

Sposoby poprawy parametrów komór próżniowych stosowanych w nowych konstrukcjach rozłączników średniego napięcia

Streszczenie. W pracy przedstawiono sposoby poprawy parametrów komór próżniowych, stosowanych w konstrukcjach rozłączników napowietrznych średniego napięcia. Zakres prowadzonych prac badawczych obejmował parametry związane z podniesieniem poziomu izolacyjności komór rozłącznikowych, uzyskaniem stabilizacji położeniowej i wymiarowej elementów komór, uzyskaniem stałej, określonej siły docisku styków oraz utrzymaniem stałej, niskiej wartości rezystancji zestyków komór.

Abstract. The article presents some ways to improve parameters of vacuum disconnecting chambers applied in the air load switches of medium voltage. Scope of research included parameters connected with rising of the insulating range of vacuum chambers including stabilization of the position and dimensions, achieving a constant pressure force of contact assembly, maintaining a constant low values of resistance of disconnecting chambers. (The ways to improve the parameters of vacuum chambers used in the new construction of medium voltage disconnectors).

Słowa kluczowe: komory próżniowe, rozłączniki średniego napięcia, łączniki wysokonapięciowe.

Key words: vacuum disconnecting chambers, switches of medium voltage, high voltage load switches.

Wstęp

Wyłączniki i rozłączniki średnich napięć są budowane najczęściej w oparciu o dwa ośrodki pracy i gaszenia łuku elektrycznego tj. próżnię i gaz SF₆. Wyłączniki próżniowe są od wielu lat najczęściej instalowanymi łącznikami w sieciach średnich napięć. Od kilku lat obserwuje się dynamiczny rozwój rozłączników próżniowych tzw. zamkniętych, bez widocznej przerwy izolacyjnej i styków pomocniczych gaszeniowych. Nowelizacja normy rozłącznikowej nr PN-EN 62271-103:2011 wprowadziła wytyczne do opracowań i prób takich rozłączników. Wzrost zastosowania komór próżniowych w rozłącznikach i wyłącznikach wynika z niezwykłych właściwości próżni jako ośrodka pracy i jako medium gaszącego łuk elektryczny, braku alternatywnego nieszkodliwego dla środowiska medium łączeniowego, oraz powszechnej dostępności do wysokiej jakości próżniowych komór łączeniowych. Kilkudziesięcioletnia praktyka związana z konstrukcjami, próbami, badaniami, produkcją i eksploatacją próżniowych komór wyłącznikowych, a w ostatnim okresie również komór rozłącznikowych, umożliwiła dalszy rozwój w tym zakresie [1, 2]. Pojawiły się nowe konstrukcje wyłączników i rozłączników próżniowych, instalowane w sieciach 110 kV.

Aparaty te cechuje niska awaryjność i niewielkie problemy eksploatacyjne. Większość producentów łączników próżniowych zaleca po kilku latach eksploatacji sprawdzenie, zbadanie niektórych właściwości. Do podstawowych sprawdzeń należy zaliczyć zbadanie poziomu próżni każdej komory, wielkości rezystancji zestyków, temperatury pracy zestyków i przyłączy, poprawności działania mechanicznego, sprawdzenie stanu izolacyjnego. Rozwój próżniowej techniki łączeniowej i jej zastosowanie w aparatach instalowanych w sieciach przesyłowych średniego napięcia powoduje potrzebę diagnozowania, w szczególności poziomu próżni. Inicjowane są nowe prace obejmujące opracowanie zakresu i metod diagnozowania stanu wyłączników i rozłączników próżniowych [3, 4].

Dodatkowe próby napięciem przeskoku

Sprawdzenia poziomu izolacyjności komór próżniowych zakupionych w dwóch firmach, wykonano poprzez próby napięciem przeskoku [5]. Próby przeprowadzono dla serii 10 komór. Podczas prób styki w komorze rozwierane były na odległość 9 mm ± 0,5 mm, za pomocą specjalnego

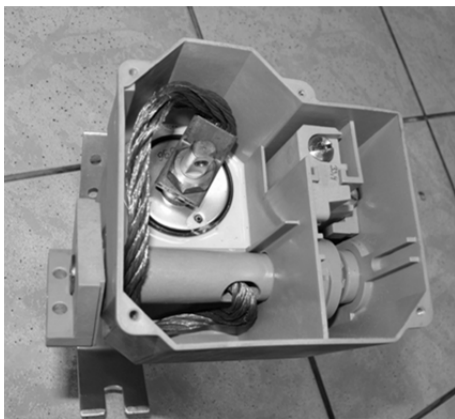
przyrządu i ustawiane na stanowisku badawczym. Uzyskano średnią wartość napięcia przeskoku w wysokości 47,5 kV. W tabeli 1 zestawiono wyniki prób.

Tabela 1. Wyniki prób komór napięciem przeskoku

L.p.	Odległość styków mm	Wartość przeskoku zewnętrznego w kV	Wartość przeskoku średnia w kV	Odchylenia w kV
1	9±0,5	47	47,5	-0,5
2		48		+0,5
3		46		-1,5
4		47		-0,5
5		49		+1,5
6		48		+0,5
7		47		-0,5
8		48		+0,5
9		46		-1,2
10		49		+1,2

Wszystkie zaobserwowane przeskoki napięciowe przebiegały na zewnątrz komór próżniowych. Uzyskane wyniki były zadowalające w odniesieniu do napięć powrotnych spodziewanych tj. ≥ 41 kV w różnych obwodach probierczych, gdzie zakładana wartość skuteczna napięć probierczych wynosiła $U_a=24$ kV. Uzyskanie wyższego poziomu izolacyjności komory było realizowane poprzez zastosowanie dodatkowej izolacji wolnej przestrzeni pomiędzy ściankami korpusu obudowy komory a ściankami zewnętrznymi komory próżniowej. Prace takie były wykonane na badanych wcześniej komorach próżniowych. Wykonano 10 prób napięciem przeskoku. Uzyskano średnią wartość napięcia przeskoku w wysokości 73,5 kV. Podczas tych prób przeskoki następowały po części zewnętrznej komory. Zastosowanie dodatkowej izolacji umożliwiło podniesienie poziomu izolacyjności, podwyższenie napięcia przeskoku, wyeliminowanie możliwości kondensacji pary wodnej w przestrzeni między komorą próżniową a korpusem obudowy oraz jednoznaczne ustalenie położenia komory w korpusie obudowy [5]. Na rysunku 1 przedstawiono komorę próżniową zamontowaną w korpusie obudowy.

Na podstawie przeprowadzonych prób można wnioskować, iż wytrzymałość elektryczna przeskokowa próżni jest znacznie wyższa od uzyskanych wartości napięć przeskoku zewnętrznego badanych komór.



Rys.1. Komora próżniowa zamontowana, dodatkowo izolowana

Analiza pracy styków w komorach próżniowych

Dla prawidłowej, poprawnej pracy zespołu styków w komorach próżniowych, w warunkach pracy normalnej i zakłóceńowej muszą być spełnione odpowiednie wymagania. Oprócz wymagań elektrycznych, dotyczących wytrzymałości elektrycznej przestrzeni roboczej i doboru materiałów, przekrojów zestyków, do wartości prądów zakłóceńowych, niezwykle ważnymi są wymagania mechaniczne dotyczące poprawności i powtarzalności pracy całej komory. Decydującymi elementami mechaniki komory są: ustabilizowanie wymiaru zewnętrznego komory, ustalenie prawidłowego położenia styku stałego i ruchomego, uzyskanie określonej, stałej siły docisku, uzyskanie w miarę stałej wartości rezystancji zestyków. Spełnienie powyższych warunków jest możliwe po zastosowaniu odpowiednich zabiegów technologicznych. Zespół procesów związanych z uzyskaniem stabilizacji położeniowej i wymiarowej, autorzy proponują nazwać kondycjonowaniem mechanicznym komór próżniowych, odpowiednio do znanego i stosowanego kondycjonowania elektrycznego.

Prace związane z uzyskaniem stabilizacji mechanicznej przeprowadzono na komorach próżniowych otrzymanych od dwóch producentów. Konstrukcje obu komór były podobne. Styk mechaniczny połączony z mieszkim sprężystym osadzony w obudowie komory, umożliwił otwarcie styków znajdujących się w próżni o poziomie 10^{-5} , 10^{-6} Pa, na odległość do 12 mm i dociśnięcie styków zamkniętych z siłą 90 ± 5 N [3]. Styk ruchomy posiadał możliwość odchylenia prostokątnej do osi rzędu kilku milimetrów, we wszystkich kierunkach. Na rysunku 5 pokazany jest widok takiej komory. Wszystkie obecne i wcześniejsze konstrukcje są oparte o taką zasadę pracy zestyków. Rozwiązanie takie jest warunkiem koniecznym do poprawnej pracy lecz niewystarczającym.

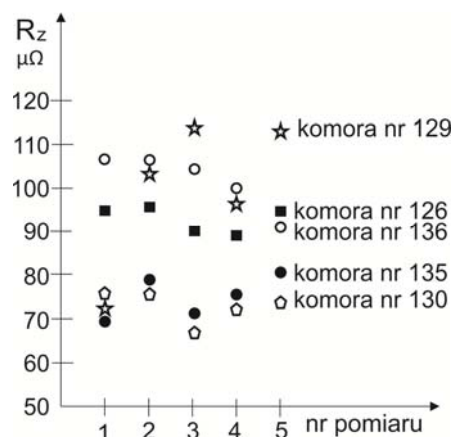
Pomiary rezystancji zestyków komór.

Wykonano szereg pomiarów rezystancji zestyków komór próżniowych. Na rysunku 2 przedstawione zostały wyniki takich pomiarów.

Pomiary rezystancji przeprowadzono metoda techniczną 4 – przewodową, prądem 10 A DC i 100 A DC w temperaturze otoczenia 20°C .

W czasie pomiarów rezystancji zestyków wykonywane były, po każdym pomiarze, ruchy otwarcia i zamknięcia styków. Jak widać z przedstawionych na rys. 2 punktów graficznych pomiarów i zmierzonych wartości rezystancji, dla poszczególnych komór próżniowych, uzyskiwano różne wartości przy każdym pomiarze. Największe różnice wartości stwierdzono na komorze nr 129, od $72 \mu\Omega$ do $112 \mu\Omega$. Na pozostałych komorach, różnice rezystancji nie

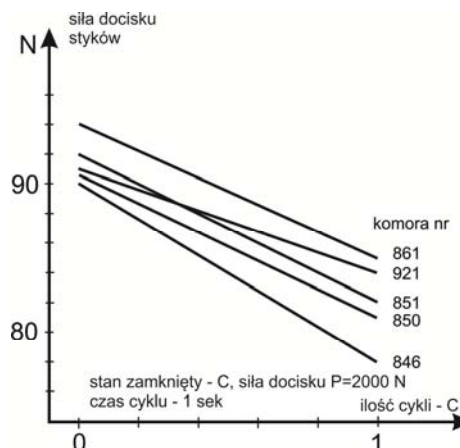
były tak znaczące i wynosiły ok. $10 \mu\Omega$. Zdaniem autorów powyższe różnice wynikały z różnego położenia styku ruchomego względem stałego.



Rys.2. Pomiary rezystancji zestyków komór próżniowych, w stanie fabrycznym.

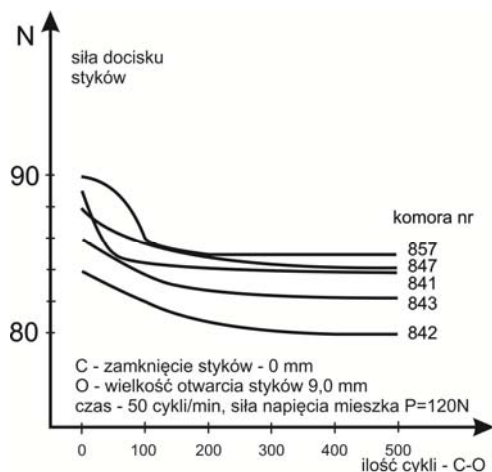
Kondycjonowanie mechaniczne komór próżniowych

Idea tzw. kondycjonowania mechanicznego powstała w czasie prac związanych z pomiarami rezystancji zestyków i analiz związanych z poprawnością pracy próżniowych komór rozłącznikowych. Dla uzyskania stabilnej, małej wartości rezystancji zestyków oraz stabilnej wartości długości zewnętrznej komory, zastosowano dwa rodzaje kondycjonowania, jednorazowe statyczne i cykliczne dynamiczne. Na rysunkach 3 i 4 przedstawiono przebiegi zmian sił docisku styków w komorach w zależności od rodzaju kondycjonowania. W próbie jednorazowej rysunku 3 przyjęto przebieg zmian wartości sił docisku jako funkcję prostoliniową. W próbie cyklicznej (rys. 4) pokazano przebieg zmian rzeczywisty, krzywoliniowy.



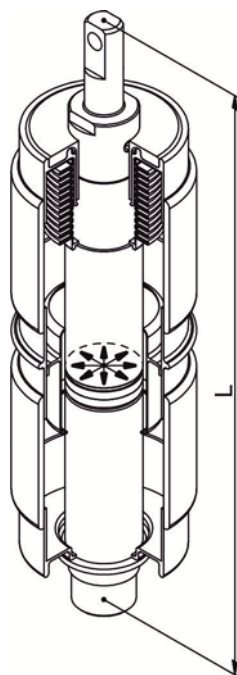
Rys.3. Zależność siły docisku styków od kondycjonowania jednorazowego

Z przebiegu krzywych widać, iż po zastosowaniu jednej i drugiej metody, nastąpił spadek wartości sił docisku zestyków, od wartości początkowej 90-94 N do wartości 86-78 N przy docisku jednorazowym, statycznym krótkotrwałym, oraz od wartości 84-90 N do wartości 86-80 N przy docisku cyklicznym, przeskokami. Nieznaczne zmniejszenie sił docisku styków nie będzie powodować zmian w poprawności pracy komór. Znacznie ważniejszym efektem obu metod było uzyskanie stałej wartości sił dociskowych styków.



Rys.4. Zależność siły docisku styków od kondycjonowania cyklicznego

Sprawdzenie istotnych wymiarów zewnętrznych dotyczyło pomiarów całkowitej długości zespołu styków stałego i ruchomego. Na rysunku 5 przedstawiony jest widok komory z zaznaczoną mierzoną długością (L).

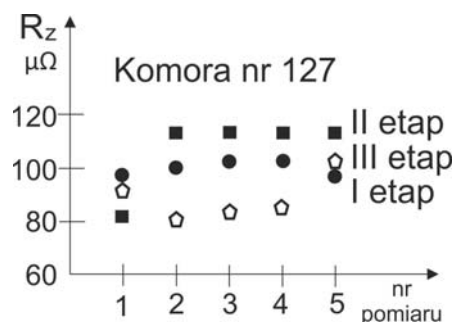


Rys. 5. Rysunek komory próżniowej rozłącznikowej

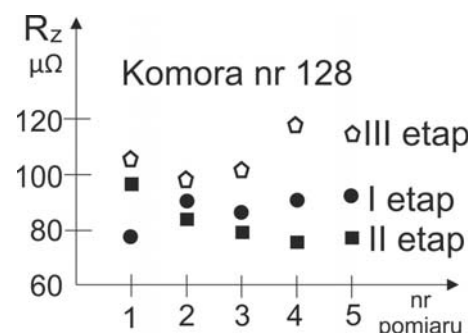
Pomiary długości całkowitej (L) badanej serii, wykazały różnice wielkości od 0,5 mm do 1,5 mm. Ze względu na konieczność poprawnego działania, zewnętrznego mechanizmu otwierającego i zamykającego styki, rozrzut wymiaru (L) jest niedopuszczalny. W wyniku analizy stwierdzono, iż przyczyną różnych długości komory (L) była niewystarczająca dokładność montażu detali w komorze i występowanie luzów w zespole części oraz odkształcenia sprężyste. W celu poprawy stanu istniejącego zdecydowano się na dodatkowe zabiegi tzw. kondycjonowania mechanicznego. Po zastosowaniu jednej lub drugiej metody, uzyskano stabilizację wymiarową (L) z dokładnością $\pm 0,5$ mm. Jednocześnie wymiar (L) uległ zmniejszeniu o wartość 1,5-2 mm. Tak uzyskana

stabilizacja wymiarowa pozwoliła na uzyskanie poprawnej powtarzalnej pracy zespołu mechanizmu przełączającego ruch styków w komorze w odpowiednim miejscu i czasie. Zabiegi te przyczyniły się do wyeliminowania błędnej pracy komory rozłącznikowej, a tym samym do ograniczenia awaryjności całego aparatu łącznikowego.

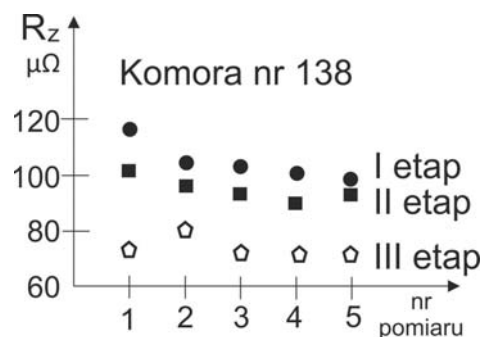
Po zabiegach kondycjonowania komór zdecydowano się na ponowne pomiary wartości rezystancji zestyków, w celu zbadania wpływu tych zabiegów na jej wysokość. Na rysunkach 6, 7, 8, przedstawiono wyniki pomiarów rezystancji w trzech różnych etapach: w stanie fabrycznym – etap I, po kondycjonowaniu mechanicznym – etap II i po osadzeniu w obudowie komory rozłącznikowej – etap III. Jak widać z położenia punktów pomiarów, uzyskano różne wartości i ich zmiany w zależności od położenia zestyków w komorze. Najbardziej korzystnym i oczekiwanym jest stan przedstawiony na rysunku 8. Na każdym etapie pomiarów, następowało zmniejszenie rezystancji, pomimo zmniejszenia sił docisków styków.



Rys.6. Rezystancja zestyków w różnych etapach pomiarów



Rys.7. Rezystancja zestyków w różnych etapach pomiarów



Rys.8. Rezystancja zestyków w różnych etapach pomiarów

Podsumowanie

Celem przedstawionej pracy było znalezienie sposobów poprawy niektórych parametrów próżniowych komór gaszeniowych, stosowanych w nowych konstrukcjach

rozłączników napowietrznych średniego napięcia. Konieczność zbadania określonych parametrów, a następnie ich poprawy wynikała z przeprowadzonych analiz pracy i parametrów współczesnych rozłączników napowietrznych średniego napięcia. Przedmiotem analiz były parametry łączników dotyczące podniesienia poziomu izolacyjności, stabilizacji wymiarowej komór próżniowych oraz utrzymania stałej, niskiej wartości rezystancji zestyków komór. Wykonane próby, badania, zabiegi technologiczno-konstrukcyjne i pomiary, na serii komór próżniowych dwóch producentów dostarczyły wielu interesujących wyników które można implementować do nowych opracowań rozłączników SN, wyłączników SN, jak również do diagnostyki zainstalowanych w sieciach SN aparatów.

Uzyskano poprawę zdolności izolacyjnej próżniowej komory rozłącznikowej poprzez zastosowanie dodatkowej izolacji przestrzeni pomiędzy komorą a obudową. Wykonane próby wprowadzonych zmian, napięciem przeskoju, potwierdziły podwyższenie poziomu izolacyjności z 47,5 kV do 73,5 kV.

Opracowano sposób poprawy parametrów mechanicznych komór dotyczących ustabilizowania położenia elementów komór, ich wymiarów zewnętrznych oraz uzyskania określonej, stałej siły docisku zestyków. Zespół procesów technologicznych nazwany kondycjonowaniem mechanicznym komór zaprezentowany i opisany w publikacji przyczynił się do poprawy parametrów mechanicznych komór, a tym samym do prawidłowej, poprawnej pracy zespołu styków i mechanizmów przełączających cykle C-O. Wykonane próby obciążeń statycznych i dynamicznych komór w stanie fabrycznym przyniosły oczekiwane efekty. Przedstawione sposoby

poprawy własności mechanicznych komór mogą mieć zastosowanie w nowych konstrukcjach rozłączników czy wyłączników SN.

Wykonane pomiary rezystancji zestyków w trzech opisanych etapach prac dostarczyły różnych wartości. Różnice te mogą wynikać ze zmiennego położenia styków względem siebie, po każdym cyklu C-O.

LITERATURA

- [1] Janiszewski J., Batura R., Konstrukcje łączników próżniowych i próżniowych komór gaszeniowych opracowane w Instytucie Elektroenergetyki Politechniki Poznańskiej, *Przegląd elektrotechniczny* (2010) n.11b, 229-232
- [2] Kiszło S., Rozłączniki wysokonapięciowe do 24 kV – analiza konstrukcji i parametrów technicznych w świetle aktów normatywnych, prowadzonych prób i badań, *Wiadomości elektrotechniczne* (2014) n.5, 46-48
- [3] Chmielak W., Przegląd metod diagnozowania stanu próżni wyłączników próżniowych, *Przegląd elektrotechniczny* (2014) n.2, 213-216
- [5] Maksymiuk J., Nowicki J., Aparaty elektryczne i rozdzielnic wysokie i średnie napięć, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2014.
- [5] Kiszło S., Nowe konstrukcje elektromechanicznych rozłączników napowietrznych średniego napięcia, *Rozprawa doktorska, Politechnika Lubelska*, Lublin 2013.

Autorzy: dr inż. Stanisław Kiszło, Instytut Energetyki – Zakład Doświadczalny w Białymstoku, ul. Św. Rocha 16, 15-879 Białystok, e-mail: s.kiszlo@jezd.pl; dr hab. inż. Janusz Partyka prof. PL, Wydział Elektrotechniki i Informatyki, Politechnika Lubelska, ul. Nadbystrzycka 38A, 20-618 Lublin, e-mail: j.partyka@pollub.pl