

doi:10.15199/48.2015.10.13

Płynna regulacja mocy cieplnej układu chłodzenia na przykładzie transformatora 156 MVA

Streszczenie. Tematem niniejszego opracowania jest proces sterowania pracą układu chłodzenia, którego głównym celem jest zapewnienie optymalnych warunków pracy układu izolacyjnego, przy jednoczesnym ograniczeniu zużycia wody. W trakcie eksploatacji układ izolacyjny traci swoje pierwotne właściwości należy, więc dolożyć wszelkich starań, aby proces ten jak najbardziej spowolnić, gdyż izolacja, która znacząco utraciła swój zapas wytrzymałości może ulec awarii nawet przy niezbyt intensywnym zdarzeniu. Główną przyczyną bezpośrednią jak i pośrednią praktycznie wszystkich zagrożeń (nagłych i długotrwałych) dla transformatorów jest temperatura jak i tempo jej zmian. W opisywanej aplikacji zastosowano rozwiązanie pozwalające na utrzymaniu w miarę stałej temperatury, pozwala to między innymi ograniczyć migrację wody jak i szereg innych negatywnych zjawisk.

Abstract. The theme of this development is the process of controlling the operation of the cooling system, whose main objective is to ensure optimal working conditions insulation system, while reducing water consumption. During operation, the insulation system loses its original properties to be, so make every effort to process as much as possible to slow down, because the insulation, which significantly lost its reserve strength may fail, even with very intense event. The main cause of direct and indirect practically all risks (emergency and long-term) for transformers is the temperature and the rate of its change. In the described embodiment, allowing application used to maintain a substantially constant temperature, which allows, inter alia, to limit the migration of water and a number of other negative phenomena. (**Infinitely adjustable heat output of the cooling system on the example of 156 MVA transformer**)

Słowa kluczowe: transformator, układ chłodzenia, sterowanie.

Keywords: transformer, cooling system, control.

Wstęp

Tempo, z jakim następuje tzw. utrata „czasu życia” transformatora jest uzależnione od wielu czynników takich jak: sposobu eksploatacji, zastosowane materiały, właściwości konstrukcyjne itd. Procesy starzeniowe dotyczą głównie układu izolacyjnego, zagadnieniami tymi zajmuje się między innymi norma PN-IEC 60354 „Przewodnik obciążania transformatorów olejowych”. Podstawowym parametrem, który decyduje o szybkości, z jaką następuje degradacja układu izolacyjnego jest temperatura, zależność tą opisuje prawo Arrheniusa dotyczące szybkości, z jaką zachodzą reakcje chemiczne. Decydujący wpływ na temperaturę poszczególnych elementów transformatora, jej wartość ma układ chłodzenia, więc od jego właściwego, sposobu działania w dużej mierze jest uzależnione tempo degradacji układu izolacyjnego. W niniejszym artykule przedstawiono wyniki prac prowadzonych nad sposobem sterowania układu chłodzenia, a właściwie ich praktyczną realizację. Innowacyjność zastosowanych rozwiązań polega na płynnej regulacji mocy cieplnej i bilansowaniu strat mocy transformatora z mocą cieplną układu chłodzenia. Rozwiązania te zostały zrealizowane między innymi w Elektrowni Porąbka Żar na modernizowanych blokach 3 i 4 co jest tematem niniejszego referatu.

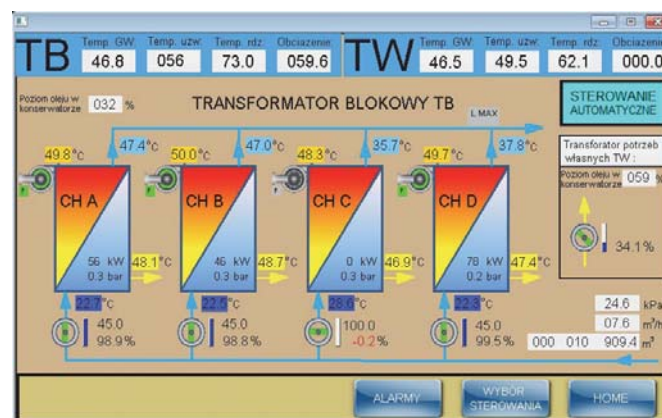
Budowa układu chłodzenia

Transformatora 156 MVA pracujący w Elektrowni szczytowo-pompowej Porąbka Żar stanowi połączenie dwóch jednostek 150 MVA i 6MVA posiadają one wspólny układ olejowy. Wymienniki ciepła, których zadaniem jest odebranie i odprowadzenie ciepła strat zainstalowano na większej jednostce 150 MVA, transformator ten posiada układ chłodzenia typu ODWF. Natomiast mniejsza jednostka 6 MVA nie ma dodatkowego własnego układu chłodzenia, właściwą temperaturę pracy zapewniono poprzez przekierowanie części strugi oleju z dużej jednostki. Ilość oleju przepływającego pomiędzy transformatorami jest uzależniona od warunków pracy, ilości odprowadzanego ciepła strat i jest regulowana

poprzez zmianę stopnia otwarcia zasuw. Na Rys.1 pokazano jeden z ekranów synoptycznych panelu operatorskiego, jedną z informacji na nim umieszczonych jest procentowy stopień otwarcia zasuw znajdującej się pomiędzy transformatorami, w danej chwili była one otwarta w 34,1%. Poprzez właściwe sterowanie pompami, zasuwami rozwiązanie to pozwala na utrzymanie temperatury obydwu jednostek na wymaganym poziomie.

Prezentowany układ chłodzenia zbudowany jest z następujących podzespołów:

- wymienniki ciepła olej-woda,
- szafa sterownicza,
- układ zasilania wymienników ciepła w wodę,
- pozostała aparatura kontrolno pomiarowa.



Rys. 1 Ekran synoptyczny sterowania pracą układu chłodzenia

Każdy z wymienników ciepła (4 sztuki na ekranie synoptycznym oznaczone jako CH ACH D) składa się z następujących elementów:

- pompę oleju,
- czujnik przepływu oleju,
- czujniki temperatury oleju na wejściu i wyjściu wymiennika,
- czujnik temperatury wody na jej wejściu i wyjściu,

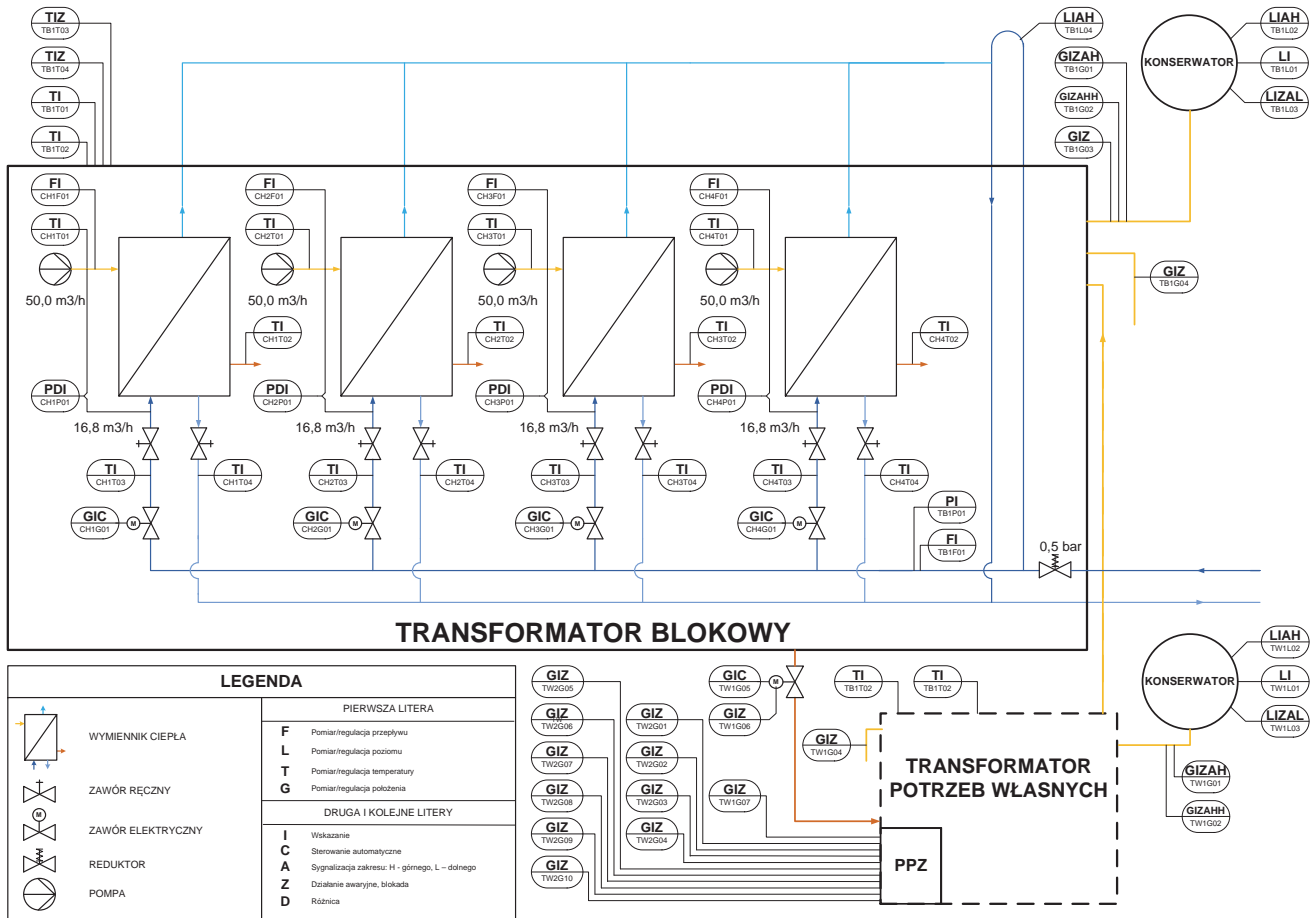
- pomiar różnicy ciśnień wody i oleju,
- zasuwę zabudowaną na instalacji wody.

Zasilanie układu chłodzenia w wodę, do której to w końcowym efekcie przekazywana jest energia cieplna wydzielająca się wskutek strat w transformatorach jest realizowane poprzez:

- reduktor ciśnienia wody,

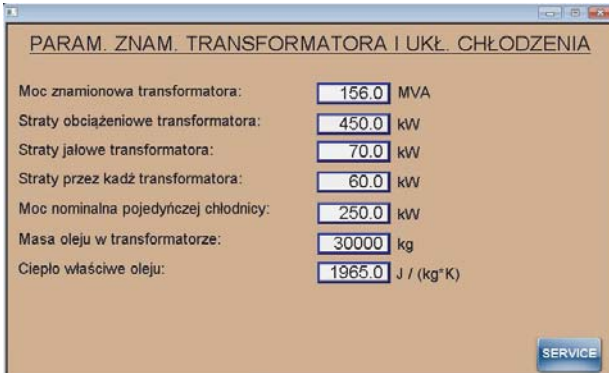
- przepływomierz elektromagnetyczny,
- hydrostatyczny bypass,
- czujnik przepływu wody przez bypass.

Koncepcję budowy, rozmieszczenie i wzajemne usytuowanie wymienionej jak i pozostałej aparatury w sposób schematyczny zostało pokazane na Rys.2.



Rys. 2 Schemat funkcyjny obrazujący koncepcję budowy układu chłodzenia z naniesionymi najistotniejszymi pomiarami

Wszystkie sygnały pomiarowe i sterownicze są sprowadzone do szafy, która jest przystosowana do zasilania z dwóch niezależnych źródeł zarówno części siłowej 3x400VAC jak i sterowniczej. Dla zasilania trójfazowego szafa sterownicza realizuje funkcję SZR (Samoczynne Załączenie Rezerwy), wybór źródła zasilania odbywa się automatycznie. Natomiast dla obwodów sterowniczych został użyty prostownik buforowy typu PWS2 250b 24.10/5 zasilany z dwóch sieci 220 VDC oraz 230 VAC.



Rys. 3 Jeden z ekranów synoptycznych służących do wprowadzania parametrów znamionowych transformatora

Wejściowe obwody zasilania są zabezpieczone dla napięć 3x400 VAC poprzez rozłączniki bezpiecznikowe z wkładkami 63A, natomiast napięcia zasilające obwody sterownicze przez wyłączniki nadprądowe.

Realizację algorytmów sterowania układem chłodzenia, wymaganą funkcjonalność układu zapewnia sterownik PLC typu SIMATIC ET200S CPU, który jest wyposażony w niezbędną ilość kart wejściowych, wyjściowych zarówno binarnych jak i analogowych, oraz oddaloną wyspę wejść. Jej zadaniem jest monitorowanie systemu SERGI, więc nie uczestniczy ona w procesie sterowania układem chłodzenia, lecz przekazuje informacje do systemu sterowania i nadzoru.

Parametryzacja, wizualizacja i diagnostyka układu chłodzenia, czyli ogólnie mówiąc funkcje obsługi są możliwe do realizacji z dwóch uzupełniających się miejsc tj.:

- poprzez dotykowy panel operatorski, którego przykładowe ekrany synoptyczne zaprezentowano na rysunkach,
- system SCADA,

Poza tym szafa sterownicza wyposażona jest w takie elementy jak:

- oświetlenie,
- grzałkę antykondensacyjną z regulatorem,
- gniazdo wtykowe z napięciem 230VAC, które jest przeznaczone do podłączenia dodatkowego oświetlenia lub

innych urządzeń. Wielkość mocy pobieranej z gniazda wewnętrznego ograniczona zabezpieczeniem nadprądowe.

Sterowanie

Układ chłodzenia może pracować w jednym z trzech trybów pracy tj.:

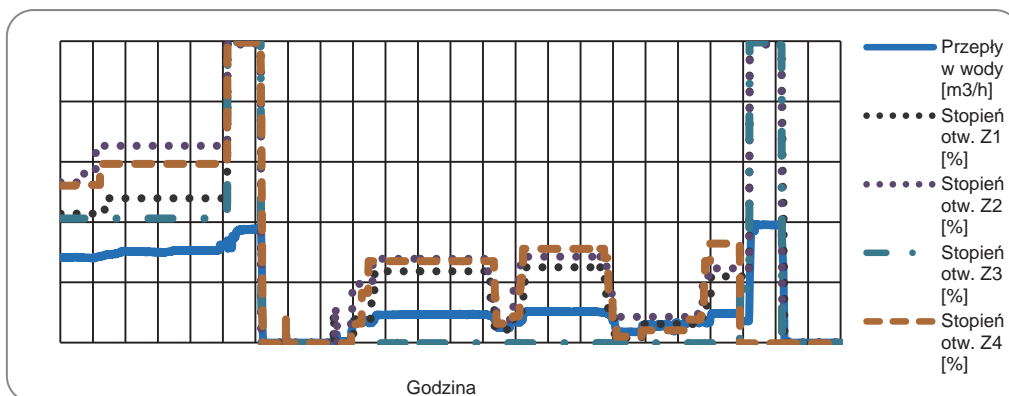
- Sterowanie ręczne lokalne, wybór tego trybu pracy dokonywany jest przez wyłącznik zabudowany na froncie szafy sterowniczej. Po jego wybraniu aktywne są przyciski lokalne (zabudowane na froncie szafy), ten sposób sterowania dedykowany jest do celów serwisowych.
- Praca ręczna zdalna, jej wybór jest możliwy po wcześniejszym przestawieniu przełącznika w pozycję „sterowanie zdalne”, a następnie po wybraniu przez operatora systemu SCADA trybu pracy ręcznej. Operator decyduje wtedy o liczbie pracujących pomp i stopniu otwarcia poszczególnych zasuw.
- Tryb pracy automatycznej, jest to podstawowy tryb pracy. Algorytm sterowania zaimplementowany w sterowniku PLC na podstawie mierzonych parametrów tj.:
 - o prądu obciążenia transformatora,
 - o temperatury oleju w górnej warstwie,
 - o pozycji zasuw,
 - o temperatury i wielkości przepływu wody.

Ustala ile pomp oleju ma pracować w tej konkretnej sytuacji tak by zapewnić właściwy przepływ oleju przez część aktywną transformatora, co z kolei pozwala odebrać energię strat transformatora.

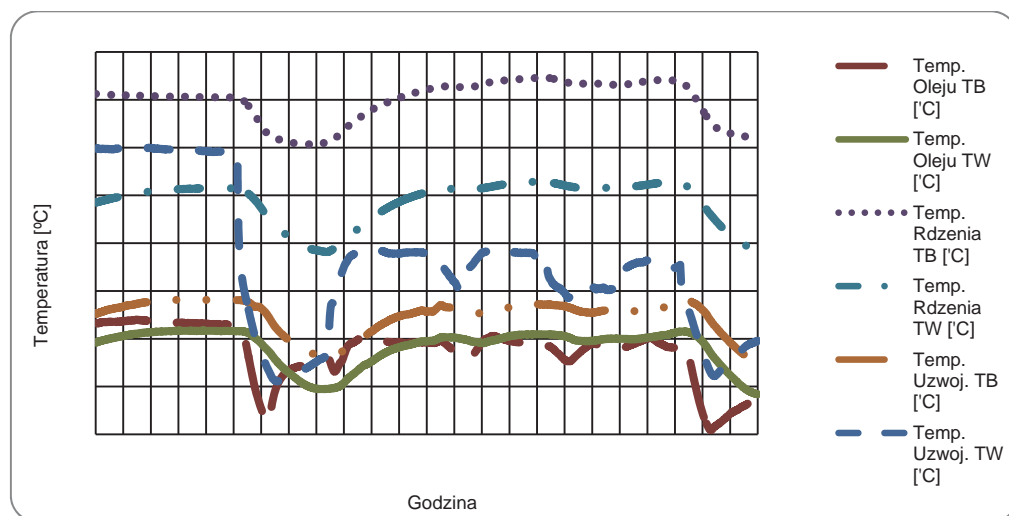


Rys. 4 Ekran synoptyczny pokazujący status pracy układu chłodzenia

Jednocześnie sterownik oblicza na podstawie pomiarów jak i wprowadzonych parametrów wielkość mocy strat i dopasowuje odpowiednią moc cieplną układu chłodzenia. Wszelkie niedoskonałości w wyznaczaniu tych mocy, z czym wiąże się zmiana temperatur są korygowane przez oddzielny algorytm regulacji ciągłej, który to wyznaczana w trybie on-line współczynniki korekcyjne. Zadaniem tak sparametryzowanego układu jest zapewnienie optymalnej temperatury przy jednoczesnym ograniczaniu ilości wody zużytej do procesu chłodzenia. Wykres prezentujący ilość wody zużywanej do chłodzenia jak i stopień otwarcia zasuw przedstawiono na Rys. 5.



Rys. 5 Zużycie wody i stopień otwarcia zasuw zarejestrowany w dniu 03 lipiec 2015 r.



Rys. 6 Temperatury w transformatorze blokowym i potrzeb własnych zarejestrowane w dniu 03 lipiec 2015 r.

Jak już wspomniano wcześniej transformator potrzeb własnych 6MVA jest chłodzony strugą oleju z transformatora blokowego 150 MVA. Wielkość tej strugi jest regulowana poprzez zasuwę w zależności od potrzeb (ilości mocy cieplnej, którą należy odebrać). W układzie chłodzenia będzie pracować zawsze przynajmniej jedna pompa oleju jest to spowodowane sposobem chłodzenia części aktywnej (dla OD przepływ przez uzwojenia jest zapewniony wyłącznie poprzez konwekcję wymuszoną). Dzięki czemu będzie zawsze dostępna odpowiednia ilość oleju by wymusić przepływ przez transformator potrzeb własnych i zapewnić właściwą temperaturę pracy.

Podsumowanie

Zastosowania sterowników PLC, ze względu na ich skalowalność, budowę modułową daje praktycznie nieograniczone możliwości konfigurowania systemu. W połączeniu ze stale rosnącymi możliwościami obliczeniowymi, wielkością dostępnej pamięci, sposobnością adaptacji różnorodnych protokółów komunikacyjnych pozwala uruchomić na tych sterownikach nie tylko algorytmy sterujące układami chłodzenia, ale i algorytmy pozwalające diagnozować inne elementy. Możliwości te zostały wykorzystane w opisywanej aplikacji do monitoringu systemu SERGI.

Korzystając z tych możliwości sterownik układu chłodzenia dla celów serwisowych archiwizuje wszystkie istotne parametry pracy, kolejne logi są tworzone, co 30s, pozwoliło to przedstawić dane na wykresach, ocenić jakości pracy układu i jest doskonałym materiałem wejściowym pozwalającym na doskonalenie zastosowanych rozwiązań.

Wartości temperatur zarejestrowane w dniu 3 lipiec 2015 r. przedstawiono na Rys. 6. Dzięki zdalnemu dostępowi do sterownika PLC i panelu operatorskiego jest możliwy podgląd pracy w trybie on-line jak i pobieranie danych archiwalnych. Pozwala to na prowadzenie dogłębnej analizy i wprowadzanie drobnych korekty parametrów. Niemniej na podstawie już uzyskanych

efektów należy stwierdzić, iż założone cele zostały osiągnięte, co uwidoczniło na prezentowanych wykresach. Za obserwowane niewielkie zmiany temperatury w głównej mierze odpowiada przerywany charakter pracy transformatorów.

LITERATURA

- [1] 60354, PN-IEC. Przewodnik obciążania transformatorów olejowych. kwiecień 1999.
- [2] Słowikowski Jerzy. Zawilgocenie izolacji celulozowej i oleju w aspekcie zarządzania niezawodnością transformatorów olejowych. *Energetyka*. 2009, ISSN 0013-7294, strony str. 32 - 36.
- [3] Mosiński Franciszek. *Wpływ wody i tlenu na obciążalność i czas życia transformatorów energetycznych*. Toruń: Polskie Towarzystwo Przesyłu i Rozdziału Energii Elektrycznej, 2007.
- [4] Włodarz Rajmund i Borowik Lech. Monitoring i diagnostyka układów chłodzenia transformatorów. *Przegląd Elektrotechniczny*. 6 2011.
- [5] Słowikowski Jerzy. Wykorzystanie wyników pomiarów zawartości wody rozpuszczonej w oleju i napięcia przebicia, do oceny stanu zagrożenia układu izolacyjnego transformatorów olejowych w następstwie zawilgocenia. *Pomiary Automatyka Kontrola*. 2011, 4.
- [6] Włodarz Rajmund, Borowik Lech i Zajac Jacek. Wykorzystanie sterowników układu chłodzenia transformatorów energetycznych do ich diagnostyki. *Przegląd Elektrotechniczny*. 2010, 3.

Autorzy: dr inż. Maciej Wilk Kierownik Działu Konstrukcyjno-Technologicznego Transformatorów EthosEnergy Poland S.A. 42-701 Lubliniec

dr inż. Rajmund Włodarz Zakład Automatyki PPH Energo-Silesia Sp. z o.o. 47-120 Zawadzkie

mgr inż. Mariusz Grabiński Dział Konstrukcyjno - Technologiczny Transformatorów EthosEnergy Poland S.A. 42-701 Lubliniec

mgr inż. Mateusz Wolf Zakład Automatyki PPH Energo-Silesia Sp. z o.o. 47-120 Zawadzkie