

doi:10.15199/48.2017.11.06

Autotransformator sieciowy 330MVA 410/123/15,75kV – nowy produkt Zakładu Transformatorów EthosEnergy Poland S.A.

Streszczenie. W referacie przedstawiono projekt autotransformatora typu ANER3La 330000/410 wyprodukowanego w EthosEnergy Poland S.A. Zaprezentowane zostały wybrane aspekty techniczne związane z konstrukcją oraz obliczeniami projektowymi. Dzięki zastosowanym rozwiązaniom autotransformator jest nowoczesnym produktem spełniającym wysokie wymagania techniczne i eksploatacyjne przemysłu energetycznego.

Abstract. The paper presents a design of autotransformer ANER3La 330000/410 manufactured by EthosEnergy Poland S.A. There are presented some technical aspects connected with its construction and design calculations. As a result of applied solutions autotransformer is an example of modern design meeting high technical and operational requirements expected by demanding power industry. **A design of autotransformer ANER3La 330000/410 manufactured by EthosEnergy Poland S.A**

Słowa kluczowe: autotransformator, energooszczędność, monitoring, sterowanie

Keywords: autotransformer, energy saving, monitoring, control

Wstęp

Autotransformatory stanowią bardzo istotną część Krajowego Systemu Elektroenergetycznego (KSE). Zainstalowane w kluczowych węzłach systemu stanowią element łączący sieci wysokich napięć. Ich znaczna ilość jest miarą zdolności przesyłowych systemu i pewności zasilania odbiorców energii elektrycznej w Polsce.

Konieczność modernizacji i rozbudowy krajowych zasobów autotransformatorów energetycznych obejmuje wymianę kilkudziesięciu jednostek. W większości przypadków decyzja o wymianie autotransformatora podyktowana jest jego awaryjnością i znacznym stopniem zużycia spowodowanym długim okresem eksploatacji [1]. Polskie Sieci Elektroenergetyczne będące operatorem KSE podjęły w 2015 roku decyzję o wszczęciu procedury przetargowej na kolejny VI etap modernizacji. W ramach tego przetargu EthosEnergy Poland S.A. pozyskało jeden z pakietów na produkcję pięciu autotransformatorów o mocy 330 MVA. Specyfika zdefiniowanych przez zamawiającego wymagań oraz konieczność uzyskania niskich strat wymusiły zastosowanie nowoczesnych materiałów i rozwiązań prowadząc w efekcie do powstania zaawansowanej konstrukcji nowego autotransformatora.

Nowy autotransformator sieciowy

Wymagania klientów co do nowych autotransformatorów koncentrują się na nowoczesnych, energooszczędnych i niezawodnych konstrukcjach spełniających współczesne wymagania eksploatacyjne zapewniające łatwość obsługi i bezawaryjną pracę. W odpowiedzi na rynkowe zapotrzebowanie firma EthosEnergy Poland opracowała i wdrożyła projekt nowoczesnego autotransformatora typu ANER3La 330000/410.

Projekt uwzględniał możliwość uzyskania różnych wartości mocy transformatora dla zastosowanych zmiennych warunków pracy układu chłodzenia przy określonym stopniu przeciążenia transformatora. Na bazie obliczeń projektowych uzyskano bardzo niski poziom mocy akustycznej oraz wymagane straty jałowe i obciążeniowe.

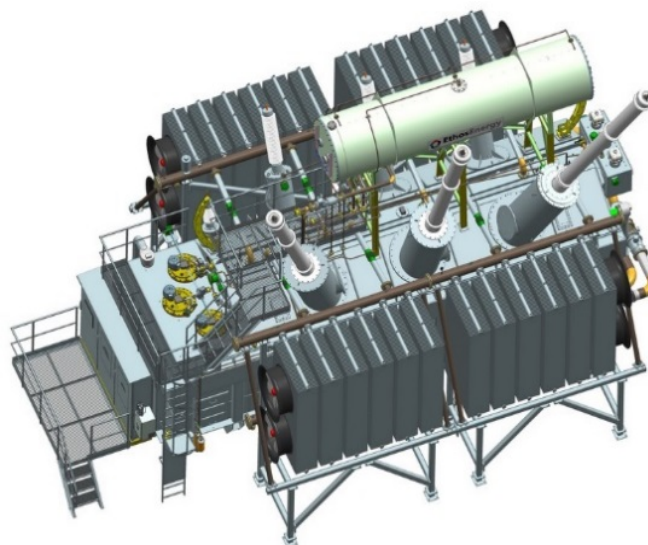
Proces projektowania

Proces projektowania nowego autotransformatora, przez specjalistów z EthosEnergy, ukierunkowano na spełnienie wysokich wymagań klienta określonych w specyfikacjach [2,3]. Efektem wykonanych prac projektowych jest autotransformator typu ANER3La 330000/410 wykonany ściśle według założeń technicznych

ujętych w specyfikacji opracowanej przez PSE. W tabeli 1 przedstawiono dane znamionowe wykonanej jednostki, natomiast na rysunku 1 pokazano widok modelu 3D opracowany w procesie projektowania.

Tabela 1: Parametry znamionowe autotransformatora ANER3La 330000/410 [4]

Moce znamionowa	330 / 330 / 50 MVA
Napięcia znamionowe uzwojeń	410 / 123 / 15,75 kV
Układ i grupa połączeń	YN0d11
Regulacja napięcia	±11,6 % po stronie 410 kV
Przewzbudzalność napięciowa	10 %
Napięcie zwarcia	9,56 %
Straty jałowe	70,2 kW
Straty obciążeniowe	557,9 kW
Typ układu chłodzenia	ONAN/ONAF/ODAF
Poziom mocy akustycznej (L_{WA})	83,5 dB(A)
Masa całkowita	321 000 kg
Wykonanie wg normy	PN-EN 60076

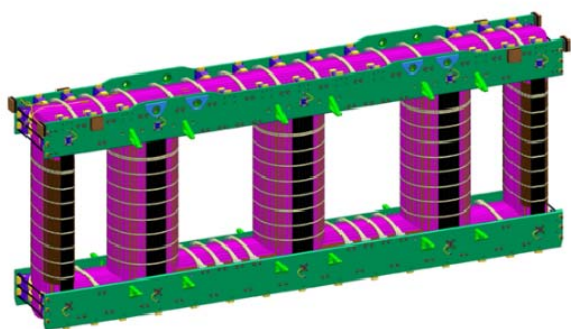


Rys.1. Trójwymiarowy model CAD autotransformatora ANER3La 330000/410

Rdzeń

Autotransformator posiada schodkowy rdzeń pięciokolumnowy (rys.2) zaplany w technologii step-lap. Do jego budowy użyto blachy transformatorowej o obniżonej stratności i magnetostrykcji. Pomiędzy

poszczególnymi stopniami jarzm i kolumn zastosowano kanały chłodzące. Kolumny rdzenia są prasowane bandażami z włókna szklanego.



Rys.2. Rdzeń autotransformatora - trójwymiarowy model CAD

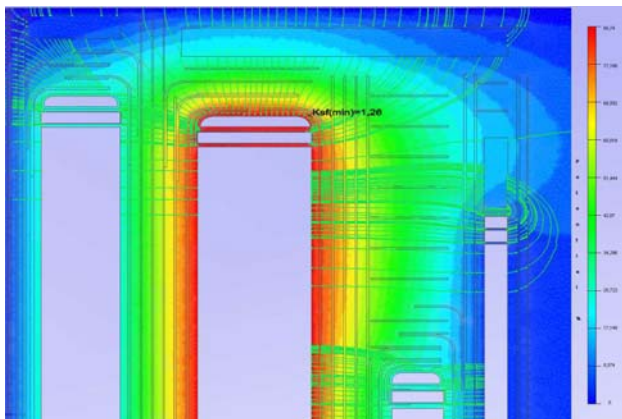
Uzwojenia

Uzwojenia typu cewkowego oraz śrubowego nawinięto przewodami miedzianymi i umieszczono współśrodkowo na kolumnach. Dla uzyskania niskich strat obciążeniowych i minimalizacji zagrożeń uszkodzenia uzwojeń pochodzących od sił zwarciovych zastosowano przewody z ciągłą transpozycją żył, klejone w oplocie siatkowym (CTC).

Układ izolacyjny uzwojeń

Ze względu na bardzo wysokie napięcie uzwojenia GN (410kV) poprawne zaprojektowanie układu izolacyjnego stanowiło jeden z podstawowych problemów. Parametry napięciowe autotransformatora i wymagania zdefiniowane przez Klienta zostały odzwierciedlone w zaprojektowanym układzie elektroizolacyjnym. Przeprowadzono rozszerzone obliczenia i symulacje rozkładu pola elektrycznego. Przyjęte ostatecznie rozwiązanie uwzględniało również dotychczasowe doświadczenia wynikające z wcześniej modernizowanych i udoskonalanych układów izolacyjnych autotransformatorów oraz transformatorów. Pozwoliło to na właściwą optymalizację układu izolacyjnego w nowym autotransformatorze. Podstawowym celem było zagwarantowanie bezpiecznej eksploatacji z uwzględnieniem odpowiednich współczynników zapasu wytrzymałości. Wartości te zostały zweryfikowane podczas końcowych prób napięciowych.

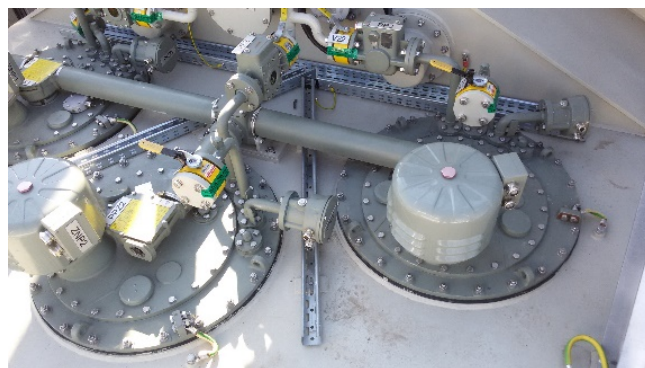
Układ izolacyjny analizowano i optymalizowano na bazie rozkładów pola elektrycznego w poszczególnych stanach napięciowych. Przykładem może być rozkład naprężeń elektrycznych w autotransformatorze który zilustrowano na rys.3. Dokonano również oceny zagrożeń układu izolacyjnego uzwojenia wyrównawczego wynikającego z przepięć przenoszonych.



Rys. 3. Przykładowy rozkład naprężeń elektrycznych w układzie izolacyjnym uzwojeń

Przełączniki zaczełów

Autotransformator wyposażono w trzy jednofazowe podobciążeniowe przełączniki zaczełów typu VRE firmy Maschinenfabrik Reinhausen (MR). Poprzez zastosowanie przełączników w wykonaniu próżniowym (rys.4) zapewniono wysoką niezawodność i zwiększony do 300 000 przełączeń okres pomiędzy przeglądami.



Rys.4. Podobciążeniowe przełączniki zaczełów

Izolatory przepustowe i połączenia kablowe

Autotransformator wyposażono w izolatory przepustowe i złącza konektorowe odpowiednio dobrane do napięć znamionowych i probierczych transformatora. Izolatory przepustowe strony GN, DN oraz punktu neutralnego posiadają osłonę z kompozytu. Izolatory zostały wykonane w technologii RIP i nie zawierają oleju elektroizolacyjnego (tzw. dry type).

Wyprowadzenia z uzwojenia wyrównawczego (15,75kV) zlokalizowane zostały na krótkim boku autotransformatora. Wykonano je przy użyciu specjalnych gniazd umożliwiających podłączenie głowic konektorowych, które pokazano na rysunku 5. Na każdej fazie w jednym z czterech gniazd zainstalowany został ogranicznik przepięć.



Rys. 5. Gniazdo kablowe Connex Quadruple

Układ chłodzenia

Zaprojektowanie układu chłodzenia spełniającego zdefiniowane wymagania było jednym z kluczowych zadań. Układ chłodzenia autotransformatora działa na zasadzie klasycznego, dwuczynnikowego przepływu ciepła. Układ przewiduje ukierunkowany przepływ oleju przez uzwojenia pozwalając na intensywniejsze ich chłodzenie przy zastosowaniu odpowiednio dużych gęstości prądów. Olej transformatorowy odprowadza powstałe ciepło do dwóch baterii radiatorów umieszczonych na kadzi. Wentylatory intensyfikują odprowadzanie ciepła do atmosfery. Pompy olejowe zwiększają przepływ oleju umożliwiając lepsze odbieranie ciepła wydzielanego w uzwojeniach. Fotografię układu chłodzenia z widokiem wentylatorów przedstawiono na rysunku 6.

Zastosowany układ chłodzenia uwzględnia możliwość jego pracy w 5. trybach. Rozwiązanie takie wynika z wymagań technicznych uwzględniających profil obciążenia autotransformatora. Tryby pracy układu chłodzenia są zdefiniowane w zależności od mocy i przedstawiają się następująco, jako:

- a) naturalna konwekcja oleju i powietrza ONAN: 135 MVA,
- b) naturalna konwekcja oleju i wymuszona powietrza ONAF1: 150 MVA,
- c) naturalna konwekcja oleju i wymuszona powietrza ONAF2: 165 MVA,
- d) wymuszony podsterowany obieg oleju i powietrza OD1AF1: 250 MVA,
- e) wymuszony podsterowany obieg oleju i powietrza OD2AF2: 330 MVA oraz przeciążenia 400, 420 i 460 MVA.



Rys. 6. Widok układu chłodzenia autotransformatora ANER3La 330000/410

Praca autotransformatora w poszczególnych trybach jest możliwa dzięki zastosowaniu w układzie sterowania specjalistycznego sterownika posiadającego rozbudowane funkcje monitoringu parametrów i diagnostyki obwodu cieplnego. Obejmują one między innymi wyznaczenie: temperatury oleju w górnej warstwie, temperatur najgorętszego miejsca uzwojenia (hot-spot), określenie stopnia zesterzenia izolacji papierowej oraz generowanie ostrzeżeń i alarmów w przypadku nieprawidłowej pracy układu chłodzenia.

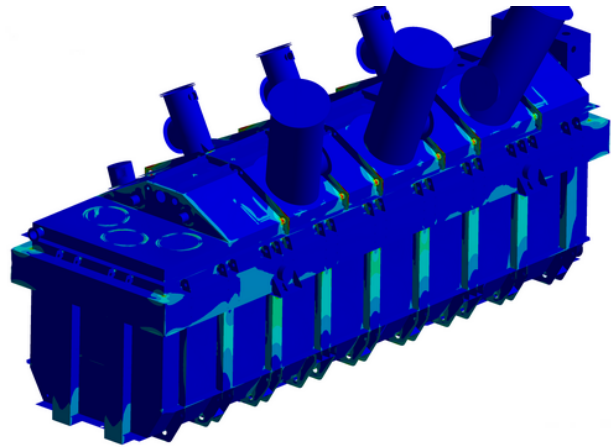
Zastosowane rozwiązania pozwalają na ograniczenie poboru mocy czynnej przez urządzenia pomocnicze autotransformatora, redukcję emitowanego hałasu umożliwiając jednocześnie pracę przy przeciążeniu z zachowaniem dopuszczalnych przyrostów temperatur. Wykonane próby cieplne autotransformatora w podanych powyżej stanach obciążenia potwierdziły prawidłowość konstrukcji układu chłodzenia.

Konstrukcja mechaniczna

W procesie projektowania elementów konstrukcyjnych autotransformatora obejmujących konstrukcję kadzi i prasowanie rdzenia wykorzystano kryterium wytrzymałości mechanicznej dla doboru właściwych materiałów i podzespołów. Efektem obliczeń wytrzymałościowych jest rozkład naprężeń kadzi. Na rysunku 7 pokazano przykładowy wynik symulacji.

W procesie projektowania elementów kadzi istotnym aspektem była również minimalizacja udziału strat dodatkowych generowanych w jej konstrukcji w odniesieniu

do całkowitych strat obciążeniowych. W celu zminimalizowania poziomu strat mocy czynnej w elementach konstrukcji mechanicznych zastosowano specjalne ekrany magnetyczne ułożone na ścianach kadzi. Ograniczenie strat mocy czynnej indukowanych w belkach jarzmowych, uzyskano przez dobór odpowiednich materiałów, a także ich optymalne ukształtowanie i położenie. Widok wykonanej kadzi autotransformatora o mocy 330 MVA posadowionej na miejscu instalacji pokazano na rysunku 8.



Rys. 7. Rozkład naprężeń w kadzi autotransformatora



Rys. 8. Kadź autotransformatora po przetransportowaniu na miejsce instalacji

Układy automatyki i sterowania

Praca autotransformatora nie wymaga bezpośredniego nadzoru podczas jego eksploatacji, dzięki zastosowaniu systemów aparatury kontrolno-pomiarowej i regulacyjnej wyposażonej w cyfrowe sterowniki programowalne PLC. Nie mniej projekt przewiduje również tryb sterowania ręcznego, w którym użytkownik ma zapewnioną pełną i bezpośrednią kontrolę pracy jednostki.

Przewidziano możliwość instalacji koncentratorów umożliwiających podłączenie układów automatyki autotransformatora do systemu monitoringu lokalnego oraz zdalnego. W celu podniesienia stopnia niezawodności pracy autotransformatora zdecydowano, że wszystkie sygnały pomiarowe i regulacyjne pochodzące z aparatury zabudowanej w autotransformatorze są zdwójone. Takie rozwiązanie zapewnia pełną kompatybilność oraz łatwość

konfiguracji z systemami nadrzędnymi sieci elektroenergetycznych.

Na szczególną uwagę zasługuje fakt dodatkowej zabudowy w autotransformatorze dwóch czujników wyładowań niepełnych, które zainstalowane są po przeciwnych stronach kadzi. Zainstalowano również system monitorowania zawartości wody i gazów w oleju (rys. 9).



Rys. 9. Układ do monitorowania zawartości wody i gazów oleju wraz z czujnikiem wyładowań niepełnych



Rys. 10. Autotransformator ANER3La 330000/410 na stanowisku pracy

Podsumowanie

Autotransformator ANER3La 330000/410 został zaprojektowany z użyciem nowoczesnych metod obliczeń komputerowych przy wykorzystaniu dotychczasowych doświadczeń EthosEnergy Poland S.A. w produkcji i modernizacji tego typu jednostek. Zaprojektowany i wykonany nowy typ autotransformatora wprowadza na rynek innowacyjne rozwiązania techniczne, spełniające wysokie wymagania w zakresie zapewnienia jakości podczas zmiennych warunków eksploatacji. Uzyskanie bardzo dobrych parametrów technicznych autotransformatora możliwe było dzięki zastosowaniu zaawansowanych technologii oraz użyciu nowoczesnych materiałów magnetycznych, izolacyjnych i konstrukcyjnych. Na rysunku 10 przedstawiono widok autotransformatora na stacji elektroenergetycznej.

Autorzy:

dr inż. Maciej Wilk,

e-mail: maciej.wilk@ethosenergygroup.pl;

mgr inż. Arkadiusz Kulik,

e-mail: arkadiusz.kulik@ethosenergygroup.pl;

mgr inż. Adam Kozakiewicz,

e-mail: adam.kozakiewicz@ethosenergygroup.pl

LITERATURA

- [1] Węgliński J.; Pokora S.; Sobocki R.: Elementy polityki modernizacji populacji transformatorów eksploatowanych przez PSE S.A., XIII Konferencja Energetyki, Kliczków, 10-12 września 2003
- [2] PSE-ST.ATR.KEP_2015 – Standardowa specyfikacja techniczna. Autotransformatory 220/110kV, 400/220kV, 400/110kV. Wymagania konstrukcyjne, eksploatacyjne i próby. Konstancin-Jeziorna, 2014
- [3] PSE-ST.ATR.400.330.PWT_2014v1 - Standardowa specyfikacja techniczna autotransformatora 330/330/50MVA, 400/110kV, 410kV \pm 11,6%/123/15,75 kV. Podstawowe wymagania techniczne. Konstancin-Jeziorna, 2014
- [4] Dokumentacja techniczno-ruchowa: Instrukcja uruchomienia i obsługi autotransformatora typu ANER3La 330000/410, EthosEnergy Poland S.A. Lubliniec, 2016
- [5] Wiak S., Drzymała P., Welfle H.: Opracowanie modelu obliczeniowego trójwymiarowej konstrukcji autotransformatora typu ANSR3L 125000/220PN oraz analiza rozkładów pola elektromagnetycznego w wybranych obszarach kadzi, ekranów i elementów konstrukcyjnych wraz z analiza strat. Dokumentacja EthosEnergy Poland S.A., 2011