

Produkcja nowych transformatorów w TurboCare Poland S.A. z zastosowaniem energooszczędnych i innowacyjnych rozwiązań konstrukcyjnych

Streszczenie W referacie omówiono rozwój produkcji transformatorów mocy w TurboCare Poland S.A. Na przykładach zrealizowanych projektów przedstawiono zwiększenie innowacyjności i energooszczędności produkowanych transformatorów. Zaprezentowano, jak zdobyte doświadczenia pozwalają na produkcję coraz bardziej zaawansowanych technicznie transformatorów różnych typów.

Abstract The paper discusses the development of production of power transformers in TurboCare Poland SA. In the instances of projects already performed there is presented, how to increase innovativeness and energy efficiency of manufactured transformers. Presented is also how the experience gained may enable the production of more and more technologically advanced transformers of various types. **The development of production of power transformers in TurboCare Poland SA**

Słowa kluczowe: autotransformator, transformator, innowacyjność, światłowodowe czujniki temperatury

Keywords: autotransformer, transformer, innovativeness, optical temperature sensors

doi:10.12915/pe.2014.01.53

1. Wstęp

Aktualne trendy rozwoju produkcji transformatorów zmierzają do ograniczenia kosztów ich wytwarzania przy zachowaniu jak najmniejszych wymiarów oraz uzyskaniu niskich strat jałowych i obciążeniowych. Wymaga to poszukiwania innowacyjnych i nowatorskich rozwiązań pozwalających na uzyskanie oczekiwanych parametrów. Wieloletnie doświadczenie firmy TurboCare Poland S.A. jako producenta transformatorów oraz wyniki uzyskiwane podczas przeprowadzanych prób fabrycznych stanowią podstawę do określania dalszych kierunków rozwoju konstrukcji produkowanych jednostek. Dzięki stale prowadzonym działaniom ulepszającym udaje się realizować coraz to większe i nowocześniejsze konstrukcje oraz optymalizować istniejące rozwiązania transformatorów.

2. Wybrane konstrukcje transformatorów

2.1. Autotransformatory

Wymagania klientów dotyczące nowych autotransformatorów koncentrują się na nowoczesnych, energooszczędnych i niezawodnych konstrukcjach spełniających współczesne wymagania eksploatacyjne, a także zapewniających łatwość obsługi i bezawaryjną pracę. W odpowiedzi na rynkowe zapotrzebowanie firma TurboCare Poland S.A. opracowała i wdrożyła do produkcji projekty nowoczesnych autotransformatorów typu ANSR3L 125000/220PN oraz ANSR3L 250000/400PN.

Tabela 1: Parametry znamionowe autotransformatorów ANSR3L 125000/220PN i ANSR3L 250000/400PN

Moce znamionowe	250/250/50 MVA	125 / 125 / 10 MVA
Napięcia znamionowe	410/123/15,75 kV	230/120/15,75(10,5) kV
Układ i grupa połączeń	YNa0d11	YNa0d11
Regulacja napięcia	+10,7/-11,9% po stronie 410 kV	±10 % po stronie 230 kV
Napięcie zwarcia	14,97 %	9,56 %
Straty jałowe	95,2 kW	26,6 kW
Straty obciążeniowe	684,5 kW	283,5 kW
Typ układu chłodzenia	ODAF (ONAN)	ODAF (ONAN)
Poziomy poziom akust. (L_{WA})	89,3 dB(A)	85,6 dB(A)
Masa całkowita	265 000 kg	135 000 kg
Wykonanie wg normy	PN-EN 60076	PN-EN 60076

Narzucone przez Klienta parametry techniczne wymusiły zastosowanie szeregu specjalnych zabiegów

konstrukcyjnych. Szczególnie ważne było uzyskanie niskiego poziomu hałasu. W przypadku autotransformatora 250 MVA, który wyprodukowany został jako pierwszy, osiągnięto go poprzez zastosowanie ekranów akustycznych zabudowanych na kadzi transformatora. W połączeniu z cichobieżnymi wentylatorami chłodnic pozwoliło to uzyskać moc akustyczną poniżej 90 dB(A).



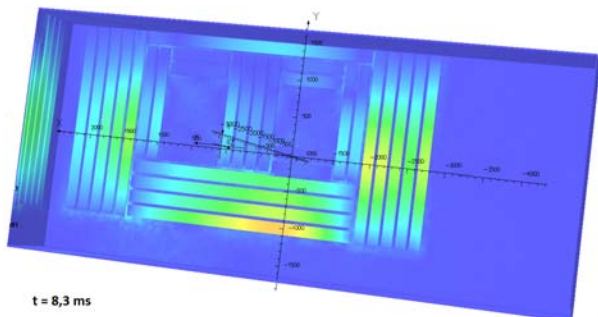
Rys.1 Autotransformator ANSR3L 250000/400PN

Doświadczenia zdobyte przy jego produkcji wykorzystano podczas projektowania autotransformatora o mocy 125 MVA. W jego przypadku wyeliminowano kosztowne i skomplikowane ekrany akustyczne. Wymagany poziom mocy akustycznej udało się osiągnąć poprzez zastosowanie blachy transformatorowej o obniżonej magnetostrykcji oraz użycie pomp i wentylatorów chłodnic olejowych o obniżonej głośności. Autotransformator został wyposażony w specjalnie zaprojektowane jednobiegowe chłodnice olejowo-powietrzne umożliwiające grawitacyjny przepływ oleju przy wyłączonych osiowych pompach olejowych. Dzięki temu autotransformator może pracować w trybie naturalnej konwekcji (ONAN) przy obciążeniu do 25% jego mocy znamionowej. Znane do tej pory konstrukcje z chłodzeniem ODAF w których stosowano chłodnice olejowo-powietrzne całkowicie wykluczały możliwość pracy w trybie ONAN. Powodem tego była blokada przepływu oleju przez wyłączone odśrodkowe pompy olejowe i wielobiegowe chłodnice.

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

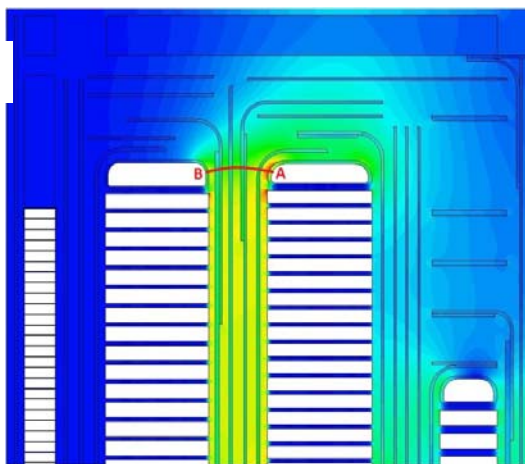
Zastosowane rozwiązania pozwalają na ograniczenie poboru mocy czynnej przez urządzenia pomocnicze autotransformatora i redukcję emitowanego hałasu. Umożliwiają jednocześnie pracę przy przeciążeniu z zachowaniem bezpiecznych przyrostów temperatur.

W autotransformatorach istotną rolę odgrywa ograniczenie strat dodatkowych w elementach konstrukcyjnych pochodzących od strumienia rozproszenia. Eliminowane jest w ten sposób niebezpieczeństwo wystąpienia lokalnych przegrzań. Osiągnięto to poprzez zastosowanie odpowiednio zaprojektowanych ekranów magnetycznych na ścianach kadzi. Ograniczenie strat mocy czynnej indukowanych w belkach jarzmowych uzyskano przez dobór odpowiednich materiałów, a także obliczeniową optymalizację ich ukształtowania i położenia (rys.2).



Rys. 2 Rozkład indukcji w ekranach magnetycznych kadzi

Kluczowym elementem uzyskania nowoczesnej konstrukcji autotransformatora było zaprojektowanie optymalnie skonfigurowanego układu izolacyjnego. Od strony elektrycznej zapewnia on odpowiednią wytrzymałość napięciową gwarantując jednocześnie prawidłowy wymuszony przepływ oleju przez uzwojenia. Został on zweryfikowany komputerowo, a współczynnik zapasu izolacyjnego wyznaczono metodą napięć DIL firmy Weidmann.



Rys. 3 Rozkład napiężeń elektrycznych w układzie izolacyjnym

Wprowadzone innowacyjne rozwiązania techniczne, jakościowe i eksploatacyjne wraz z nowoczesnymi komputerowymi metodami projektowania pozwoliły w pełni spełnić wymagania stawiane przez Klienta i stały się podstawą do opracowania projektów na kolejne autotransformatory. Wśród oferowanych przez TurboCare Poland S.A. autotransformatorów pojawiły się kolejne konstrukcje o mocach 275/275/50MVA oraz 330/330/50MVA. Cechą charakterystyczną tych jednostek jest rozwiązanie układu chłodzenia oparte na zastosowaniu radiatorów i wymuszonego obiegu oleju ODAF. Dzięki temu w trybie ONAN osiągnięto możliwość pracy z obciążeniem dochodzącym do 50% mocy znamionowej.

2.2. Transformatory blokowe

TurboCare Poland od wielu lat jest dostawcą nowych transformatorów blokowych oraz wykonawcą ich modernizacji dla polskich elektrowni. Najnowsze uregulowania Operatora Systemu Przesyłowego (OSP) zawarte w Instrukcji Ruchu i Eksploatacji Sieci Przesyłowych (IRiESP) nakładają wymagania, aby transformator blokowy od strony uzwojenia przyłączonego do sieci posiadał podobciążeniową regulację o zakresie $\pm 10\%$ w ± 10 stopniach. Wymusiło to konieczność instalowania w transformatorach blokowych dużych mocy podobciążeniowych przełączników zaczepów zapewniających regulację górnego napięcia. Klasyczne rozwiązanie transformatora blokowego jako jednostki bez przełącznika zaczepów będzie więc odchodziło w przeszłość. W konsekwencji tych zmian należy się liczyć ze zwiększeniem gabarytów transformatora, zarówno jego długości (ze względu na instalację przełącznika) jak i szerokości (w związku z instalacją na kolumnie uzwojenia regulacyjnego). Wzrasta również masa całkowita transformatora.



Rys. 4 Część aktywna transformatora blokowego TOBNRLa 290000/400

W związku z tym jednym z głównych kryteriów projektowania konstrukcji, oprócz uzyskania zadanych parametrów znamionowych jest uzyskanie wymiarów końcowych transformatora nieprzekraczających dopuszczalnych gabarytów transportowych. W tej sytuacji uzasadnione jest zastosowanie najbardziej efektywnego chłodzenia z podsterowanym przepływem oleju ODAF. Efektem intensywnych prac projektowych i produkcyjnych jest seria transformatorów blokowych o mocy 290MVA na napięciu 230 i 420kV dla Elektrowni Połaniec.

Aktualnie realizowana jest przez TurboCare Poland S.A. produkcja największej do tej pory jednostki blokowej z regulacją napięcia 420kV w zakresie $\pm 10\%$ o mocy 426MVA.

2.3. Transformatory specjalne

Bardzo ciekawą i nietypową zrealizowaną konstrukcją jest zespół transformatorów zasilających piec hutniczy. Składa się on z autotransformatora zasilającego i trzech transformatorów jednofazowych. Zakład Transformatorów wyprodukował autotransformator oraz jeden transformator jednofazowy. Transformatory musiały posiadać parametry dostosowane do pracy w istniejącym układzie zasilającym, co wymagało projektowo odtworzenia ich konstrukcji w zasadzie bez znajomości istniejącego rozwiązania. Unowocześniono konstrukcję stosując do jej budowy przewody CTC oraz blachę transformatorową o niskiej stratności. Dzięki temu zmniejszono straty jałowe aż o 35% w stosunku do jednostki istniejącej. Obniżeniu uległy również straty obciążeniowe, zapewniając tym samym użytkownikowi zwiększenie ekonomiki pracy układu.

Autotransformator pracuje w zamkniętej komorze i posiada układ chłodzenia OFAF wyprowadzony na zewnątrz komory. Autotransformator ATOCHL 20000/6 należy określić jako zespół regulacyjny o napięciu wejściowym 6 kV i regulowanym napięciu wyjścia w bardzo szerokim zakresie od 4 do 8 kV przy stałym prądzie. Ze względu na wysoką wartość prądu regulacji powyżej 2000A i brak odpowiednich przełączników w przedstawionej konstrukcji, istniała konieczność umieszczenia wewnątrz jednostki transformatora dodatkowego pracującego w sprzężeniu z transformatorem regulacyjnym. Transformatory zostały umieszczone jeden na drugim i połączone śrubami osiowymi.

Do regulacji napięcia zastosowano podobciążeniowy przełącznik zaczepów w wykonaniu próżniowym typu VRC III na prąd nominalny 400 A. Realizuje on regulację napięcia 6000V w bardzo szerokim zakresie $\pm 33,33\%$ (w ± 12 st. regulacji). Jego próżniowe wykonanie zapewnia dużą trwałość i wydłużenie okresów przeglądowych, co ma szczególne znaczenie przy jednostkach o bardzo dużej ilości przełączeń.



Rys.5 Część aktywna autotransformatora ATOCHL 20 000/6

Drugim transformatorem wchodzącym w skład zespołu jest jednofazowy transformator piecowy TFORLa 6666/8, który od strony dolnego napięcia przez wyprowadzenia prądowe chłodzone wodą zasila piec hutniczy prądem maksymalnym 44,5kA.

2.4. Transformatory sieciowe

Transformatory sieciowe odzwierciedlają tendencje do kompaktowości urządzeń elektroenergetycznych i zmniejszania wpływu na środowisko naturalne w miejscu ich zainstalowania, zwłaszcza w warunkach zabudowy wielkomiejskiej. Dotyczy to obniżenia poziomu emitowanego hałasu i strat, pracy transformatorów w komorach oraz sposobu podłączenia do sieci. Różnorodna konfiguracja ich parametrów określona wymaganiami użytkowników wymusza realizację odmiennych wariantów, nawet w przypadku jednostek o tej samej mocy

znamionowej. Wielowariantowość konstrukcji jest szczególnie widoczna w najczęściej realizowanych konstrukcjach o mocy 25 i 16MVA. Standardem w tych konstrukcjach jest stosowanie blach transformatorowych o obniżonej stratności (0,85 do 1,2 W/kg przy indukcji 1,7T). Regułą stało się wykonywanie uzwojeń z przewodów CTC gwarantujących uzyskanie niskich strat dodatkowych w uzwojeniach.



Rys.6 Transformator sieciowy TONRLm 25000/110

2.5. Transformatory potrzeb własnych

Cechą tych jednostek, a zarazem zasadniczą trudnością w ich realizacji jest transformowanie energii przy dużych prądach zarówno po stronie pierwotnej jak i wtórnej. W związku z wymogiem szerokiej regulacji podobciążeniowej pojawia się trudność z doбором odpowiednich przełączników zaczepów. Wcześniejsze konstrukcje realizowane były z tego względu z zastosowaniem transformatora dodatkowego. Jego użycie pozwala na obniżenie prądu do wartości np. 400A i umożliwia zastosowanie typowego przełącznika. Związane jest to jednak z dodatkowym skomplikowaniem konstrukcji, układu połączeń i zwiększonym nakładem roboczo-godzin na wytworzenie transformatora. Można uniknąć tej komplikacji dzięki pojawieniu się w ofercie producentów przełączników nowych typów na większe nominalne wartości prądów sięgających 1300A. Zaletą tego wykonania jest ograniczenie masy całkowitej i gabarytów transformatora. Oszczędność w użyciu materiałów i nakładzie pracy pozwala na zniwelowanie wysokiej ceny przełącznika, a uproszczona budowa jednostki zapewnia większą niezawodność.



Rys. 7 Część aktywna transformatora TONRLa 32000/15

3. Innowacje w procesie projektowania, wytwarzania i badania transformatorów

Postęp w zakresie optymalizacji i innowacyjności stosowanych rozwiązań konstrukcyjnych jest praktycznie niemożliwy bez wdrażania nowoczesnego oprogramowania komputerowego, zarówno w zakresie projektów obliczeniowych, jak i na etapie realizacji dokumentacji.

Głównym narzędziem wykorzystywanym do wykonania dokumentacji w Zakładzie Transformatorów od 2012 roku jest oprogramowanie 3D „NX” będące następcą powszechnie znanego oprogramowania Unigraphics. Jest to zaawansowany pakiet zintegrowanych, uzupełniających się aplikacji CAD/CAM/CAE. Rozwiązanie NX w wersji 8.5 obejmuje pełny zakres procesów stosowanych podczas projektowania, wytwarzania i symulacji produktów.

Narzędzie to współpracuje z systemem PLM (ang. Product Lifecycle Management) o nazwie Teamcenter. Można je zdefiniować jako strategię informacyjną, która powoduje stworzenie spójnej struktury danych poprzez konsolidację systemów. Dzięki temu oprogramowaniu globalne organizacje pracują jak jeden zespół, projektując, produkując, udzielając wsparcia technicznego, a zarazem umożliwiając gromadzenie zdobytych doświadczeń i najlepszych metod działania.



Rys. 8 Wprowadzenia czujników światłowodowych

Obliczenia projektowe transformatorów są realizowane za pomocą specjalistycznego pakietu oprogramowania. Obejmuje ono obliczenia wytrzymałości zwarciowej, projekt konstrukcji, obliczenia cieplne.

Projektowane układy izolacyjne są analizowane i optymalizowane na bazie rozkładów pola elektrycznego w poszczególnych stanach napięciowych. W tym celu wykorzystuje się program Maxwell firmy Ansoft/ANSYS.

Pojawiające się trendy dotyczące przeciążalności transformatorów spowodowały zwrócenie większej uwagi na główny parametr decydujący o czasie życia transformatora, czyli temperaturę najgorętszych punktów uzwojeń („hot-spot”). Ze względu na brak możliwości bezpośredniego pomiaru wyznaczano je dotychczas tylko obliczeniowo. Pojawienie się światłowodowych czujników temperatury, które jako wykonane z materiału izolacyjnego można montować w uzwojeniach wysokonapięciowych, pozwoliło na pomiarową weryfikację obliczeń. Dodatkowym atutem jest możliwość odczytu tych wartości w sposób ciągły podczas prób lub pracy transformatora.

Czujniki światłowodowe zostały zainstalowane przez TurboCare Poland S.A. w uzwojeniach na napięcie do 230kV. Udało się potwierdzić prawidłowość wyników realizowanych wcześniej obliczeń.

4. Podsumowanie

Współczesny rynek elektroenergetyczny narzuca producentowi konieczność spełniania wysokich wymagań technicznych. Istotne jest również zapewnienie konkurencyjnych cen oraz krótkich terminów dostaw. Złożoność systemu elektroenergetycznego oraz wymagania ekologiczne stwarzają ponadto potrzebę instalowania transformatorów o nietypowej konstrukcji. Pogodzenie tych często sprzecznych założeń wymaga indywidualnego podejścia do każdego projektu. TurboCare Poland S.A. podejmuje z sukcesem stawiane wyzwania oferując energooszczędne i innowacyjne transformatory.

LITERATURA

- [1] A. Kozakiewicz, P. Berger, S. Sieradzki : Nowa konstrukcja autotransformatora sieciowego typu ANSR3L 125000/220.
- [2] Obliczenia strat mocy czynnej w elementach konstrukcyjnych autotransformatora przy pomocy MES, Dokumentacja TurboCare Poland S.A.
- [3] Obliczeniowa weryfikacja układu izolacji głównej autotransformatora ANSR3L 125000/220, Dokumentacja TurboCare Poland S.A.
- [4] Krok R.; Wykonanie obliczeń cieplnych autotransformatorów ANSR 250000/400PN i ANSR3L 125000/220PN, Dokumentacja TurboCare Poland S.A.

Arkadiusz KULIK, Adam KOZAKIEWICZ
TurboCare Poland S.A.