

Zastosowanie analizy DGA do oceny stanu technicznego PPZ

Streszczenie. W artykule omówiono różne przypadki uszkodzeń w przełącznikach zaczepów i przedstawiono wyniki badań gazów rozpuszczonych w oleju. Przedstawiono również stosowane metody oceny defektów w przełącznikach zaczepów przedstawione w opracowaniu CIGRE. W pracy zaprezentowano skrótkowo klasyfikację PPZ w zależności od ich konstrukcji oraz wykorzystanych układów elektrycznych. Zaprezentowano sposób identyfikacji uszkodzeń PPZ przy użyciu trójkąta Duvala w zależności od rodzaju konstrukcji przełącznika zaczepów.

Abstract. This article presents different OLTC's damages with its DGA results. It shows also some methods for OLTC's defects interpretation presented in CIGRE brochure. It gives classification of OLTC's in accordance to their construction and electrical system used. (**Application of DGA analysis for evaluation of OLTC's technical state**)

Słowa kluczowe: DGA, podobciążeniowy przełącznik zaczepów, trójkąt Duvala

Keywords: Duval triangle, OLTC's, dissolved gas analysis(DGA),

Wstęp

Podobciążeniowe przełączniki zaczepów (PPZ) umożliwiają zmianę przekładni w czasie pracy transformatora. Większość obecnie eksploatowanych przełączników w energetyce krajowej jest wykonana jako szybko działający przerzutnik mocy z rezystancyjnym ograniczeniem przełączanego prądu. Zakres stosowania PPZ ilustruje fakt iż niemal wszystkie transformatory sieciowe jak również te stosowane w przemyśle metalurgicznym, chemicznym i do transformatorów montowanych w trakcji elektrycznej są wyposażone w przełączniki zaczepów pod obciążeniem. Tak szerokie stosowanie przełączników wynika z potrzeb rozbudowujących się sieci elektroenergetycznych. Przełączniki zaczepów wprowadza się także do transformatorów blokowych które dotychczas nie były w nie wyposażone.

Znaczna ilość przełączeń dla niektórych rodzajów transformatora wymaga stosowania przełączników o wysokiej niezawodności i zapewniającej dużą ilość łączy pomiędzy przeglądami w celu uzyskania wysokiej niezawodności dostaw energii elektrycznej. Szacuje się, że duża liczba przełączeń, w wyniku której występuje nadmierne zużycie styków i elementów mechanicznych, degradacja oleju spowodowana częstym gaszeniem łuku elektrycznego oraz degradacja celulozy ma największy wpływ na obniżenie niezawodności PPZ.

Uszkodzenia podobciążeniowego przełącznika zaczepów oraz jego napędu należą do najczęstszych przyczyn awarii transformatorów energetycznych. Statystycznie według różnych źródeł [1,2] ok.40% uszkodzeń transformatorów było spowodowanych usterkami PPZ. Zależnie od rodzaju uszkodzenia może powodować ono bądź ograniczenia w eksploatacji transformatora bądź być przyczyną planowanego lub awaryjnego wyłączenia jednostki.

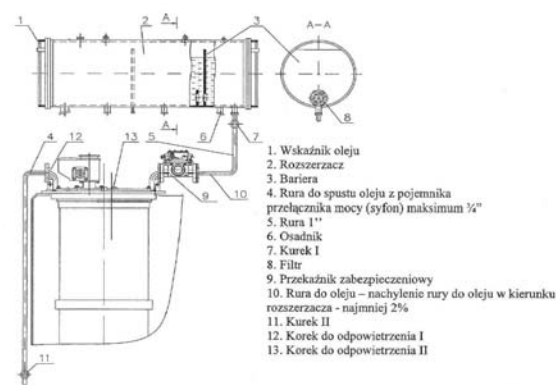
Zapewnienie niezawodności zasilania oraz obniżenia kosztów związanych z wyłączeniem transformatorów wymaga wykonywania pomiarów bez wyłączania transformatorów. O ile pobieranie próbki oleju podczas pracy transformatora z części wybierakowej nie stanowi problemu pobranie próbki z głowicy przełącznika mocy jest możliwe tylko w niektórych typach przełączników. W referacie zostanie przedstawiony przełącznik RS 12 w którym producent zaproponował sprowadzenie zaworu do pobierania oleju do poziomu obsługi.

Analiza wyników DGA oleju pobranego z PPZ w przeszłości uznawana była za trudno czy wręcz niemożliwą. Obecnie istnieje szereg kryteriów według których możliwe

jest określenie stanu technicznego PPZ na podstawie wyników DGA. Określony został również dokładny skład gazów wskazujący na normalną pracę przełącznika w zależności od jego konstrukcji. Ułatwiło to w znacznej mierze interpretację wyników DGA oleju z przełącznika.

Zasady pobierania próbki oleju

Obecnie dość szeroko stosuje się DGA do monitorowania PPZ. Pobieranie oleju z części wybierakowej na pracującym transformatorze nie stanowi zazwyczaj problemu natomiast pobranie takiej próbki z głowicy przełącznika mocy jest możliwe tylko w niektórych typach przełączników. W większości przypadków próbkę pobiera się przy wyłączonym transformatorze. Jednak jest też możliwość pobrania próbki oleju z głowicy PPZ podczas pracy transformatora jeśli kurek zostanie sprowadzony do poziomu obsługi. Sposób i miejsce pobrania próbki zostało pokazane na przykładzie przełącznika typu RS 12 który posiada wybierak i przełącznik mocy umieszczony w jednej wspólnej tulei nie mającej połączenia z olejem w kadzi transformatora. Olej z głowicy pobiera się za pomocą zaworu oznaczonego na rys 1 do strzykawki z wężem gumowym. W tym przypadku producent zaleca sprowadzenie rurki do poziomu obsługi. Pobieranie oleju z głowicy PPZ innych producentów wymaga zapoznania się z fabryczną DTR przełączników zaczepów i wyboru kołnierza lub zaworu dostępnego na pokrywie PPZ, a połączonego z częścią wewnętrzną głowicy PPZ.



Rys.1. Sposób sprowadzenia rurki do pobierania oleju z przełącznika RS 12 do poziomu obsługi[7]

Przed dostarczeniem próbki do laboratorium powinna ona zostać właściwie opisana. Informacje niezbędne do

uzyskania prawidłowej diagnozy oleju pobranego z podobciążeniowego przełącznika zaczepów to:

- Typ transformatora
- Numer transformatora
- Typ przełącznika
- Ilość przełączy /ilość przełączy od ostatniej wymiany oleju
- Obciążenie transformatora
- Temperatura oleju
- Rodzaj uszkodzenia od ostatniej wymiany oleju (jeśli jakieś wystąpiły) [6]

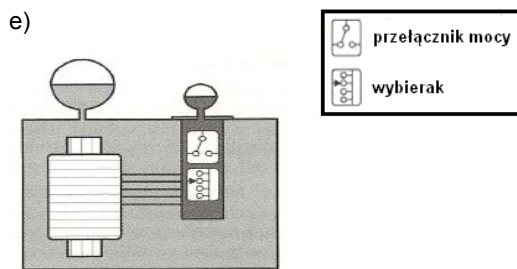
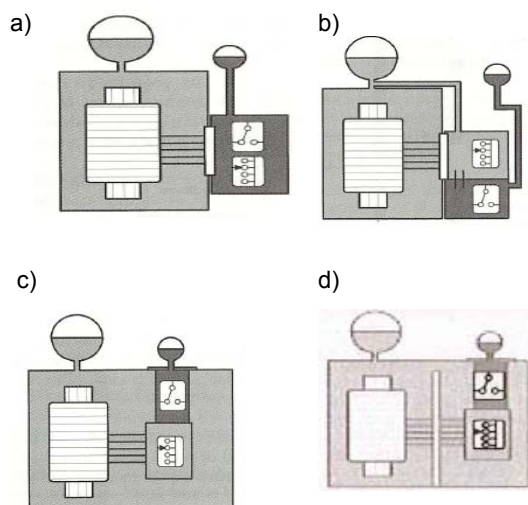
Klasyfikacja PPZ w zależności od typu konstrukcji oraz wykorzystywanych układów elektrycznych

W celu określenia poziomów gazów powstających w oleju w PPZ konieczne jest dokonanie podziału przełączników stosowanych w energetyce światowej. (tabela 1). Zasadniczo istnieją dwa systemy zmiany zaczepów pod obciążeniem: przełączniki wolno działające z dławikowym ograniczeniem prądu oraz szybko działające z rezystancyjnym ograniczeniem prądu. Współcześnie przełączniki z rezystancyjnym ograniczeniem prądu na rynku polskim są dominujące ze względu na bardziej zwartą budowę oraz występowanie znacznie mniejszego efektu degradacji oleju i korozji styków niż w przypadku przełączników z dławikowym ograniczeniem prądu. Systemy z dławikowym ograniczeniem prądu na szerszą skalę stosowane są w USA. Schemat klasyfikacji PPZ zaprezentowano w tabeli poniżej :

Tabela 1. Schemat klasyfikacji PPZ [5]

A		Przerywanie łuku pochodzącego od prądu obciążenia w oleju
V		Przerywanie łuku pochodzącego od prądu obciążenia w próżni
	R	Mostkowanie prądu rezystorami (typ rezystorowy)
	X	Mostkowanie prądu dławikami (typ dławikowy)
	S	Przełącznik mocy i wybierak w oddzielnych komorach (oddzielne)
	C	Przełącznik mocy i wybierak w tej samej komorze (kombinowane)

Z punktu widzenia diagnostyki bardzo istotne jest rozwiązanie konstrukcyjne, które uściśla sposób montażu PPZ w transformatorze. (tabela 2) W zależności od miejsca montażu przełącznika w niektórych przypadkach możliwa jest diagnostyka uszkodzenia PPZ (wybieraka) z oleju pobranego z kadzi głównej transformatora.



Rys. 2: Sposoby montażu PPZ w transformatorze. a) przełącznik mocy oraz wybierak w oddzielnej komorze przykręcanej do kadzi b) przełącznik mocy i wybierak w oddzielnych komorach montowanych do kadzi . c) przełącznik mocy w szczelnej komorze umieszczonej w kadzi wybierak styka się z olejem w kadzi głównej. d) typ Weir- przełącznik mocy w szczelnej komorze umieszczonej w kadzi wybierak styka się z olejem w kadzi głównej , częściowa bariera umożliwia dostęp do PPZ bez spuszczenia oleju z kadzi e) przełącznik mocy i wybierak w szczelnej komorze umieszczonej w kadzi .[8]

Klasyfikacja PPZ w zależności od gazów powstających podczas normalnej pracy

Podczas pracy przełącznika zaczepów mogą powstawać gazy związane z występowaniem łuku –D1 ma to miejsce w przełącznikach zawierających styki przerywające łuk elektryczny, styki przełącznika równoległego lub styki zmieniaacza. Gazy związane z rozkładem termicznym T3, T2, T1 powstają głównie w przełącznikach z rezystorami przejściowymi. Natomiast obecność przełączników próżniowych i dławików jest klasyfikowana jako nie powodująca powstawania gazów. Tabela 3 ilustruje gazy tworzące się podczas normalnej pracy PPZ w korelacji z typem przełącznika.

Ogólnie można przyjąć że z punktu widzenia źródła generacji gazów przełącznika mocy wyróżnić można typową kombinację gazów związanych z:

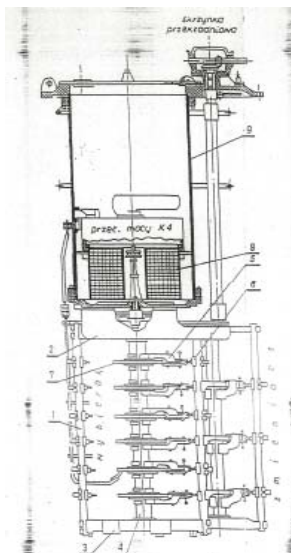
- przegrzaniem, głównie rezystorów przejściowych,
- procesami starzenia celulozy,
- wyładowaniami niepełnymi oraz gaszeniem łuku elektrycznego na stykach przełącznika.

Tabela 2. Gazy tworzące się podczas normalnej pracy PPZ w korelacji z typem przełącznika.

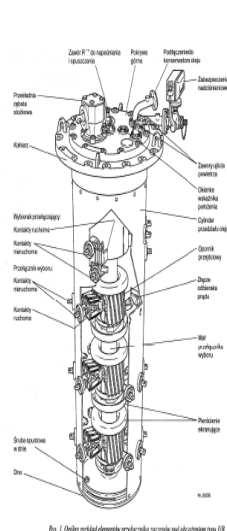
Typ PPZ		Główne gazy tworzące się podczas normalnej pracy			
Klasyfikacja wg tabeli 6	Z wydzieloną komorą	Umieszczony w kadzi	Związane z łukiem D1	Związane z przegrzaniem T3/T2	Związane z przegrzaniem T1
Typ z przerywaniem łuku w oleju	AXC, AXS	X		X	
	ARC, ARS	X		X	
	ARS, typ 1		X	X	(X)
	ARS, typ 2		X		X
	ARS, typ 3		X	(X)	(X)
Typ próżniowy	ARS, typ 4		X	X	X
	VXS	X			
	VRC		X	(X)	
	VRS		X	(X)	X

Na rysunkach poniżej przedstawiono najczęściej występujące w energetyce krajowej w transformatorach przełączniki typu ARS i ARC.

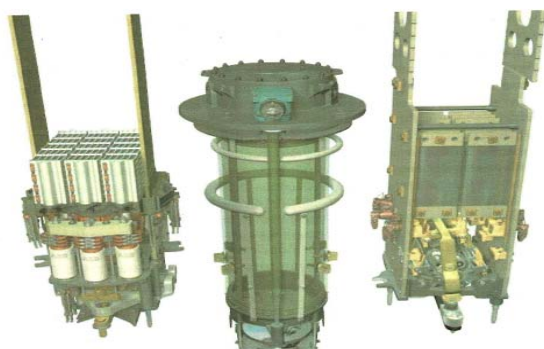
Podobne rozwiązania występują dla przełączników w wykonaniu próżniowym z tą różnicą, że w tego typu przełącznikach prąd przerywany jest w komorach próżniowych. Większość produkowanych przełączników w wykonaniu tradycyjnym posiada zamienniki w wykonaniu próżniowym. Przykład ilustrujący taką możliwość został przedstawiony na rysunku 5



Rys. 3. Przelątnik ARS typ PO 250/400



Rys. 4. Przelątnik ARC typ UB



Rys. 5 Rysunek przedstawiający możliwość zamiany tradycyjnego PPZ na próżniowy

Identyfikacja uszkodzeń PPZ

W energetyce krajowej zainteresowanie badaniem oleju z przełącznika mocy w tym gazów w nim rozpuszczonych datuje się na ostatnie 10-15 lat. W przeszłości uważano że wykorzystanie DGA do oleju w przełączniku za trudne, gdyż przy normalnej pracy występuje gaszenie łuku między stykami przełącznika i nagrzewanie się rezystorów co zakłóca wykrywanie uszkodzeń. Podobnie, jak w przypadku DGA aplikowanej do oleju w kadzi głównej transformatora, dąży się do opracowania korelacji pomiędzy typowymi uszkodzeniami w przełączniku mocy, a koncentracją gazów charakterystycznych oraz stosunkami tych koncentracji. Stwierdzono iż typowe koncentracje gazów charakterystycznych zależą od konstrukcji przełącznika, a więc od typu oraz producenta. Sformułowanie zaleceń co do dalszego postępowania z przełącznikiem często wymaga porównania wyników DGA z wynikami odniesienia (*finger – print*). Ponadto, ocena zawartości gazów w oleju przełącznika mocy powinna być skorelowana z liczbą przełączeń.

Identyfikacja uszkodzeń w przełącznikach z przerywaniem łuku w oleju i wydzieloną komorą

Obecnie dla PPZ oznaczonych w tabeli jako AXC AXS ARC i ARS najczęściej stosowane metody pozwalające zidentyfikować rodzaj uszkodzenia to trójkąt Duvala, stosunki koncentracji charakterystycznych gazów i kody Stenestam'a.

Trójkąt Duvala

Na rysunku 6 przedstawiono trójkąt Duvala dla przełączników z przerywaniem łuku w oleju i wydzieloną komorą z zaznaczonymi przypadkami zebranymi przez członków Grupy Roboczej D1.32 CIGRE.

Obszary tam występujące oznaczają:

N – stan normalny w eksploatacji,

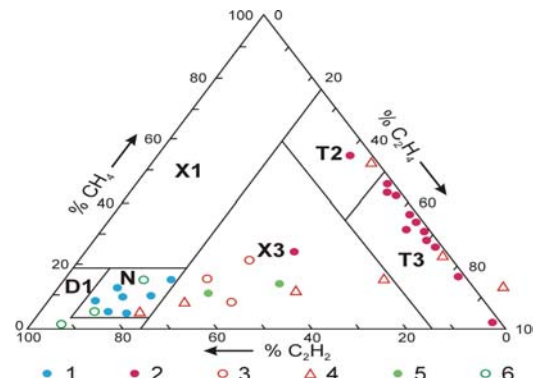
T3 – silne przegrzanie > 700°C

T2 – silne przegrzanie w zakresie temperatur 300 - 700°C

X3 – najczęściej rozwijające się uszkodzenie typu T3 lub T2 lub nadmierny łuk elektryczny

D1 – nadmierny łuk elektryczny

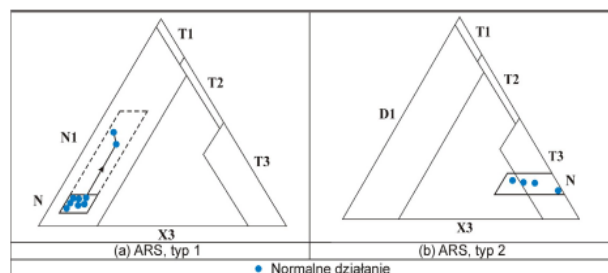
X1 – postępujące uszkodzenie o charakterze termicznym. T < 300 °C



Rys. 6. Identyfikacja uszkodzeń PPZ z wydzieloną komorą przełącznika mocy. 1 – stan normalny w eksploatacji; 2 – silne przegrzanie ($\Theta > 700$ połączone z intensywnym osadzaniem się na stykach produktów przypieczenia oleju; 3 – silne przegrzanie ($300 < \Theta < 700^\circ\text{C}$) połączone z umiarkowanym osadzaniem się na stykach produktów przypieczenia oleju; 4 – przegrzanie; 5 – nadmiernie intensywny łuk elektryczny; 6 – łuk elektryczny.

Identyfikacja uszkodzeń w przełącznikach z przerywaniem łuku w oleju w kadzi głównej

Normalna praca PPZ z przerywaniem łuku w oleju kadzi głównej ARS Typ 1 obserwowana jest na trójkącie Duvala w strefie N (łuk elektryczny) z późniejszym przemieszczeniem się w kierunku strefy przegrzań w efekcie nagrzewania się oleju we względnie niskiej temperaturze. Nieco inaczej przedstawia się sytuacja przełączników ARS typ 2 gdzie nagrzewanie się rezystorów przejściowych do wysokiej temperatury powoduje lokalizację normalnej pracy przełącznika w dolnej strefie T3 i X3.



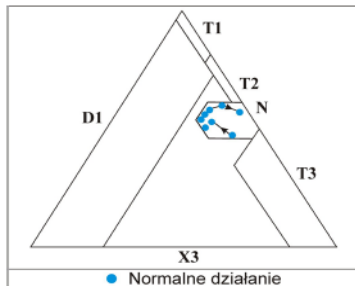
Rys. 7. Trójkąt Duvala typ 2 z wyznaczonymi strefami normalnej pracy dla PPZ ARS typ 1 i 2

Identyfikacja uszkodzeń w przełącznikach próżniowych typu VXC

W przypadku przełączników próżniowych z dławikowym ograniczeniem prądu typ VXC przerywanie łuku następuje w komorze próżniowej a zmienne znajdujący się w oleju przełączany jest bardzo rzadko co skutkuje brakiem gazów związanych z łukiem elektrycznym. W przypadku tego typu przełącznika uzasadnione jest stosowanie tego samego trójkąta jak przy identyfikacji uszkodzeń w transformatorze wypełnionym olejem mineralnym.

Identyfikacja uszkodzeń w przełącznikach próżniowych typu VRC i VRS

W przypadku przełączników próżniowych typu VRC i VRS występuje nagrzewanie się rezystorów przejściowych oraz iskrzenie na stykach przełącznika głównego co powoduje obecność gazów związanych z łukiem elektrycznym i przegrzaniem. Ich obecność w dużej mierze zależy od warunków eksploatacji danego przełącznika. Zakres normalnej pracy ułożony jest w tym przypadku w strefie T2/DT.



Rys. 8. Trójkąt Duvala typ 1 z wyznaczonymi strefami normalnej pracy dla PPZ VRC i VRS

Kody Stenestam'a

Oprócz prezentowanej wcześniej metody stosunków koncentracji gazów charakterystycznych stosuje się również kody Stenestam'a. Jest to stosunek gazów powodujących przegrzanie do ilości acetyleny. W tym przypadku nie jest brany pod uwagę wodór ze względu na jego dużą lotność i niską rozpuszczalność w oleju. Współczynnik Stenestam'a wyliczany jest ze wzoru:

$$S = (CH_4 + C_2H_2 + C_2H_6) / C_2H_2,$$

gdzie:

$S < 0,5$ wskazuje na brak występowania przegrzania.
 $0,5 < S < 5$ istnieje podejrzenie występowania przegrzań. Należy zwiększyć częstotliwość pobierania próbek oleju na analizę DGA według niżej podanych zaleceń:
 $0,5 < S < 1$ - należy pobrać próbkę w okresie od 3 do 6 miesięcy
 $1 < S < 3$ - należy pobrać próbkę w okresie 1 – 3 miesięcy
 $3 < S < 5$ - należy pobrać próbkę w okresie jednego miesiąca
 $S > 5$ - wskazuje na występowanie przegrzania. Należy przełącznik przekazać do remontu.

Stosunki koncentracji gazów charakterystycznych

Tak jak zostało to przedstawione wcześniej oprócz interpretacji wyników gazów rozpuszczonych w oleju na podstawie trójkąta Duvala istnieje również użyteczna metoda interpretacji wyników DGA wykonanych na próbkach oleju z PPZ którą jest określenie stosunków koncentracji charakterystycznych gazów rozpuszczonych w oleju przełącznika mocy wg normy PN – EN 60599:2010. Przykłady typowych uszkodzeń identyfikowanych przy pomocy tej metody podano w tabeli 4

Poziomy gazów w oleju z PPZ w dużym stopniu zależą od ilości przełączeń a ocena wyników DGA bez uwzględnienia ich ilości może okazać się niewłaściwa. W tabeli podano typowe stężenia gazów w przełączniku zaczepów w zależności od obciążenia i liczby przełączeń.

Tabela 3. Typowe uszkodzenia występujące w PPZ

Stosunki koncentracji gazów charakterystycznych	Rodzaj uszkodzenia	Przyczyny
$\frac{C_2H_2}{C_2H_4} > 1$ $0,1 < \frac{CH_4}{H_2} < 0,5$ $\frac{C_2H_4}{C_2H_6} > 1$	Wyładowania o niskiej energii	Normalna praca PPZ
$0,6 < \frac{C_2H_2}{C_2H_4} < 2,5$ $0,1 < \frac{CH_4}{H_2} < 1$ $\frac{C_2H_4}{C_2H_6} > 2$	Wyładowania o wysokiej energii	Niepełny zestyk (styki nie osiągają pozycji końcowej) Wyładowania łukowe na wybieraku (Grożba uszkodzenia uzwojeń)
$\frac{C_2H_2}{C_2H_4} < 0,2$ $\frac{CH_4}{H_2} > 1$ $\frac{C_2H_4}{C_2H_6} > 4$	Uszkodzenie cieplne	Zwiększona rezystancja pomiędzy stykami przeł. mocy lub wybieraka spowodowana powstawaniem warstwy węgla pyrolicznego, wadą wybieraka lub zbyt dużą liczbą przełączeń

Tabela 4. Wykorzystywane w ABB wartości typowych stężeń gazów w przełączniku zaczepów w zależności od obciążenia i liczby przełączeń[6]

Rodzaj gazu	Mała liczba operacji/male obciążenie	Praca normalna	Duża liczba przełączeń
Wodór	1000–5000	1000–15000	< 35000
Acetylen	500 – 5000	2000–30000	30000–150000
Metan	< 300	300 – 2000	< 20000
Etan	< 100	< 500	< 30000
Etylen	50 – 300	300 – 5000	< 70000
Propan	< 100	100 – 1000	< 15000 ¹⁾
Propylen	< 10	10 – 200	–
Tlenek węgla	< 700	< 700	< 700
Dwutlenek węgla	500 – 3500	500 – 3500	1000 – 3500
Tlen	15000– 35000	10000–35000	1000–35000
Azot	40000– 70000	40000–70000	40000–70000

¹⁾ Suma propanu i propylenu

Wyniki badań

Opierając się na coraz większym doświadczeniu w zakresie badań diagnostycznych wykonywanych w zakładzie ZREW Transformatory, przedstawiono wyniki badań w korelacji z bezpośrednią oceną uszkodzeń, dokonaną na drodze inspekcji wewnętrznej transformatora i przełącznika.

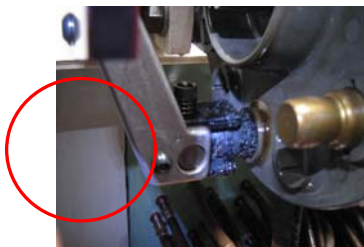
Transformator prostownikowy o mocy 30 MVA

Podczas eksploatacji transformatora zadziałał I stopień zabezpieczenia przekaznika gazowo-przepływowego transformatora. Analiza chromatograficzna wykazała przekroczenie przyjętych za dopuszczalne wartości metanu, etanu, etylenu, propanu i propylenu a diagnoza wskazała na miejscowe wysokotemperaturowe przegrzanie. Wyniki DGA zostały zaprezentowane w tabeli 7 a wyznaczony na ich podstawie punkt na trójkącie Duvala pokazano na rysunku 9. Wykonano pomiary elektryczne według Instrukcji Eksploatacji Transformatorów dla transformatorów w eksploatacji. Stwierdzono zwiększenie rezystancji

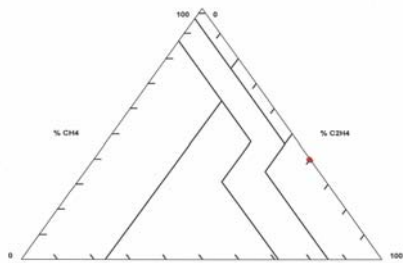
uzwojenia regulacyjnego o 10 % w stosunku do wartości fabrycznych. Wykonano rewizję wewnętrzną transformatora, podczas której stwierdzono przegrzanie styków zmieniacza przełącznika zaczepów uzwojenia regulacyjnego

Tabela 5. Wyniki DGA oleju z transformatora 30MVA

Skład i koncentracja gazów									Suma gazów palnych
H ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₂ H ₂	C ₃ H ₈	C ₃ H ₆	H ₂	CH ₄	
43	322	246	485	0	68	408	64	892	1638



Zdj. 1. Przegrzanie styków zmieniacza przełącznika zaczepów



Rys. 9. Trójkąt Duvala z punktem w strefie T3 dla opisanego przypadku

Transformator o mocy 25MVA.

Na transformatorze zostały wykonane badania okresowe transformatora oraz podobciążeniowego przełącznika zaczepów.



Rys. 10. Trójkąt Duvala typ 2 z naniesionym punktem w strefie X3 na elementach izolacyjnych

Wykonane pomiary elektryczne nie wykazały żadnego uszkodzenia części aktywnej transformatora. Analiza chromatograficzna DGA przełącznika zaczepów wykazała przegrzanie powyżej 700°C oraz wyładowania łukowe o dużej energii. Została podjęta decyzja o wykonaniu rewizji wewnętrznej przełącznika zaczepów. Podczas rewizji stwierdzono ślady przegrzania termicznych na rezystorach i elementach izolacyjnych przełącznika PO



Zdj. 2. Oporniki stopniowe z widocznymi śladami przegrzania

Wnioski

Analiza DGA oleju z PPZ pozwala na wcześniejsze wykrycie i identyfikację defektów w przełączniku co zostało poparte rewizją wewnętrzną.

Pobieranie oleju z PPZ w trakcie eksploatacji jest możliwe po sprowadzeniu do poziomu obsługi kurka do pobierania oleju.

Analiza DGA jest dobrym narzędziem do oceny stanu PPZ w okresach między przeglądami.

Przy stawianiu diagnozy dla PPZ powinny być stosowane różne wersje trójkątów Duvala w zależności od typu konstrukcji przełącznika.

Pomocna w stawianiu diagnozy jest baza gromadzonych systematycznie wyników tzw. finger-print.

Prezentowany artykuł został opracowany po prezentacji na Konferencji Transformatory Energetyczne i Specjalne w Kazimierzu Dolnym w październiku 2014 roku z uwzględnieniem sugestii uczestników wynikających z dyskusji na sesji plenarnej.

LITERATURA

- [1] IEC 60599:2010 Second Edition „Mineral oil-impregnated electrical equipment in service. Guide to the interpretation of dissolved and free gases analysis”,
- [2] Ramowa instrukcja Eksploatacji Transformatorów Energopomiar Elektryka Gliwice (2012)
- [3] Mirosław Bednarek „Praktyka diagnostyki transformatorów mocy - korelacja wyników pomiarów i inspekcji wewnętrznej”,
- [4] Jur J. Erbrink “On-load tap changer diagnosis on high-voltage power transformers using dynamic resistance measurements”
- [5] DGA w olejach nie mineralnych w przełącznikach zaczepów pod obciążeniem oraz ulepszone kryteria diagnostyczne DGA CIGRE –Grupa Robocza D1.32 Grudzień (2010)
- [6] ABB Power Technologies Info No 1ZSC000498-AAA en „Dissolved gas analysis in on-load tap changer oil”
- [7] OLTC RS12- instrukcja montażu i użytkowania. EA 715.2
- [8] Kramer A. “On-Load Tap-Changers for Power Transformers”, MR Publication (2000)
- [9] Duval M. “New frontiers of DGA interpretation for power transformers and their accessories” www.seeeei.org/EL2012/Article/ART/FAM2-4.doc
- [10] Jonssen L., Sundquist D., Specyfikacja próżniowych układów gaszeniowych w podobciążeniowych przełącznikach zaczepów materiały konferencyjne Kazimierz Dolny (2008)
- [11] Kaźmierski M. „Przełączniki zaczepów pod obciążeniem - budowa eksploatacja, diagnostyka” Forum transformatory energetyczne 18-19 listopad (2008)
- [12] Skowron A., Szymańska M., Kozak R. „ Diagnostyka transformatorów mocy - weryfikacja analizy DGA z przeprowadzoną rewizją wewnętrzną” materiały konferencyjne Kazimierz Dolny (2008)

Autorzy: mgr inż. Małgorzata Szymańska-Świątek, ZREW Transformatory S.A. ul. Rokicińska 144 92-412 Łódź,
E-mail: malgorzata.szymanska@zrew-tr.pl