

doi:10.15199/48.2015.10.16

TOBNRLb 450 000/420 – największy transformator blokowy wyprodukowany przez EthosEnergy Poland S.A.

Streszczenie. Transformator blokowy regulacyjny 450MVA 420/22kV, wyprodukowany w 2014 roku dla Elektrowni Bełchatów, jest największym z dotychczas zaprojektowanych i wyprodukowanych transformatorów w Zakładzie Transformatorów EthosEnergy Poland S.A. Wysokie wymagania klienta oraz duża moc transformatora wymusiły zastosowanie najnowocześniejszych metod obliczeniowych i rozwiązań konstrukcyjnych. Pomyślnie zakończone próby końcowe oraz rozruch na stanowisku pracy potwierdziły gotowość EthosEnergy Poland S.A. do dostarczenia największych transformatorów przewidzianych do pracy w krajowej energetyce.

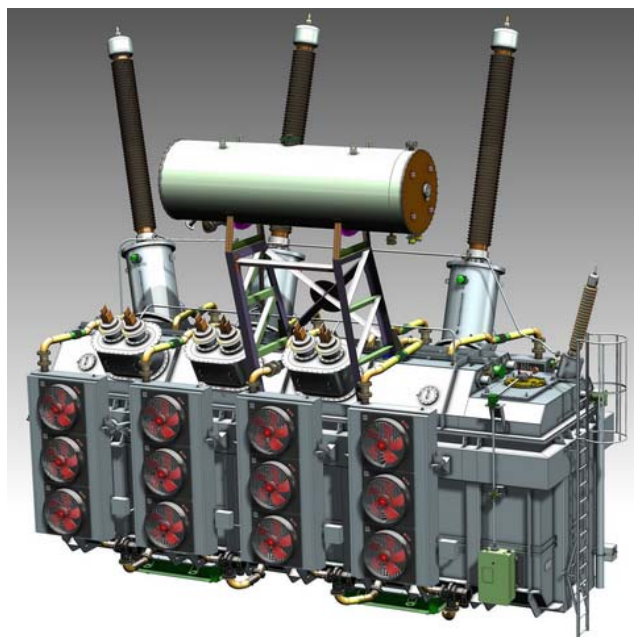
Abstract. 450MVA 420 / 22kV generator step-up regulating transformer, produced in 2014 for Bełchatów Power Plant is the largest of previously designed and manufactured transformers in the Transformers Product Line EthosEnergy Poland S.A. High customer requirements and high power transformer necessitated the use of the most modern methods of calculation and design solutions. Successfully completed final testing and commissioning in the workplace confirmed their readiness EthosEnergy Poland SA to provide the greatest transformers intended for use in domestic power industry. **TOBNRLb 450 000/420 – the largest transformer manufactured by EthosEnergy Poland S.A.**

Słowa kluczowe: transformator blokowy, uzwojenie regulacyjne, przełącznik zaczeów, rdzeń pięciokolumnowy
Keywords: generator step-up transformer, regulating winding, tap changer, five limbs core

Wstęp

W 2014 roku EthosEnergy Poland S.A. wyprodukował największy w swojej historii transformator blokowy. Była to jednostka o mocy 450 MVA i górnym napięciu 420 kV dla Elektrowni Bełchatów.

Transformatory blokowe zlokalizowane najbliżej urządzeń wytwórczych energii elektrycznej należą do najważniejszych elementów systemu elektroenergetycznego. Tradycyjnie zaliczane są do nich jednostki nie wyposażone w podobciążeniowy przełącznik zaczeów. Tendencja ta szczególnie widoczna jest w transformatorach blokowych najwyższych mocy. Obecne wymagania krajowego operatora systemu przesyłowego wymusiły konieczność zastosowania także w nich podobciążeniowej regulacji napięcia. W regulację taką wyposażono również opisywaną jednostkę 450 MVA.



Rys.1. Transformator blokowy typu TOBNRLb 450 000/420



Rys.2. Transformator blokowy typu TOBNRLb 450 000/420

W dalszej części referatu zostały przedstawione kluczowe podzespoły omawianego transformatora.

Rdzeń transformatora

Konieczność zastosowania podobciążeniowej regulacji napięcia oraz ograniczenia transportowe wymusiły zastosowanie rdzenia pięciokolumnowego (Rys. 3). Został on wyprodukowany w technice step-lap. Kolumny rdzenia zostały sprasowane z użyciem bandaży szkloepoksydowych. Belki jarmowe zoptymalizowano pod kątem wysokiej wytrzymałości na siły zwarciowe i jak najlepszego sprasowania blach rdzenia. Rozwiązania te pozwoliły na znaczne obniżenie poziomu hałasu wytwarzanego przez rdzeń.



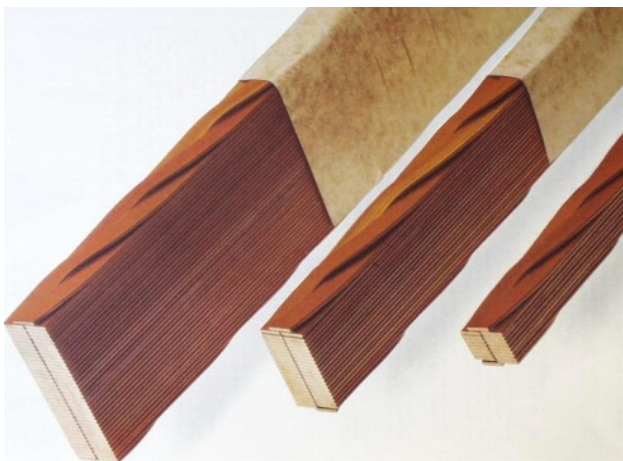
Rys.3. Rdzeń transformatora

Uzwojenia

Projektując uzwojenia zwrócono uwagę na zapewnienie bardzo wysokiej wytrzymałości zwarciowej i obniżenie współczynnika strat dodatkowych przy jednoczesnym zapewnieniu odpowiedniej wytrzymałości przepięciowej.

Konstrukcja uzwojeń została zweryfikowana za pomocą specjalistycznego oprogramowania. Zastosowana metoda projektowa bazowała na wypracowanym doborze przepleceń napięciowych, proporcji wymiarowych i typów przewodów.

W uzwojeniach dolnego napięcia DN w celu minimalizacji strat obciążeniowych zastosowane zostały przewody z ciągłą transpozycją żył CTC (Continuously Transposed Conductors).



Rys.4. Przewody CTC

Zastosowanie podczas produkcji transformatora przewodów CTC z dodatkową warstwą kleju żywicznego utwardzającego się podczas procesu suszenia uzwojeń przyczyniło się do zwiększenia wytrzymałości na promieniowe i osiowe siły zwarcia.

Pomiędzy rdzeniem i uzwojeniem dolnego napięcia DN zastosowano ekran elektrostatyczny.

Uzwojenia górnego napięcia GN wykonano jako uzwojenie wyrotkowe z przepleceniami wysokonapięciowymi. Rozwiązania te, typowe dla wykonania uzwojeń wysokonapięciowych, charakteryzują się niskimi stratami, a przede wszystkim zapewniają dużą wytrzymałość dielektryczną transformatora w trakcie eksploatacji.

Uzwojenia regulacyjne skojarzone z uzwojeniami GN wykonane zostały przewodami CTC jako śrubowe. Połączone z podobciążeniowym przełącznikiem zaczepów umożliwiają regulację napięcia w zakresie $\pm 10\%$ w ± 8 stopniach regulacyjnych.

W uzwojeniach celem poprawy rozkładu pola elektrycznego zastosowano na ich krańcach pierścienie ekwipotencjalne.

Układy izolacyjne

W przestrzeniach izolacyjnych pomiędzy uzwojeniami zostały umieszczone twarde tuleje izolacyjne z transformerboardu. Także izolację końcową, czyli kołnierze i pierścienie wykonano z transformerboardu.

Wyprowadzenia wysokonapięciowe zostały wyprowadzone ze środka uzwojenia GN z zastosowaniem odpyływów modularnych. Przy ich projektowaniu wykorzystano metodę elementów skończonych 3D. Wykonano analizę pola elektrycznego odpywwu wraz z kominkiem transformatora. Umożliwiło to zastosowanie zminimalizowanych odległości izolacyjnych przy zapewnieniu wysokiej niezawodności tego węzła transformatora.



Rys.5. Układy izolacyjne transformatora



Rys.6. Widok modularnego odpywwu 420 kV

Izolatory przepustowe

Zgodnie z wymogami Klienta które odzwierciedlają obecne tendencje w elektroenergetyce, transformator wyposażono w kompozytowe izolatory przepustowe pozbawione oleju elektroizolacyjnego o izolacji typu RIP (Resin Impregnated Paper – papier nasycony żywicą). Zapewniło to niski poziom wylądowań niezupełnych i wymaganą niezawodność. Dodatkowo zastosowano system ciągłego monitorowania izolatorów ZVCM1001 umożliwiający ciągłą kontrolę ich stanu technicznego.



Rys.7. Izolator kompozytowy typu RIP

Przełącznik zaczepów

Transformator wyposażony został w podobciążeniowy próżniowy przełącznik zaczepów w punkcie zerowym uzwojenia 420kV. Ilość stopni regulacji: 17, zakres regulacji: $\pm 10\%$. Pierwsza rewizja wewnętrzna przełącznika przewidywana jest nie wcześniej niż po 300 000 operacji łączeniowych niezależnie od okresu eksploatacji.



Rys.8. Próźniowy przełącznik zaczełów Reinhausen typu VR

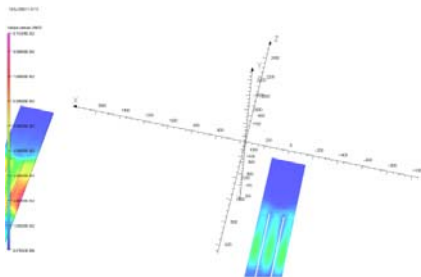
Kadź i konstrukcje metalowe

Kadź transformatora wykonano z blachy stalowej usztywnionej kształtownikami stalowymi pionowymi i poziomymi zapewniającymi odpowiednią wytrzymałość mechaniczną. Konstrukcja kadzi zapewnia jej wytrzymałość na próżnię i nadciśnienie. Do ochrony kadzi przed nadmiernym wzrostem ciśnienia zastosowano zawory upustowe bezpieczeństwa. Kadź przystosowano do transportu kolejowego i wyposażono w podwozie w postaci przestawialnych ośmiokołowych wózków. Umożliwia to toczenie transformatora wzdłuż po jednym torze lub w poprzek po dwóch torach wzajemnie równoległych, a prostopadłych do dłuższych boków kadzi.

Kadź posiada uchwyty umożliwiające podnoszenie całego transformatora suwnicą oraz wsporniki do podnoszenia podnośnikami hydraulicznymi. Wykonane obliczenia wytrzymałościowe potwierdziły poprawność przyjętej konstrukcji kadzi pozwalając jednocześnie uniknąć nadmiernego wzrostu masy transformatora.

Na powierzchniach wewnętrznych kadzi i pokrywy umieszczone zostały ekrany magnetyczne, wykonane w postaci pakietów z blachy transformatorowej anizotropowej. Zastosowanie ekranowania magnetycznego obniżyło straty w konstrukcji kadzi.

Specjalistyczne oprogramowanie wykorzystujące metodę elementów skończonych umożliwiło wykonanie obliczeń w zakresie analizy pola od strumienia rozproszenia, rozkładu indukcji, gęstości prądów i strat w elementach konstrukcyjnych.



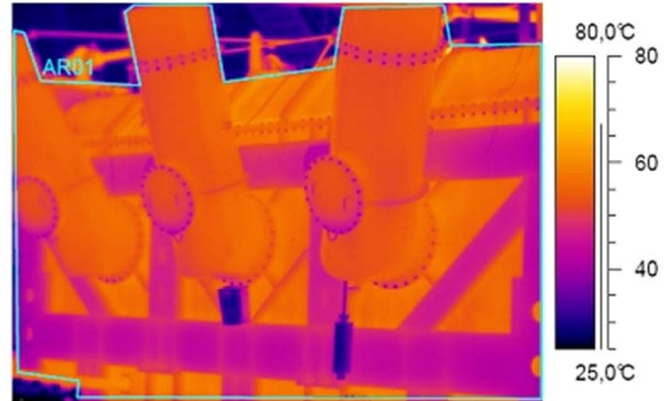
Rys.9. Rozkłady modułu indukcji w łącznikach belek rdzenia przykładowego transformatora

Na podstawie otrzymanych wyników i własnych doświadczeń produkcyjnych określone zostały temperatury nagrzewania się elementów konstrukcyjnych transformatorów, narażonych na działanie pól rozproszenia od uzwojeń i odpływów.

Podczas wykonywania analizy wyników przeprowadzona została ocena w zakresie:

- przyrostów temperatur oleju i uzwojeń,
- przyrostów temperatur głównych elementów konstrukcyjnych.

Sprawdzenie braku lokalnych przegrzań elementów konstrukcyjnych odbyło się za pomocą badań termowizyjnych. Umieszczenie oraz temperatury gorących punktów transformatora potwierdziły prawidłowość przeprowadzonych obliczeń.



Rys.10. Termogram przykładowego transformatora

Podsumowanie

Wieloletnie doświadczenia firmy w modernizacjach i produkcji transformatorów blokowych oraz wykorzystanie najnowszych zdobyczy techniki transformatorowej przyniosły efekt w postaci jednostki spełniającej wszystkie wymagania techniczne stawiane przez Klienta. Jesteśmy w pełni gotowi na kolejne wyzwania. Dzięki rosnącym wymaganiom naszych Klientów zdobywamy doświadczenie i wiedzę potrzebną do ich realizacji.

LITERATURA

- [1] R. Malewski, M. Mnich, J. Popardowski „Transformator blokowy 305 MVA, 400/15,75 KV z nowoczesnym układem izolacyjnym” XV Konferencja Energetyki – Zamek Ryn – 5-7.09.2007
- [2] Heinrich B., Krause C., Wick K., Malewski R., Mnich M., Popardowski J. „Modułarny układ izolacyjny odpływu uzwojenia 400 kV transformatora blokowego”, VI Konferencja Naukowo-Techniczna, Transformatory Energetyczne i Specjalne, Kazimierz Dolny, 11-13 października 2006

Autorzy: dr inż. Maciej Wilk, mgr inż. Adam Kozakiewicz Dział Konstrukcyjny Zakładu Transformatorów EthosEnergy Poland S.A.