodny, mieszane, półhybrydowe i hybrydowe.

Układ izolacyjny jednorodny

Definicja ze specyfikacji IEC/TS 60076-14: „izolacja uzwojeń, izolacja główna i izolacja rdzenia w tej samej klasie temperaturowej, konwencjonalnej lub wysokotemperaturowej”.

Typowy transformator olejowy posiada izolację stałą celulozową i olej mineralny. Izolacja stała może występować w postaci drewna, papieru lub preszpanu. Przewody nawojowe mogą być również emaliowane. Wszystkie te materiały mają jednak zbliżoną wytrzymałość termiczną. W związku z tym, że zdecydowana większość doświadczeń w dziedzinie transformatorów odnosi się właśnie do transformatorów tego typu, zdecydowano się zdefiniować standardową klasę temperaturową jako „konwencjonalny” system izolacji.

W rezultacie zatem, wszystkie inne izolacje zdolne do ciągłej pracy w temperaturach wyższych niż olej mineralny czy celuloza (105°C) są uważane za izolacje „wysokotemperaturowe”. Układy izolacyjne zbudowane z cieczy wysokotemperaturowej i wysokotemperaturowej izolacji stałej bądź też z konwencjonalnej cieczy izolacyjnej i wysokotemperaturowej izolacji stałej są uważane za układy izolacji wysokotemperaturowej. Takie założenie było również konieczne ze względów praktycznych. Nie ma bowiem ogólnie przyjętej metody probierczej pozwalającej określić wytrzymałość termiczną cieczy izolacyjnych. W rzeczywistości, podane wytrzymałości termiczne cieczy wymienionych w dokumencie są określone jako wartości „ogólnie przyjęte”.

Zgodnie z powyższym, ciecze izolacyjne zostały podzielone na trzy podstawowe kategorie, które określają również maksymalną „uznawaną” wytrzymałość termiczną. Porównanie dopuszczalnych temperatur dla wyżej wymienionych trzech kategorii zestawione jest w tabeli 1.

Tabela 1. Dopuszczalne temperatury w układach jednorodnych

Typ izolacji	Opis parametru	Olej mineralny	Ester	Silikon
Ciecz	Maksymalna temp. (°C)	100	130	155
	Maksymalny przyrost temp. (K)	60	90	115
Izolacja stała	Hot spot przy maksymalnej temp. otoczenia (°C)	118	190	220
	Średni przyrost temp. uzwojeń (K)	65	115	130

Należy zauważyć, że średni przyrost temperatury uzwojeń jest zdefiniowany jako wartość maksymalna. Dla izolacji konwencjonalnej wynosi on 65 K i jest on ogólnie przyjmowany jako stała wartość. Chociaż niektóre transformatory mają znamionowe przyrosty temperatur niższe, w większości przypadków za średni przyrost temperatury zwykło się i tak przyjmować 65 K. Sytuacja jest nieco inna w przypadku wysokotemperaturowych układów izolacyjnych. W rzeczywistości, powszechnie stosowane, a wręcz wymagane, są wartości niższe niż maksymalne. Wynika to z braku doświadczenia i stosunkowo konserwatywnego charakteru sektora energetycznego.

Przykłady zastosowań:

Istnieje wiele przykładów konstrukcji i zastosowań transformatorów wykorzystujących układy izolacji wysokotemperaturowej. Typowe zastosowanie rzadko

jednak ma miejsce w celu zastąpienia typowego transformatora, ponieważ wyższy koszt zwykle nie uzasadnia takiej zamiany. Aby zastosowanie transformatora z izolacją wysokotemperaturową mogło być konkurencyjne pod względem cenowym, zwykle musi być powiązane z pozostałymi elementami instalacji i tym samym rozwiązywać problemy z nią związane.

Transformatory podwyższające napięcie w elektrorowniach wiatrowych są dobrym przykładem rozwijającej się nowej gałęzi przemysłu, która dostrzega zalety mniejszych gabarytów i większego bezpieczeństwa pożarowego. Transformatory wysokotemperaturowe o dużo większej mocy znajdują uzasadnienie ekonomiczne w wyniku obniżenia kosztów kompletnej instalacji. Transformatory te były początkowo projektowane z olejem silikonowym i izolacją wysokotemperaturową w części aktywnej. Przyrosty temperatury oleju były zwykle tylko o kilka stopni wyższe niż w konstrukcjach tradycyjnych, podczas gdy średnie przyrosty temperatury uzwojeń wynosiły 100, 105, 110 czy 115 K. Ostatnio, transformatory takie zalewane są również estrami.

W związku z tym, że typowy transformator rozdzielczy jest stosunkowo niewielki, często trudno jest odseparować różne elementy izolacji. W rezultacie, większość izolacji stałej musi być w takim przypadku izolacją wysokotemperaturową. Wyjątek mogą stanowić jedynie niektóre elementy wsporcze znajdujące się w dolnej części kadzi.

Kompaktowy wysokotemperaturowy transformator rozdzielczy w wykonaniu słupowym może dostarczać więcej mocy przy zachowaniu tego samego systemu mocowania na słupie i sprawdzać się świetnie w przypadkach, gdy potrzebne jest zwiększenie dostarczanej mocy, a modyfikacja podstacji nie jest pożądana. Takie transformatory są jeszcze mniejsze niż transformatory dla elektrorowni wiatrowych i różnica temperatury między olejem w górnych i dolnych warstwach jest niewielka. Stąd ciecz dielektryczna w zasadzie w całej objętości transformatora ma wyższą temperaturę niż w przypadku tradycyjnej jednostki i wszystkie elementy izolacji, łącznie z elementami wsporczymi, muszą być odporne na wysoką temperaturę.

Komentarze do konstrukcji:

Jak zauważono w IEC/TS 60076-14, praca przy temperaturach wyższych niż konwencjonalne wymaga materiałów uszczelniających odporniejszych na wyższe temperatury. Może mieć także wpływ na konstrukcję przełącznika zaczepek. Trzeba również zwrócić uwagę na przepusty. Powinny być one zwymiarowane na większe prądy lub być odporne na wyższe temperatury. Należy również przeanalizować pod względem odporności na temperaturę wszystkie inne akcesoria, jak radiatory, termometry, wskaźniki, przekaźniki a nawet konserwator. Wyższa temperatura cieczy może bowiem wymagać większej objętości konserwatora. W uzwojeniach natomiast, wyższej klasy temperaturowej mogą wymagać taśmy samoprzylepne czy kleje.

Wysokotemperaturowe układy izolacyjne z olejem mineralnym

Trzy pozostałe układy izolacyjne są zdefiniowane w ten sposób, że wszystkie wykorzystują olej mineralny lub równoważny jako ciecz dielektryczną oraz wysokotemperaturowe lub klasyczne izolacje stałe. Różnice występują jedynie w stopniu, w jakim zastosowana jest izolacja wysokotemperaturowa. Ponieważ ciecz dielektryczna jest konwencjonalna i pracuje w swej normalnej temperaturze, mogą być tu stosowane tradycyjne przepusty, materiały uszczelniające i większość normalnie stosowanych akcesoriów. Z drugiej strony, wszelkie taśmy

czy kleje używane w obszarze uzwojeń mogą wymagać wyższej klasy temperaturowej.

Temperatury dopuszczalne dla tych trzech systemów izolacji zebrane są w tabeli 2. Maksymalne temperatury oleju są pokazane tylko dla podkreślenia faktu, że w tych przypadkach nigdy nie są przekraczane konwencjonalne poziomy. Tabela 2 wyraźnie rozróżnia również dwa poziomy najgorętszych miejsc w uzwojeniu (*hot spot*), które muszą być każdorazowo wzięte pod uwagę przy analizie cieplnej konstrukcji.

Tabela 2. Dopuszczalne temperatury w układach wysokotemperaturowych z olejem mineralnym

Typ izolacji	Opis parametru	Konwencjonalny	Mieszany	Półhybrydowy	Hybrydowy
Olej mineralny	Maksymalna temp. (°C)	100			
	Maks. przyrost temp. (K)	60			
Izolacja stała konwencjonalna	Hot spot przy maks. temp. otoczenia (°C)	118			
Izolacja stała wysokotemperaturowa	Hot spot przy maks. temp. otoczenia (°C)	-	150	130	170
	Średni przyrost temp. uzwojeń (K)	65	65	75	95

Układ izolacyjny mieszany

Definicja ze specyfikacji IEC/TS 60076-14: „stała izolacja wysokotemperaturowa na styku z uzwojeniami w najgorętszych obszarach i izolacja celulozowa w pozostałych obszarach uzwojeń oraz w innych miejscach, gdzie wystarczająca jest izolacja w klasie termicznej 105”.

Układy izolacyjne mieszane wykorzystują najmniej izolacji wysokotemperaturowej i są używane przede wszystkim do podnoszenia odporności układów konwencjonalnych. Najlepszym zastosowaniem tej techniki są przypadki, gdy przekraczane są tradycyjne dopuszczalne limity dla temperatury najgorętszego miejsca, bądź to w wyniku takiej a nie innej konstrukcji transformatora, bądź też w wyniku szczególnego zastosowania.

Przykłady zastosowań:

Typowymi zastosowaniami dla mieszanych układów izolacyjnych są większe transformatory przekształtnikowe oraz piecowe. W transformatorach przekształtnikowych mamy zwykle do czynienia z prądami wyższych harmonicznych, które powodują przegrzanie przewodów w pobliżu końców uzwojeń. Zastosowanie izolacji wysokotemperaturowej tylko w tych gorących obszarach może umożliwić zmniejszenie rozmiarów transformatora, jednocześnie poprawiając jego niezawodność. Transformatory piecowe często obciążane są bardzo wysokimi prądami, które generują mocne pola magnetyczne prowadzące do temperatur w najgorętszych miejscach większych niż w przypadku innych transformatorów. Ponadto takie jednostki są zwykle mocno wykorzystywane, często w sposób ciągły. Izolacja wysokotemperaturowa w najgorętszych obszarach uzwojeń może wydłużyć żywotność izolacji, polepszając niezawodność urządzenia a nie zwiększając w znacznym stopniu jego kosztu.

Komentarze do konstrukcji:

Konstrukcja z mieszanym układem izolacyjnym nie różni się znacznie od konstrukcji konwencjonalnej. W zasadzie, średni dopuszczalny przyrost temperatury jest taki sam, jak dla izolacji konwencjonalnej. Jedynie dopuszczalna

temperatura najgorętszego miejsca jest podwyższona. Ponieważ jest to tylko metoda na miejscowe podniesienie odporności termicznej uzwojenia, sposób wykonania większości konstrukcji pozostaje tradycyjny a izolacja wysokotemperaturowa może być wykorzystana, np. tylko w jednym z uzwojeń. Mieszany układ izolacyjny to w zasadzie tylko mały krok w kierunku konstrukcji wysokotemperaturowej.

Dla przykładu, w wielu transformatorach przekształtnikowych konieczne jest obniżenie średniego przyrostu temperatury uzwojeń ze względu na przekraczany przyrost temperatury najgorętszego miejsca. Redukcja średniego przyrostu temperatury uzwojeń pociąga za sobą zwiększenie wymiarów części aktywnej. Dzięki zastosowaniu mieszanej izolacji i ochronie najgorętszego miejsca poprzez izolację wysokotemperaturową, istnieje możliwość utrzymania średniego przyrostu temperatury uzwojeń na poziomie zbliżonym do normalnego.

Układ izolacyjny półhybrydowy

Definicja ze specyfikacji IEC/TS 60076-14: „izolacja wysokotemperaturowa używana do izolacji przewodów nawojowych”.

Izolacja półhybrydowa jest kolejnym krokiem w kierunku zastosowania materiałów wysokotemperaturowych. Ich stosowanie w przypadku całych uzwojeń ma zwykle na celu przedłużenie żywotności izolacji transformatora i poprawienie jego niezawodności. W niektórych przypadkach, uzyskuje się nawet niższy koszt konstrukcji lub obniżone straty. W danym transformatorze izolacja wysokotemperaturowa może być zastosowana do wybranych uzwojeń.

Przykłady zastosowań:

Do rozważenia zastosowania izolacji półhybrydowej bardzo dobrze nadają się transformatory o wysokim współczynniku obciążenia, np. transformatory blokowe czy piecowe. Innym dobrym przykładem zastosowania są transformatory przeznaczone do pracy przy wysokiej temperaturze otoczenia.

Komentarze do konstrukcji:

Jak pokazano w Tabeli 2, temperatura najgorętszego miejsca jest o 12°C wyższa niż w konwencjonalnym układzie izolacyjnym, zaś średni przyrost temperatury uzwojeń jest wyższy o 10 K. W związku z tym, że jedynej zmianie ulega izolacja przewodów nawojowych, metoda projektowania z wykorzystaniem izolacji półhybrydowej wydaje się być bardziej naturalna niż w przypadku izolacji mieszanej.

Powszechnie wiadomo, że transformatory konwencjonalne mogą pracować długo i niezawodnie, jeśli tylko ich obciążenie waha się w rozsądnych granicach, zwykle poniżej mocy znamionowej jednostki. „Normalna żywotność” nie jest jednak spodziewana w przypadku transformatorów pracujących ciągle z pełnym obciążeniem czy nawet regularnie przeciążanych. Jednym z rozwiązań wydłużających żywotność transformatora w takiej sytuacji mogłoby być zaprojektowanie go na niższy przyrost temperatury uzwojeń, a tym samym zmniejszenie efektów degradacji cieplnej izolacji konwencjonalnej. Alternatywą jest tu jednak zastosowanie izolacji wysokotemperaturowej na całych uzwojeniach i wykorzystanie faktu, że dopuszczalny przyrost temperatury uzwojeń dla układu półhybrydowego wynosi 75 K a nie 65 K.

Dwa powyższe przykłady opisują w zasadzie przypadki zamiany izolacji konwencjonalnej na wysokotemperaturową. Jak jednak wspomniano przy okazji układów jednorodnych, takie podejście nie zawsze w pełni wykorzystuje zalety wyższej klasy temperaturowej nowej izolacji. Konstrukcja transformatorów mocy średniej wielkości może w wielu wypadkach zyskać na zredukowaniu ilości kanałów chłodzących. Podczas gdy nie jest to normalnie możliwe w przypadku uzwojeń cewkowych GN, bo tam odległości są narzucone przez wytrzymałość elektryczną, o tyle odległości pomiędzy cewkami uzwojeń śrubowych DN są zwykle wymagane jedynie ze względu na zapewnienie odpowiedniego chłodzenia uzwojenia.

To pozwala konstruktorowi na zmianę konstrukcji uzwojenia ze śrubowego (*helix*) na „półśrubowe” (*semi-helix*), gdzie zwykłe przekładki dystansowe tworzące kanał olejowy, są zamienione w co drugiej przerwie międzycewkowej na jedynie cienkie przekładki separujące zwoje uzwojenia. Zaoszczędzona w ten sposób przestrzeń w kierunku osiowym może być wykorzystana na zwiększenie wymiaru osiowego przewodu nawojowego lub do zmniejszenia wymiaru promieniowego uzwojenia DN, co z kolei pociągnie za sobą zmniejszenie średnic wszystkich kolejnych uzwojeń. W efekcie uzyskuje się obniżenie strat lub obniżenie kosztu konstrukcji.

Układ izolacyjny hybrydowy

Definicja ze specyfikacji IEC/TS 60076-14: „stała izolacja wysokotemperaturowa na styku z wszystkimi przewodami nawojowymi (obejmująca izolacje przewodów, przekładki dystansowe, kliny i tuleje izolacyjne w bezpośrednim kontakcie z uzwojeniami) oraz izolacja celulozowa w obszarach niższej temperatury, gdzie wystarczająca jest izolacja w klasie temperaturowej 105”.

Izolacja hybrydowa, spośród trzech sklasyfikowanych układów na bazie oleju mineralnego, wykorzystuje izolację wysokotemperaturową w największym stopniu. Jak podano w tabeli 2, ten układ izolacyjny charakteryzuje się także najwyższymi dopuszczalnymi temperaturami, co odpowiada konstrukcjom wymagającym dużej przeciążalności lub dużej mocy znamionowej w urządzeniach o niewielkich wymiarach.

Przykłady zastosowań:

Istnieje wiele zastosowań konstrukcji z hybrydowym układem izolacyjnym. Jednym z pierwszych zastosowań wykorzystujących zalety izolacji wysokotemperaturowej stały się średniej wielkości transformatory mocy do podstacji przelocowych używanych przez przedsiębiorstwa energetyczne w sytuacjach awaryjnych. Izolacja wysokotemperaturowa sprawdzała się świetnie w sytuacji, gdzie transformator o stosunkowo dużej mocy musiał być umieszczony na przewoźnej platformie.

Izolacja hybrydowa jest również używana od wielu lat w remontach transformatorów. Takie rozwiązanie daje możliwość szybkiego zwiększenia mocy transformatora bez konieczności kupowania nowej jednostki, co skutkuje szybszym czasem realizacji przedsięwzięcia i atrakcyjnym kosztem. Ostatnio pojawiać się zaczęły specyfikacje wymagające od remontowanych transformatorów zwiększonej niezawodności, większej przeciążalności czy też zwyczajnie większej mocy przy zachowaniu dotychczasowych gabarytów.

Komentarze do konstrukcji:

Dopuszczalne temperatury dla izolacji hybrydowej zgodnie z tabelą 2 wynoszą 150°C dla najgorętszego miejsca i 95 K dla średniego przyrostu temperatury uzwojeń. Izolacja hybrydowa może być również stosowana w zastosowaniach opisanych wcześniej, przy okazji innych układów izolacyjnych. Należy jednak pamiętać, że zastosowanie izolacji wysokotemperaturowej zawsze musi mieć swoje uzasadnienie. Tylko prawidłowe wykorzystanie lepszej odporności na temperaturę poszczególnych elementów układu izolacyjnego może przynieść korzyści ekonomiczne. Dlatego zawsze należy rozważyć, czy rzeczywiście wymagana jest w danej konstrukcji izolacja hybrydowa w swej pełnej formie. Jeśli tak jest w istocie, ważne jest, aby wykorzystać wszystkie jej zalety, np. poprzez redukcję kanałów chłodzących czy zmniejszenie układu chłodzącego całego transformatora.

Temperatura odniesienia

Definicja z normy IEC/TS 60076-14: „znamionowy średni przyrost temperatury uzwojeń plus 20°C (10°C dla układów z przyrostem temperatury uzwojeń 65 K)”

Jednym z najbardziej kontrowersyjnych tematów poruszonych w dokumencie IEC jest próba nowego zdefiniowania temperatury odniesienia, jako wartości zmiennej uzależnionej od średniego przyrostu temperatury uzwojeń. Ta „elastyczność” temperatury odniesienia musiała zostać uwzględniona w rozważaniach ze względu na szeroki zakres dopuszczalnych przyrostów temperatury występujących w normie. Takie podejście jest również nawiązaniem do norm dotyczących transformatorów suchych, które także obejmują urządzenia pracujące w stosunkowo szerokim zakresie temperatur. Niestety, aktualna norma IEC 60076-1 określa temperaturę odniesienia na ustalonym poziomie 75°C.

Niniejszy artykuł w oryginalnej wersji angielskiej zaprezentowany został na 10th Insucon International Conference Birmingham 2006 [4].

LITERATURA

- [1] IEEE Working Group Report, Background Information on High Temperature Insulation for Liquid-Immersed Power Transformers, *IEEE Trans. on Power Delivery*, 9, 1994, 4
- [2] IEEE 1276:1998, Guide for the Application of High Temperature Insulation Materials and Liquid Immersed Power Transformers
- [3] IEC/TS 60076-14:2004, Design and application of liquid-immersed power transformers using high-temperature insulation materials
- [4] Marek R. P., Discussions on a New IEC Document for Liquid-Filled Transformers, *10th Insucon International Conference Birmingham*, (2006), 75-80

Autorzy: Radosław Szewczyk, DuPont Poland Sp. z o.o., Advanced Fiber Systems, ul. Powązkowska 44c, 01-797 Warszawa, e-mail: radoslaw.szewczyk@pol.dupont.com
Richard P. Marek, E.I. du Pont de Nemours & Co, Advanced Fiber Systems, 5401 Jefferson Davis Highway, Richmond, VA 23234, USA, e-mail: richard.p.marek@usa.dupont.com