

Transformatory rozdzielcze Nowe konstrukcje oraz badania odbiorcze w Zakładach *Schneider Electric Transformers Poland Sp. z o.o.*

Distribution transformers. New designs and acceptance tests in *Schneider Electric Transformers Poland Sp. z o.o.*

W artykule przedstawiono aktualne problemy konstrukcji i badań odbiorczych transformatorów rozdzielczych. Omówiono nowe technologie i zamierzenia produkcyjne *Schneider Electric Transformers Poland Sp. z o.o.* w Mikołowie, szczególnie zmiany stosowane w nowych konstrukcjach transformatorów rozdzielczych. Przedstawiono produkowane transformatory trójzwojowe oraz jednostki wypełnione płynem biodegradowalnym i trudno palnym, a także zamierzenia dotyczące budowy jednostek wyposażonych w regulację napięcia pod obciążeniem. Omówiono prace pomiarowo-kontrolne, zakres badań wykonywanych systematycznie oraz specjalistycznych, a także próby odbiorcze prowadzone przez *ZPBE Energopomiar - Elektryka Gliwice*.

Słowa kluczowe: konstrukcje transformatorów rozdzielczych, badania odbiorcze, nowe technologie, *Schneider Electric Transformers Poland Sp. z o.o.* w Mikołowie, *ZPBE Energopomiar - Elektryka Gliwice*

Described are present problems connected with construction and acceptance tests of distribution transformers. Discussed are new technologies and production plans of *Schneider Electric Transformers Poland Sp. z o.o.* in Mikołów and especially the changes applied in new constructions of distribution transformers. Presented are the produced now three-winding transformers and units filled with biodegradable and difficult to ignite fluids as well as projects concerning the construction of units equipped with on-load voltage control. Discussed are the measurement and control works, the range of performed systematically and specialized investigations as well as acceptance tests carried on by *ZPBE Energopomiar - Elektryka Gliwice*.

Keywords: construction of distribution transformers, acceptance tests, new technologies, *Schneider Electric Transformers Poland Sp. z o.o.* w Mikołowie, *ZPBE Energopomiar - Elektryka Gliwice*

Transformatory rozdzielcze – olejowe i żywiczne – stanowią grupę jednostek znaczącą pod względem łącznej mocy znamionowej. Ich liczba w Polsce jest duża i wynosi ok. 300 tysięcy. W większości przypadków transformatory rozdzielcze budowane są jako jednostki bezobsługowe i wzrost ich dyspozycyjności oraz jakości pracy stanowi ważne zagadnienie zarówno dla ich użytkowników, jak i przemysłu wytwórczego.

Znamionowe moce transformatorów rozdzielczych są niewielkie i wynoszą zwykle od kilkunastu do 2500 kVA, a w wyjątkowych przypadkach więcej. Ich górne napięcie zwykle nie przekracza 30 kV.

Poprawa sprawności i trwałości eksploatacyjnej transformatorów – zważywszy na ich liczbę i moc zainstalowaną – uzasadnia olbrzymie oszczędności w traconej dotychczas bez pożytku energii elektrycznej.

Rosnące w ostatnich latach wymagania dotyczące transformatorów rozdzielczych obejmują: straty biegu jałowego, straty

obciążeniowe, poziom hałasu i wyłączeń niepełnych – przy jednoczesnej presji rynkowej na obniżenie ceny.

Głównym źródłem postępu w transformatorach rozdzielczych jest podnoszenie jakości materiałów konstrukcyjnych oraz ciągłe zmiany w ich konstrukcji. Nie bez wpływu na postęp w transformatorach rozdzielczych pozostają wymagania prawne UE, wymuszające produkcję jednostek o niskich stratach. Pierwszy etap ograniczenia strat obowiązuje od lipca 2015 roku, drugi będzie obowiązywał od lipca 2021 roku [1, 2].

Na produkowanie wyłącznie transformatorów rozdzielczych jest nakierowana fabryka w Mikołowie, wytwarzająca transformatory od 1945 roku, obecnie stanowiąca własność firmy *Schneider Electric*.

Tabela 1 obrazuje zmiany dokonujące się w parametrach produkowanych transformatorów na przestrzeni lat, na przykładzie transformatorów o mocy 250 kVA. W tabeli zestawiono kluczowe parametry transformatorów rozdzielczych produkowanych

Podstawowe parametry transformatorów rozdzielczych olejowych 250 kVA

Tabela 1

Parametr charakterystyczny	Produkcja w 1995 roku	Produkcja w 2001 roku	Produkcja w 2005 roku	Produkcja w 2019 roku	Produkcja przewidziana w 2021 roku
Straty biegu jałowego, kW	680	480	425	300	270
Straty obciążeniowe, kW	4 220	4 000	3 250	3 250	2 350
Hałas, moc akustyczna, dB	–	60	58	47	46

ponad 20 lat temu, transformatorów nowszych, obecnie produkowanych oraz przewidzianych do produkcji w 2021 roku, zgodnie z dyrektywą unijną [2].

Ważnym elementem informacji o niezawodności jednostek w eksploatacji są badania techniczne, którym nadal poświęca się zbyt mało uwagi. Obowiązująca Ramowa Instrukcja Eksploatacji Transformatorów (RIET) [3] ograniczyła zakres badań jednostek nowych (badania fabryczne i pomontażowe) oraz zwolniła z badań okresowych jednostki w wykonaniu hermetycznym, uszczuplając zakres badań innych transformatorów rozdzielczych. Konieczna zatem stała się wnikliwa kontrola jednostek podczas prób fabrycznych i odbiorczych, a zwłaszcza wykonanie ich według specjalnego, poszerzonego programu [3].

Zdarza się, iż próby i pomiary wykonane według tradycyjnych norm i przepisów nie ujawniają wszystkich możliwych zagrożeń konstrukcyjnych i technologicznych, które skutkować mogą w przyszłej eksploatacji uszkodzeniami, często po okresie gwarancyjnym. Wykrycie i eliminacja tych zagrożeń są możliwe dzięki profesjonalnemu prowadzeniu odbiorów technicznych, wykonywanych przez specjalistów energetyki o wysokich kwalifikacjach.

Specyfika transformatorów rozdzielczych umożliwia określenie ich cech charakterystycznych różniących tę grupę (III i IV według RIET) od innych oraz sformułowanie problemów, na jakie trzeba zwrócić szczególną uwagę, zarówno ze strony konstrukcyjnej, jak i oceny jakości, badań i problemów eksploatacji. W zakresie konstrukcji cechy charakterystyczne zmieniają się najczęściej i dotyczą zarówno samych transformatorów, jak i ich elementów. Poniżej omówiono najważniejsze.

Obwód magnetyczny

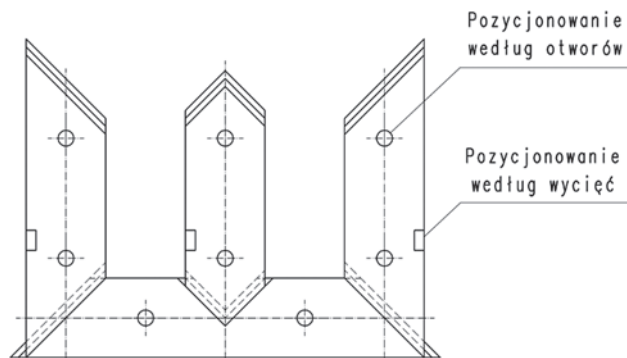
Rdzenie stanowiące podstawowy element obwodu magnetycznego zapewniają dobre odprowadzanie strat ciepłych oraz ograniczenie strat jałowych i prądu magnesującego. Straty jałowe mają największe znaczenie dla sprawności transformatorów rozdzielczych wobec znacznych wahań obciążenia i przy niskim średnim obciążeniu tych transformatorów. Wymaga się – dla zachowania niskich strat jałowych – oprócz stosowania materiałów o odpowiednich parametrach, starannego składania blach, ich ukośnego cięcia oraz specjalnych sposobów składania naroży i węzłów. Bardzo istotną rolę odgrywa tu jakość blach rdzenia.

Jeszcze kilka lat temu najlepsze blachy transformatorowe miały stratność 0,85 W/kg przy indukcji 1,7 T. Obecnie są już dostępne blachy o stratności 0,75 W/kg. W testowych ilościach używana jest również blacha 0,70 W/kg. Stratności te są osiągnięte na blasze o grubości nominalnej 0,23 mm. Obecnie stosowane blachy mają obniżony współczynnik magnetostrykcji oraz lepsze tłumienie drgań poprzecznych, co skutkuje obniżeniem poziomu hałasu.

Składanie rdzeni wykonywane jest zazwyczaj według tzw. metody step-lap, powszechnie stosowanej przez czołowych producentów transformatorów. Polega ona na tym, że każda kolejna (lub każda druga kolejna) kształtka jest przesunięta o np. 5 mm. Każda następna jest przesunięta o następne 5 mm w stosunku do poprzedniej. Po kilku takich przesunięciach następuje powrót do pozycji pierwszej kształtki. Ideę systemu step-lap pokazano na rysunku 1. Istnieje wiele odmian tego systemu związanych ze sposobem przesunięcia blach kolumny środkowej (poziomy lub pionowy), z liczbą przesunięć i liczbą jednakowo składanych kolejnych blach (np. 4x2, 5x2, 6x1) oraz z układem wystających naroży (poziome i pionowe lub tylko poziome). Rodzaj stosowanego step-lapu zależy od praktyki stosowanej w danej firmie oraz od posiadanego parku maszynowego.

Pozycjonowanie kształtek rdzenia

Pozycjonowanie kształtek rdzenia dokonuje się przez dwa otwory wykonane w osi każdej kształtki. Po nałożeniu kształtek na trzpienie otrzymuje się przesunięcie kształtek odpowiednio do systemu step-lap. Otwory te są niewielkiej średnicy, mają za zadanie ułatwić składanie rdzenia i nie wykorzystuje się ich do jego prasowania. Innym sposobem pozycjonowania kształtek jest wykonywanie wycięć w bocznej krawędzi każdej kształtki składanie według tych wycięć. Te dwa sposoby pozycjonowania pokazane są na rysunku 1.



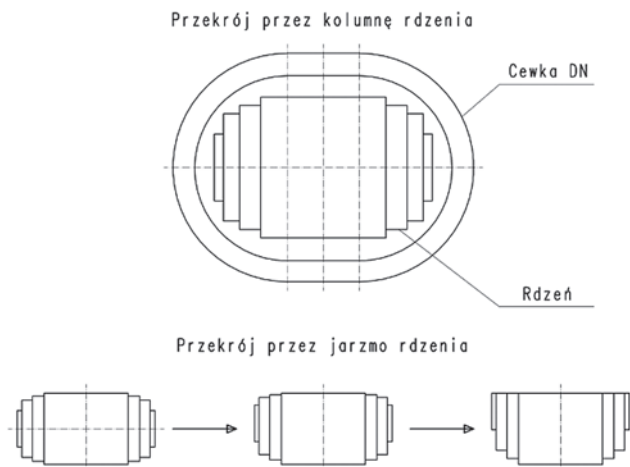
Rys. 1. Zasada step-lap i pozycjonowanie kształtek rdzenia

W obecnych konstrukcjach rdzeń ma przekrój zbliżony do owalnego lub prostokątny. Wprowadzenie „owalu” lub prostokąta powoduje skrócenie jarzm, a więc zmniejszenie zużycia materiału i zmniejszenie strat w rdzeniu. W efekcie otrzymujemy część aktywną o niższym koszcie wytworzenia. Podobny efekt – obniżenie kosztu wytworzenia – daje zmiana kształtu jarzm na niesymetryczny lub kształt z prostym jarzmem. Różne kształty rdzenia przedstawiono na rysunku 2.

Tabela 2

Stratność najlepszych dostępnych blach transformatorowych, W/kg dla 1,7 T i 50 Hz

Wyszczególnienie	1975 r.	1990 r.	2005 r.	2018 r.	Przewidziana w roku 2021
Stratność, W/kg	1,2	0,9	0,8	0,75	0,7 lub 0,65
Typowa grubość, mm	0,35	0,27	0,23	0,23	0,23 lub 0,18
Technologia produkcji	Grain oriented	HiB	Laser treated	Domain refined	Domain refined



Rys. 2. Przekrój poprzeczny przez jarzmo – różne warianty

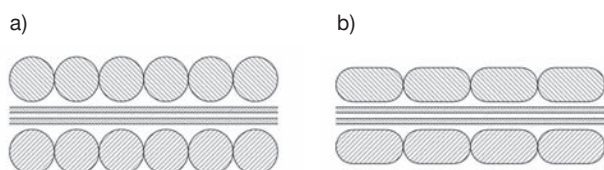
Uzwojenia

Konstrukcja uzwojeń transformatorów rozdzielczych musi uwzględniać specyficzne wymagania izolacyjne, szczególnie musi być odporna na przepięcia przenoszone oraz zapewniać niski poziom wyładowań niezupelných. Transformatory rozdzielcze posiadają niską wartość napięcia zwarcia, powodującą występowanie dużych prądów zwarciovych, lecz zważywszy na wysoki iloraz R_{zw}/X_{zw} , współczynnik udaru nie jest wysoki. Ponadto transformatory rozdzielcze pracują w sieciach o ograniczonej mocy zwarcioviej, co chroni je przed nadmiernymi wartościami prądów zwarciovych.

W konstrukcjach transformatorów rozdzielczych występują wprawdzie niewielkie napięcia zwojowe, lecz zwoje o różnych potencjałach są ułożone blisko siebie. Ponadto duża liczba zwojów i mały przekrój drutów uzwojeń GN wymaga stosowania konstrukcji wielowarstwowych cewek lub uzwojeń blokowych.

Kształt uzwojeń jest dopasowany do kształtu rdzenia, a więc gdy rdzeń ma przekrój „owalny”, to uzwojenia też muszą mieć kształt owalny. Zastosowanie kształtów owalnych obniża koszt wytworzenia, ale obniża także wytrzymałość zwarciovą uzwojeń. Dlatego też, aby wzmocnić wytrzymałość zwarciovą uzwojeń stosuje się inne dodatkowe działania.

Uzwojenia GN transformatorów rozdzielczych nawijają się najczęściej drutami o przekroju okrągłym. Te druty są też najtańsze, bo ich wytwarzanie jest stosunkowo proste. Cewka wykonana z takiego drutu ma stosunkowo niski współczynnik wypełnienia. Współczynnik wypełnienia definiowany jest jako stosunek przekroju czynnego cewki do całego jej przekroju. Jeżeli drut okrągły w czasie nawijania będziemy spłaszczać, jego kształt upodobni się do kształtu drutu profilowego, a współczynnik wypełnienia cewki wzrośnie (por. rys. 3). Zastosowanie płaszczania drutu powoduje obniżenie kosztu wytworzenia transformatora.



Rys. 3. Zasada płaszczania drutu. Przekrój przez uzwojenie a) cewka tradycyjna, b) cewka z płaszczaniem drutu

Nawijanie cewek z dużym naciąganiem powoduje wydłużenie drutu lub taśmy i zmniejszenie przekroju poprzecznego, co z kolei zwiększa straty obciążeniowe. Nawijana cewka jest jednak bardziej „upakowana”, przeciętna średnica każdego zwoju jest mniejsza, a to częściowo rekompensuje zwiększenie strat obciążeniowych. Cewki nawijane z dużym naciąganiem są też bardziej odporne na siły zwarciovie.

Zwykłe mocowanie rdzenia opiera się na mocnych belkach jarzmowych oraz na poziomych i pionowych sworzniach ściągających. Jako nową metodę stosuje się rozwiązania konstrukcyjne oparte na cienkich, lecz o dużej wytrzymałości taśmach ściągających, opasujących rdzeń. Taśmy te przenoszą obciążenia mechaniczne w czasie podnoszenia części aktywnej. Belki jarzmowe pozostają, ale o lekkiej konstrukcji i małej masie. Wszystkie zsumowane elementy mają znacznie niższą masę.

Odbiory fabryczne transformatorów rozdzielczych

Odbiory fabryczne transformatorów dokonywane są według wypracowanych na przestrzeni lat procedur przewidujących odpowiednie działania odbiorcy w ciągu całego cyklu produkcji transformatora. Celowość działań związanych z odbiorem technicznym transformatorów oceniona jest pozytywnie jako ważny element dopilnowania ich jakości. Już bowiem przy składaniu zamówień na dostawę transformatorów rozdzielczych określa się i akceptuje, z wymogiem ich przestrzegania, warunki dostawy. Obejmują one termin dostawy, dane znamionowe oraz wartości gwarantowane, normy, którym będzie odpowiadać nowo wyprodukowany transformator, a także wymagania dodatkowe zamawiającego dotyczące np. wyposażenia jednostki. Wyprodukowana w zakładzie jednostka jest zgłaszana do odbioru.

Udział niezależnego przedstawiciela zamawiającego w próbach odbiorczych transformatora umożliwia:

- kontrolę technologii produkcji transformatorów,
- uczestnictwo podczas całego cyklu produkcji transformatora,
- uczestnictwo w próbach, począwszy od prób międzyoperacyjnych aż do końcowych i odbiorczych, a także specjalnych,
- sprawdzenie podstawowych parametrów i wielkości gwarantowanych wyprodukowanych transformatorów poprzez dopilnowanie przestrzegania warunków kontraktu oraz obowiązujących norm, egzekwowanie wymagań dotyczących dokumentacji, dodatkowych wymagań zamawiającego, warunków transportu, części zamiennych, gwarancji itp.,
- natychmiastowe działanie w przypadku wątpliwości co do wyników prób międzyoperacyjnych i końcowych (typu i wyrobu), a także prób dodatkowych,
- współuczestnictwo w analizie reklamacji transformatorów, ustalanie przyczyn i inicjowanie działań naprawczych,
- przeprowadzenie pomiarów i badań dodatkowych, a także zalecenie ich przeprowadzenia w przypadku wątpliwości (niektóre z nich na stałe weszły do programu działań odbiorczych).

Wszystkie działania, które podejmuje podczas czynności odbiorczych przedstawiciel zamawiającego służą ogólnemu celowi, jakim jest niedopuszczenie do eksploatacji transformatorów nie w pełni sprawnych i zapewnienie wysokiej pewności ruchowej po wprowadzeniu ich do eksploatacji.

Znajomość technologii, kontrola wykonawstwa oraz pomiary sprawdzające podczas całego cyklu produkcji, jak również uczestnictwo w próbach międzyoperacyjnych pozwalają na ocenę poziomu nowoczesności, a także umożliwiają wyrobienie poglądu o solidności producenta.

Jednym z ważnych zadań realizowanych podczas odbioru technicznego jest sprawdzenie przestrzegania norm i Warunków Technicznych Odbioru (WTO). Chodzi tu przede wszystkim o sprawdzenie jakości wykonawstwa, dotrzymanie parametrów technicznych z uwzględnieniem obowiązujących tolerancji i poprawnej realizacji kompletu prób i badań odbiorczych itp.

Przedstawione problemy związane z produkcją transformatorów rozdzielczych, nawet przy działaniu producenta zgodnym z wymaganiami norm i przepisów, nie mogą być rozstrzygnięte zawsze z korzyścią dla przyszłej eksploatacji bez udziału przedstawiciela użytkownika w kontroli oraz próbach i badaniach fabrycznych. Często, w przypadkach wątpliwości lub dla potwierdzenia jakości, wykonywane są one z inicjatywy *ZPBE Energopomiar-Elektryka* a także – co należy podkreślić z uznaniem – przeprowadzane są (z inicjatywy wytwórców) badania dodatkowe (próby specjalne), nieobjęte przepisami ani programem prób odbiorczych.

Niektóre badania specjalne wykonywane są systematycznie i na stałe weszły do programu prób odbiorczych. Są to:

- specjalistyczne badania oleju,
 - próby i badania sprawdzające technologię produkcji,
 - analiza chromatograficzna gazów rozpuszczonych w oleju podczas prób typu i wyrobu,
 - badania sprawdzające stopień wysuszenia izolacji papierowej,
 - badania stopnia zesterzenia izolacji papierowej w procesie produkcji
- oraz szereg innych (por. tab. 3).

Tabela 3

Badania i pomiary prowadzone w ramach czynności odbiorczych transformatorów w zakładzie *Schneider Electric Transformers Poland Sp. z o.o.*

Rodzaj badań	Cel badań	Zakres badań i pomiarów
Systematyczne (wykonywane okresowo)	<ul style="list-style-type: none"> • kontrola właściwości stosowanych materiałów elektroizolacyjnych 	<ul style="list-style-type: none"> • właściwości fizykochemiczne i dielektryczne oleju (w stanie dostawy i po obróbce próżniowej), • stopień zawilgocenia materiałów celulozowych (papieru, preszpanu)
Specjalne (wykonywane okazjonalnie w miarę potrzeb)	<ul style="list-style-type: none"> • określenie wpływu stosowanych materiałów konstrukcyjnych (farby podkładowe, lakiery, kleje) na właściwości oleju i wskaźniki transformatorów, • specjalne próby niektórych parametrów transformatorów 	<ul style="list-style-type: none"> • parametry dielektryczne i fizykochemiczne olejów i materiałów celulozowych; próby starzeniowe (spektrofotometria, wskaźnik polarności, napięcie powierzchniowe, chromatografia gazowa, itp.), • badania transformatorów i właściwości dielektrycznych (hałas, stopień zawilgocenia, tzw. FDS, stanu mechanicznego uzwojeń, tzw. SFRA i inne)

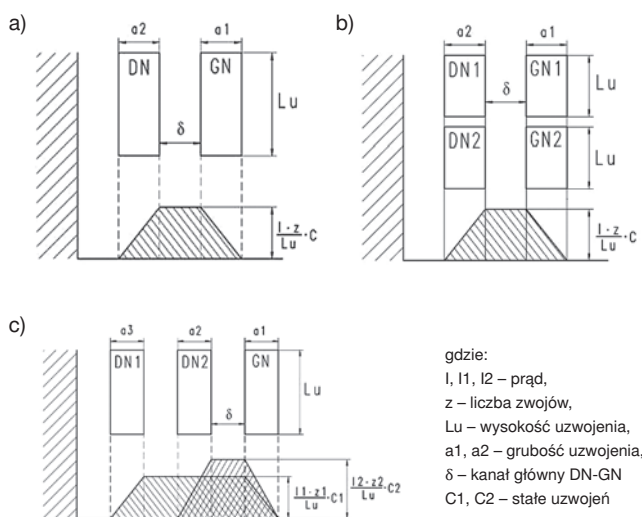
Wymienione działania stosowane w ostatnim 10-leciu znacząco wpłynęły na jakość produkowanych transformatorów. Potwierdzeniem tego jest praktycznie brak negatywnych wyników badań odbiorczych i znikoma liczba reklamacji.

Kierunki aktualnych działań

W ostatnim okresie wiele uwagi, a także pracy poświęca się budowie transformatorów rozdzielczych trójuzwojeniowych, zastosowaniu płynów izolacyjnych biodegradowalnych i trudno palnych, jak również konstrukcji transformatorów rozdzielczych z podobciążeniową regulacją napięcia.

Transformatory rozdzielcze trójuzwojeniowe

Obecnie elektrownie w Polsce, będące w trakcie budowy lub rozbudowy, do zasilania obwodów pomocniczych stosują transformatory rozdzielcze trójuzwojeniowe. Transformatory te buduje się zarówno z uzwojeniami rozmieszczonymi współśrodkowo, jak i z uzwojeniami rozmieszczonymi jedno nad drugim. Transformatory te mają różne właściwości ruchowe związane z różnym sprzężeniem magnetycznym uzwojeń DN i GN. Różnice te są zobrazowane na rysunku 4.



Rys. 4. Geometryczne przedstawienie wartości strumienia rozproszenia dla transformatora: a) dwuuzwojeniowego, b) trójuzwojeniowego o uzwojeniach typu „doppel stock”, c) trójuzwojeniowego o uzwojeniach współśrodkowych (nawijanych jedno nad drugim)

Moce uzwojeń wtórnych mogą być różne, co – w zależności od geometrii uzwojeń – ma wpływ na wartość napięć zwarcia.

Jak pokazano na rysunku 4 wartość strumienia rozproszenia, od którego zależy napięcie zwarcia (zakresowane pole powierzchni), zależy wprost proporcjonalnie od amperozwojów (w tym mocy uzwojenia). Często zdarza się, że wymagania zawarte w specyfikacjach narzucają wartości napięć zwarcia i podziału mocy dla uzwojeń DN na poziomie, który jest trudny lub czasami niemożliwy do spełnienia.

Zastosowanie wspólnego rdzenia dla transformowania różnych napięć (przy różnych mocach uzwojeń DN) daje oszczędności z punktu widzenia kosztu samego transformatora, miejsca dla komór transformatorowych, które trzeba przewidzieć na zainstalowanie transformatorów, a przede wszystkim ograniczeniu ulega liczba pól rozdzielczych z rozłącznikami i elementami zabezpieczającymi.

Transformatory z biodegradowalnym i trudno palnym płynem izolacyjnym

Transformatory rozdzielcze olejowe wypełnione olejem mineralnym pracują zarówno w stacjach napowietrznych, jak i wewnętrznych. Wymagają one odpowiedniego stanowiska olejowego, lecz w warunkach wewnętrznych stanowią dodatkowe zagrożenie pożarowe.

Stosowany tradycyjnie olej mineralny obecnie posiada skutecznych konkurentów w postaci nowoczesnych płynów izolacyjnych – biodegradowalnych i niepalnych. Wybór rozwiązania zależy od warunków eksploatacji, a zwłaszcza miejsca zainstalowania transformatora i ma charakter techniczno-ekonomiczny.

Mimo że cena płynu syntetycznego jest kilkakrotnie wyższa od ceny oleju mineralnego zastosowanie go, prócz niekwestionowanych względów bezpieczeństwa, umożliwia uzyskanie oszczędności. Wynikają one z budowy stanowisk bez mis olejowych i przewodów pomiędzy sąsiednimi jednostkami [4,5]. Opracowana i wdrożona została specjalna konstrukcja części wymiowej, przystosowana do napełniania tych jednostek płynem biodegradowalnym, uwzględniająca ich charakterystyczne właściwości (konieczność zmian konstrukcji kanałów olejowych, zmiana technologii, okresu suszenia itp.).



Rys. 5. Transformator produkcji *Schneider Electric Transformers Poland Sp. z o.o.* wypełniony płynem *Envirotemp FR3*

Na rysunku 5 przedstawiono transformator wypełniony płynem *Envirotemp FR3* firmy *CARGILL*. Choć większość transformatorów wypełnionych tym płynem to jednostki przeznaczone na eksport, należy z satysfakcją zanotować coraz większe zainteresowanie nimi wśród krajowych użytkowników. Do ich bezspornych zalet należy możliwość pracy w wyższej temperaturze (wydłużenie okresu starzenia) oraz możliwość absorpcji dużej zawartości wody (do 500 ppm) bez wpływu na wartość napięcia przebicia.

Transformatory wyposażone w układ regulacji napięcia

Transformatory wyposażone w układ regulacji napięcia, zapewniające odbiorcom napięcie o stałej wartości, są coraz częściej wymagane przez użytkowników. W fabryce wykonano już takie transformatory, w których regulacja napięcia odbywa się za pomocą transformatora dodatkowego, umieszczonego we wspólnej kadzi. Uzwojenie pierwotne transformatora wyposażone jest w zaczepty regulacyjne i zasilane napięciem wtórnym transformatora podstawowego. Regulacja napięcia odbywa się przez przełączanie zaczeptów stycznikami usytuowanymi na zewnątrz kadzi.

Niezależnie od wymienionych rozwiązań prowadzone są prace wspólne z Instytutem Napędów i Maszyn Elektrycznych *KOMEL* oraz *ZPBE Energopomiar-Elektryka* nad konstrukcją jednostki hybrydowej, umożliwiającej łączenie klasycznego transformatora z możliwością regulacji transformatora za pomocą przekształtników. Opracowany układ regulacji napięcia składa się z transformatora regulacyjnego i falownika AC/DC/AC zasilającego uzwojenia pierwotne z falownika przyłączonego do uzwojenia wtórnego.

Transformatory rozdzielcze tego typu – z regulacją napięcia pod obciążeniem – będą w przyszłości coraz częściej stosowane w związku z rosnącą liczbą zainstalowanych ogniw fotowoltaicznych i z dwukierunkowym przepływem energii w sieciach NN i SN.

Podsumowanie

Zawarty w artykule krótki przegląd zagadnień wskazuje na aktualne praktyczne kwestie konstrukcji oraz problemy teoretyczne dotyczące transformatorów rozdzielczych. Zwiększenie niezawodności i jakości wykonawstwa oraz wprowadzenie nowych rozwiązań stanowi jedno z najważniejszych osiągnięć producentów. Dużą pomoc w ciągłym doskonaleniu produktów stanowią odbiory fabryczne i współpraca techniczna w procesie wytwarzania aż do uzyskania produktu końcowego.

PIŚMIENNICTWO

- [1] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego z dnia 21 maja 2014: 2009/125/WE w odniesieniu do transformatorów elektroenergetycznych.
- [2] Sobota J., Wolnik P., *Kierunki zmian w konstrukcji transformatorów rozdzielczych oraz nowe wyzwania dotyczące prób*. Mat. Konf. „Zarządzanie Eksploatacją Transformatorów”, Wista 2018.
- [3] Ramowa Instrukcja Eksploatacji Transformatorów, *ZPBE Energopomiar-Elektryka Sp. z o.o.*, Gliwice 2012.
- [4] HEPA 70. National Electrical Code.
- [5] Büchner M., Schefer A., *Equivalence study for transformer fire protection using „ester based” insulating fluid*. SWISS. June 2011.
- [6] Lashbrook M., Kuhn M., *The use ester transformer fluids for increased fire safety and reduced costs*. CIGRE 2013.

