

Przegląd metod diagnozowania stanu próżni wyłączników próżniowych

Streszczenie. Badania diagnostyczne stanu próżni wewnątrz zamkniętej komory wyłącznika jest potrzebne do oszacowania jego zdolności łączeniowej i wytrzymałości dielektrycznej. Jest też niezwykle trudne z uwagi na brak możliwości bezpośredniego pomiaru. W artykule przedstawiono i opisano istniejące metody diagnozowania stanu próżni w wyłącznikach próżniowych oraz wskazano ich zalety i ograniczenia.

Abstract. Diagnostic testing of vacuum inside the closed chamber of vacuum circuit breaker is needed to estimate the switching capacity and dielectric strength. It is also extremely difficult because of the inability to direct measurement. This paper presents and describes the current methods of diagnosing the state of the vacuum in the vacuum circuit breakers and identifies their advantages and limitations.. (**Review of methods of diagnostics of the vacuum in vacuum circuit breakers**).

Słowa kluczowe: wyłącznik próżniowy, diagnostyka stanu próżni.

Keywords: proszę podać słowa kluczowe angielskie.

doi:10.12915/pe.2014.02.54

Wstęp

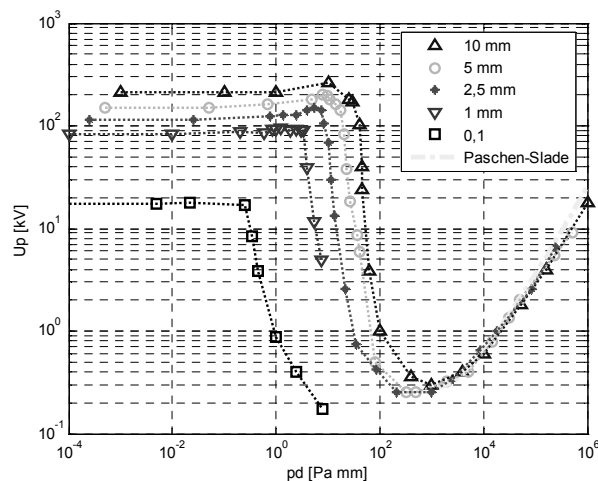
Wyłączniki próżniowe są najczęściej instalowanymi wyłącznikami w sieciach średnich napięć. Wynika to z ich niezwykłych właściwości w stosunku do innych rozwiązań i praktycznie braku alternatywnego nieszkodliwego dla środowiska medium łączeniowego. Zakłada się, że już niedługo wyłączniki próżniowe zaczną być powszechnie instalowane w sieciach przesyłowych 110kV, a w dalszej perspektywie też na wyższych napięciach [1]. Obecnie w krajach azjatyckich, głównie w Japonii, pracuje ponad 8000 wyłączników próżniowych na napięciu 145 kV. Część z nich ma już za sobą ponad 10-cio letni okres eksploatacji wykazując niezwykle niską awaryjność i znikome problemy eksploatacyjne [2] co potwierdza zasadność założenia o dalszym rozwoju tej technologii w kierunku wyższych napięć.

Zgodnie z zapewnieniami większości producentów wyłączników próżniowych aparaty te nie wymagają żadnych zabiegów eksploatacyjnych w trakcie ich normalnego funkcjonowania. Jednakże po kilku latach eksploatacji, a w szczególności po bardzo długim okresie pracy tych wyłączników zaleca się zbadanie ich właściwości [3,4], w tym także tego czy poziom próżni wewnątrz komory jest zadawalający [5]. Współczesne komory próżniowe, szczególnie te produkowane przez pięciu najważniejszych producentów próżniowych komór wyłącznikowych, są bardzo odporne na rozszczelnienia [1]. Mimo to aktualne normy [6] obligują producentów komór próżniowych do badania poziomu próżni każdej komory. Wyniki takich testów powinny być udokumentowane i przypisane indywidualnie do komory posiadającej swój numer seryjny. Komora po zamontowaniu w wyłączniku powinna być ponownie sprawdzona przez wiarygodną próbę wyrobu o napięciu ustalonym przez producenta komory. Próba szczelności komory może być zrealizowana jako próba napięciem o częstotliwości sieci lub innym równoważnym.

Wytrzymałość dielektryczna próżni

Czynnikiem wpływającym na wytrzymałość dielektryczną komór próżniowych jest ciśnienie wewnątrz komory. Dla ciśnienia poniżej 10^{-2} Pa wytrzymałość elektryczna próżni jest wysoka i jej poziom w funkcji zmian ciśnienia względnie stabilny i zależny m.in. od odległości międzystykowej. Dla ciśnień niższych od 10^{-1} Pa napięcia przeskoku są mniejsze niż teoretycznie wyznaczone za pomocą mechanizmu Townsenda. W okolicy tego ciśnienia następuje zmiana mechanizmu inicjowania przeskoku na mechanizm przeskoku elektrycznego w próżni. Dopiero

przy ciśnieniach poniżej około 10^{-2} Pa napięcie przeskoku dla prądu przemiennego staje się praktycznie niezależne od zmian wartości ciśnienia. Przy zwiększeniu ciśnienia do wartości z przedziału 10^{-2} - 10^{-1} Pa następuje wzrost wytrzymałości elektrycznej układu przy jednoczesnym zmniejszeniu współczynnika wzmocnienia pola elektrycznego na mikronierównościach elektrod i zwiększeniu pracy wyjścia elektronów z powierzchni elektrod. Obserwowany wzrost napięcia przeskoku uwidacznia się znacząco dla układów o większej przerwie między stykami (rzędu paru milimetrów) natomiast jest prawie całkowicie niezauważalny dla układów z przerwą jednomilimetrową [7]. Przykład charakterystyk wytrzymałości dielektrycznej zmierzonych na modelowej komorze próżniowej dla różnych odległości międzystykowych pokazano na rysunku 1. Na tym rysunku naniesiona jest również krzywa Paschena wyznaczona zgodnie z monografią Slade'a [1].

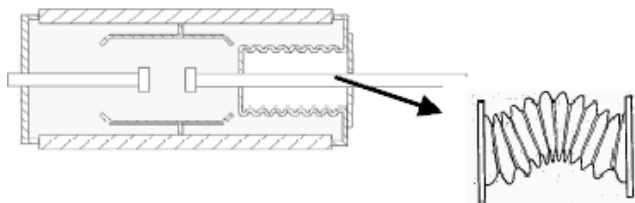


Rys. 1. Charakterystyki wytrzymałości dielektrycznej komory próżniowej dla różnych odległości międzystykowych

Badanie wytrzymałości dielektrycznej komór próżniowych może sprawić spore trudności. Podczas takich badań obserwuje się początkowo dość niskie napięcia przeskoku, po czym wytrzymałość komory wyraźnie rośnie. Zjawisko to nazywane jest kondycjonowaniem komory, które to poprawia wytrzymałość dielektryczną układu izolacyjnego do pewnej określonej wartości wraz ze wzrostem zaistniałych przeskoców między elektrodami. Proces kondycjonowania usuwa z powierzchni elektrod

źródła zjawisk poprzedzających przeskok, takich jak mikrocząsteczki i mikrowyładowania. Usuwa też z powierzchni elektrod zanieczyszczenia, zaadsorbowane gazy, prowadzi do odrywania mikrocząstek słabo związanego materiału powierzchniowego, a także pomaga wyrównać mikronierówności, przy których wzrasta współczynnik wzmocnienia pola elektrycznego. W zasadzie każde badanie wytrzymałości napięciowej komory próżniowej wymaga wcześniejszego ich kondycjonowania. Spośród znanych z literatury metod kondycjonowania komór próżniowych najbardziej skuteczną wydaje się kondycjonowanie napięciem impulsowym prowadzącym do krótkotrwałych wielokrotnych przeskoków [3].

Zmniejszenie poziomu próżni wewnątrz komory wyłącznika niesie ze sobą niebezpieczeństwa pogorszenia zarówno właściwości dielektrycznych układu izolacyjnego jak też osłabienia zdolności wyłączania prądów. Ubytek próżni może wynikać z odgazowywania materiałów wewnątrz komory, nieszczelności połączeń spawanych czy lutowanych powstających wskutek naprężeń czy z przenikania gazów przez materiały obudowy komory Doświadczenia eksploatacyjne w sieciach przesyłowych wysokich napięć w Japonii, gdzie już ponad 8000 wyłączników próżniowych zostało zainstalowanych, wskazują że nieszczelności wyłączników próżniowych się zdarzają chociażby na skutek wyoboczenia mieszków odpowiedzialnych za uszczelnienie ruchu styku ruchomego (rys. 2.) [2]. Poziom próżni może też ulec zmniejszeniu wskutek długotrwałej dyfuzji międzykrystalicznej, korozji lub dezaktywacji materiału pochłaniacza [8]. Przy średnich napięciach zdarzają się sytuacje gdzie istnieje podejrzenie o zmniejszeniu poziomu próżni w wyłącznikach przejawiające się chociażby występowaniem przeskoków na otwartych komorach [9]. Ubytek próżni do poziomu powyżej 10^{-2} Pa skutkuje obniżeniem zdolności komory do wyłączania prądów. Przy ciśnieniach powyżej 1 Pa komora traci swoją wysoką wytrzymałość dielektryczną. W przypadku wyłączników średnich napięć nie stosuje się tak zaawansowanych systemów nadzoru pracy wyłączników jak w sieciach przesyłowych więc większość zdarzeń związanych z niewłaściwym zadziałaniem takiego wyłącznika kojarzonych jest z problemami z wyzwalaczami [2].

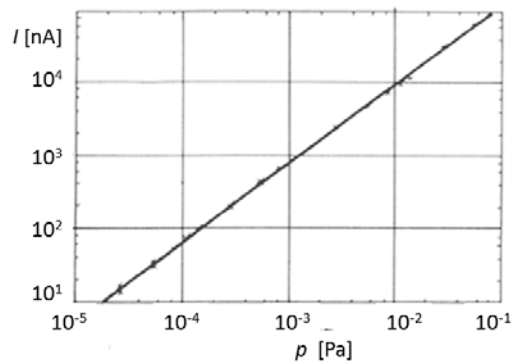


Rys. 2 Wyoboczenie mieszka uszczelniającego prowadzenie styku ruchomego. [2]

Metody diagnozowania komór próżniowych.

Podstawowymi metodami badania poziomu próżni wewnątrz nowych komór próżniowych stosowanymi przez większość producentów komór próżniowych są: metoda Penninga i metoda Magnetronowa. W tych metodach badaną komorę umieszcza się w silnym osiowym polu magnetycznym a na otwarte styki podaje się napięcie stałe na poziomie 10–20 kV i rejestruje prądy emisji elektronowej. Elektrony emitowane z katody na skutek działania pola elektrycznego przemieszczają się w kierunku katody ruchem spiralnym pod wpływem działania pola magnetycznego. W ten sposób znacząco wydłuża się ich droga jaką pokonują między stykami dzięki czemu częściej się zderzają z atomami i molekułami gazu resztkowego. Występująca jonizacja zderzeniowa objawia się w wartości

mierzonego prądu. Możliwe jest zatem określenie poziomu ciśnienia wewnątrz komory przez pomiar tego prądu (rys. 3) [10]. Charakterystyki zależności prądu od ciśnienia są różne w zależności od geometrii i budowy komory. Dlatego aby możliwe było badanie poziomu próżni tą metodą niezbędne jest wcześniejsze wyznaczenie takich charakterystyk dla każdego typu komory. Metody te mają możliwość detekcji poziomu ciśnienia wewnątrz komory w najszerszym zakresie ciśnień spośród znanych metod diagnostycznych. Jednak ze względu na konieczność wymuszenia w komorze silnego pola magnetycznego poprzez obsadzenie komory w magnezie lub elektromagnesie, nie znajduje zastosowania w pomiarach eksploatacyjnych.



Rys.3. Przykładowa zależność prądu w komorze od ciśnienia w jej wnętrzu wyznaczona podczas badań metodą Magnetotronową [10]

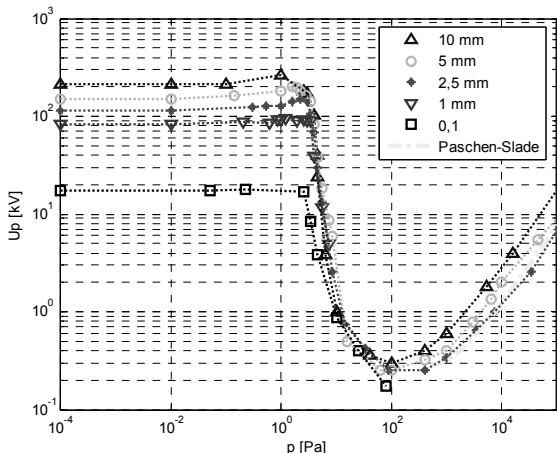
Istnieje zatem potrzeba znalezienia prostej i taniej metody, innej niż te stosowane przez producentów, która była by w stanie wiarygodnie i jednoznacznie wskazać poziom próżni w komorze wyłącznika. Dodatkowo, metoda ta nie może niekorzystnie wpływać na badaną komorę, jak może mieć to miejsce w przypadku badania wysokim napięciem przemiennym. Powstało wiele metod i patentów różnych rozwiązań, które są w stanie przeważnie wyłapać dopiero stan, w którym zmienia się mechanizm przeskoku w próżni na wyładowanie w gazie, czyli powyżej kilku paskali [5,11-17]. Oczekiwany poziom detekcji jest natomiast w zakresie od 10^{-4} lub przynajmniej od 10^{-2} Pa, czyli w zakresie dopuszczalnych maksymalnych ciśnień w komorze. Zestawienie opisanych metod i ich właściwości przedstawiono w tabeli 1. Oczywiście nie są to wszystkie możliwe metody, które zostały opisane w literaturze, ale jedynie te wybrane, które są obecnie stosowane lub wydają się względnie perspektywiczne do zastosowania w eksploatacji.

Tabela 1. Zestawienie metod diagnostycznych komór próżniowych.

Metoda	Zakres detekcji [Pa]	wskazanie ciśnienia	dokładność	Możliwość zastosowania w eksploatacji
Penninga	$10^{-5} - 10^{-2}$	+	+	-
Magnetronowa	$10^{-5} - 10^{-2}$	+	+	-
Napięcia zapłonu 50 Hz	>1	+	+/-	+/-
Napięcia zapłonu DC	>1	+	+	+
Zdolności łączenia AC	> 10^{-2}	-	+/-	+/-
Prądy emisji	> 10^3	-	+/-	+/-
Prądy emisji + prąd HF	$10^{-5} - 10^{-2}$	+	+	+
X-ray	> 10^3	-	+/-	+
Napięcie łuku DC	$10^3 - 1$	+	+	+
V_d/V_e	$10^3 - 1$	+	+	+
Potencjał ekranu	$10^3 - 10^{-1}$	+	+/-	-
Wyłaczanie prądu indukcyjnego	> 0.3	+	+	+
Wyłaczanie prądu indukcyjnego	> 0.3	+	+	+
Pomiar wyładowań niezupełnych	>260	+	+	+/-

Metoda statycznego napięcia zapłonu AC [11] jest podstawową i najprostszą metodą badania wytrzymałości dielektrycznej układu izolacyjnego. Tą metodą można zbadać napięcie zapłonu, które zgodnie z krzywą Paschena i rysunkiem 4 jest zmienne w zakresie ciśnień powyżej kilku

paskali, czyli znacznie powyżej wartości ciśnienia przy którym komora utraci swoje właściwości gaszeniowe i dielektryczne. To określa zakres stosowalności tej metody na mało zadowalającym poziomie. Ponadto wytrzymałość próżni w pełni otwartej komory jest zdecydowanie wyższa niż dopuszczalne napięcia wytrzymywane komory. Badania te wymagają więc regulacji odległości międzystykowej.



Rys. 4. Charakterystyki wytrzymałości dielektrycznej komory próżniowej dla różnych odległości międzystykowych

Metoda statycznego napięcia zapłonu DC [12] jest metodą proponowaną przez producentów sprzętu diagnostycznego jako najlepsza do sprawdzenia gotowości eksploatacyjnej komory. Do otwartej standardowo komory przykładają się napięcie o ustalonej wartości (np. 60 kV) i na podstawie tego, że prąd w komorze nie przekroczył krytycznej wartości (30 mA) wnioskuje o zadowalającym stanie komory. Jest to bardzo proste badanie mówiące jedynie, czy komora nie jest uszkodzona. Jednak należy mieć na uwadze to, że taki przyrząd może wskazać uszkodzenie komory po wystąpieniu przeskoku kondycjonującego. Ponadto zakres detekcji poziomu próżni tą metodą jest na równie niezadowalającym poziomie jak przy próbach napięciem przemiennym.

Teoretycznie ocenę stanu próżni można uzyskać określając napięcie probiercze w chwili wystąpienia przeskoku. Aby jednak efekt ten uzyskać na komorach o dobrym stanie i przy rozsądnych wartościach napięcia, konieczne jest wykonywanie prób przy bardzo małych odległościach międzystykowych.

Metoda zdolności łączenia prądu AC [5] wykorzystuje fakt, że zdolność wyłączania prądu przemiennego wyraźnie spada powyżej ciśnienia 10^{-2} Pa. Ta metoda diagnostowania próżni może w szerszym zakresie wykryć ubytek próżni w komorze. Jednak nie jest w stanie wskazać wartości ciśnienia gazu resztkowego wewnątrz komory. Badania takie przeprowadza się często w układach probierczych wysokoczęstotliwościowych by uzyskać znaczne wartości stromości prądu.

Metoda badania prądów emisji [13] przeprowadzana jest na komorze zasilanej wysokim napięciem stałym. Mierzone prądy są na poziomie od ułamków mikro amperów do pojedynczych mikro amperów co może znacząco utrudniać precyzyjny pomiar. Metoda ta nie jest w stanie określić ciśnienia wewnątrz komory a jedynie wskazać czy komora ma ciśnienie powyżej wartości od 10^{-3} do 10^{-1} Pa wykorzystując znaną zależność Fowlera-Nordheima [1,7]. Ta rozbieżność w zakresie detekcji wynika z budowy komory próżniowej- materiału styków i gazów resztkowych.

Metoda badania prądów emisji z udarem prądowym HF [12] jest modyfikacją wcześniejszej metody polegającą na wcześniejszym 'wygładzeniu' powierzchni styków przez

przeływ dużego prądu wysokiej częstotliwości. W tej metodzie przed pomiarem prądu emisji elektronowej następuje rozładowanie układu rezonansowego wymuszającego przeływ prądu dużej częstotliwości (>1 kHz). Krótki impuls prądu usuwa mikronierówności i warstwy nalotowe z powierzchni styków komory i zostaje wyłączony przez komorę. Po wyłączeniu tego prądu następuje nagły wzrost prądu emisji, który następnie zanika ze stałą czasową zależną od ciśnienia w komorze. Zależność ta jest odwrotnie proporcjonalna ze współczynnikiem zależnym od komory. Deklarowany zakres detekcji tą metodą wynosi od 10^{-5} do 10^{-2} Pa i jest w pełni zadowalający.

Metoda pomiaru promieniowania rentgenowskiego X-ray [5,13,14] wydaje się być kusząca gdyż intensywność promieniowania rentgenowskiego jest wprost proporcjonalna do prądów emisji a pomiar może być wykonywany bezkontaktowo. Diagnozowanie stanu próżni tą metodą ma takie same właściwości jak metoda badania prądów emisji, z tą różnicą że badania mogą być przeprowadzane w sposób ciągły nie ingerując w obwód energetyczny i wyłącznik. Niestety poziom promieniowania w warunkach roboczych, nawet przy znacznie mniejszych odległościach międzystykowych jest poniżej poziomu ziemskiego, przez co interpretacja wyników może być mocno przekłamana.

Metoda napięcia łuku DC [13] polega na badaniu napięcia łuku przy prądzie stałym o wartości 10 A. Przy tak małej wartości prądu łuk elektryczny powinien być często gaszony przy okazji wygaszania i pojawiania się nowych plamek katodowych. To powoduje podwyższanie się napięcia łuku. Molekuły gazu desorbowane z powierzchni katody oraz gaz resztkowy ułatwiają rozwijanie się nowych plamek katodowych co manifestuje się obniżeniem napięcia łuku. Nadmierny wzrost pików napięcia łuku, powyżej 30 V świadczy o mniejszej wartości ciśnienia. Metoda ta wydaje się prostą i poręczną metodą, która może być realizowana małym ręcznym przyrządem. Deklarowany zakres detekcji wynosi od 10^{-4} do 1 Pa.

Metoda Vd/Ve [16] polega na pomiarze wartości napięcia inicjującego mikrowyładowanie oraz napięcia inicjującego prąd emisji. Ich iloraz jest odwrotnie proporcjonalny do ciśnienia wewnątrz komory. Badania tej metody zostały przeprowadzone przy odległości międzystykowej równej 0,2 oraz 0,3 mm. Deklarowany zakres detekcji wynosi od 10^{-3} do 1 Pa. Wydaje się jednak, że pomiar zarówno napięcia poprzedzającego przeskoc jak też napięcia przy którym zaczyna pojawiać się prąd emisji elektronowej (na poziomie (uA) jest niezwykle skomplikowany i dość niejednoznaczny.

Metoda potencjału ekranu [8] możliwa jest do zastosowania jedynie w komorach, w których ekran kondensacyjny jest dostępny z zewnątrz. Pomiar potencjału ekranu kondensacyjnego komory w większości współczesnych komór nie jest możliwy ze względu na ich budowę, t.j. brak wyprowadzenia. Empirycznie stwierdzono, że przy ciśnieniach 3×10^{-3} – 3×10^{-1} , tj. w krytycznym zakresie ciśnień, strumień elektronów emitowanych ze styków może mierzalnie oddziaływać na potencjał ekranu. Fakt ten można wykorzystać do oceny stanu próżni. Autor metody przyznaje, że jej stosowalność może zależeć od konstrukcji komory i bez głębszych badań trudno ją zalecać.

Metoda wyłączania małego prądu indukcyjnego [8] wykorzystuje naturalne dla komór próżniowych zjawisko zrywania prądu. Metodę realizuje się w układzie drgającym. Napięciem testującym wytrzymałość międzystykową w dynamicznym stanie przemieszczeń styku ruchomego jest impuls przepięciowy zależny od impedancji

charakterystycznej obwodu. Zakres funkcjonowania tej metody został dowiedziony dla ciśnień powyżej 3×10^{-1} Pa.

Metoda wyłączania prądu pojemnościowego [8] polega na próbie wyłączania prądu pojemnościowego w układzie drgającym. W układzie tym na zaciskach badanej komory pojawia się napięcie typowe dla łączenia pojemności – tj. napięcie typu $1 - \cos \omega t$. Układ stwarza wiele możliwości zmiany warunków próby – np. częstotliwości napięcia powrotnego czy też odległości międzystykowej, przy której testuje się komorę. Ocenia się, że metoda jest w stanie wykryć wzrost ciśnienia w komorze do 3×10^{-1} Pa.

Metoda pomiaru wylądowań niezupełnych [17] jest niejako naturalną aplikacją najpopularniejszej ostatnio metody diagnozowania stanu układu izolacyjnego większości urządzeń energetycznych, w tym m.in. wyłączników z gazem SF₆. Zaproponowano też metodę detekcji poziomu próżni poprzez pomiar wylądowań niezupełnych wewnątrz komory, jednak skuteczność tej metody została dowiedziona dopiero przy dość wysokich ciśnieniach > 250 Pa co umożliwia wykrycie całkowite rozszczelnienie komory próżniowej.

Podsumowanie

Rozwój próżniowej techniki łączeniowej w kierunku budowy wyłączników próżniowych do sieci przesyłowych wymusza potrzebę diagnozowania i oceny stanu próżni wewnątrz komór wyłączników. Wydaje się że jak na razie nie ma skutecznej metody oceny poziomu próżni w komorze na poziomie ciśnień poniżej pojedynczych paskali. Metody stosowane w eksploatacji są w stanie wykryć w zasadzie mocno rozszczelnioną komorę, tj. przy ciśnieniach gdy komora nie posiada już swoich właściwości gaszeniowych i izolacyjnych. Powstało wiele patentów i prowadzonych jest wiele prac w kierunku znalezienia skutecznej metody oceny poziomu próżni i stanu komory wyłącznika. Porównując te metody między sobą można zauważyć, że największy deklarowany zakres detekcji ubytku próżni mają: metoda pomiaru prądu emisji elektronowej z przebiciem prądu dużej częstotliwości oraz metoda pomiaru napięcia łuku prądu stałego. Metody te jednak wymagają wymontowania badanego wyłącznika na czas badań i przerwanie jego pracy. Ponadto wszelkie badania prowadzone na komorach próżniowych w eksploatacji mogą być obciążone dużymi błędami wynikającymi ze stanu powierzchni styków. Dlatego aby uwiarygodnić takie badania należało by wcześniej przeprowadzić proces kondycjonowania komory wyrównując i oczyszczając powierzchnie styków z warstw nalotowych, mikronierówności i zaadsorbowanych gazów.

Praca finansowana przez MNiSW ze środków na badania w latach 2010-2013.

LITERATURA

- [1] Slade P. G. The Vacuum Interrupter Theory, Design, and Application, *CRC Press* 2007
- [2] Ikebe K., Imagawa H., Sato T., Ito H., Kosakada M., Saito H. Present Status of High-voltage Vacuum Circuit Breaker Application and its Technology in Japan *Cigre Symposium A3_303_2010* 2010
- [3] WG.13.09 User guide for the application of monitoring and diagnostic techniques for switching equipment for rated voltages of 72,5 kV and above *Broszura Cigre* Nr 167, 2000.
- [4] Gill P. Electrical power equipment maintenance and testing *CRC Press* 2009
- [5] Frontzek F.R., Konig D., Methods for internal pressure diagnostic of vacuum circuit breakers *IEEE 18th ISDEIV - Eindhoven-1998* p. 467-472
- [6] PN-EN 62271-1 Wysokonapięciowa aparatura rozdzielcza i sterownicza – Część 1: Postanowienia wspólne
- [7] Chmielak W., Pochanke Z., Diagnostic of vacuum on the basis of the dielectric strength, *Electrical Review* 12b/2012, p. 311-314
- [8] Damstra G.C., Merck W.F.H., Bos P.J., Bouwmeester C.E. Diagnostic Methods for Vacuum State Estimation *IEEE 18th ISDEIV-Eindhoven-1998*, p. 443-446
- [9] Pochanke Z., Diagnostyka stanu próżni w komorach wyłączników próżniowych, VIII Konf. Naukowo-Techniczna 'Diagnostyka w sieciach elektroenergetycznych zakładów przemysłowych', Płock – 2007
- [10] Kuhl W., Schilling W., Schlenk W., Messung des Innendruckes in Vakuumschaltröhren, *Vakuum-Technik* 34. Jahrgang . Heft 2/85 Seite 34 bis 38
- [11] Damstra G. C. Pressure Estimation in Vacuum Circuit Breakers *IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation* Vol. 2 No. 2, April 1995
- [12] Frontzek F.R., Konig D., Measurement of Emission Currents Immediately After Arc Polishing of Contacts *IEEE Trans. on EI*, vol. 28, No. 4, 1993, p. 700-705
- [13] Walczak K., Janiszewski J., Mościcka-Grzesiak H. Evaluation of internal pressure of vacuum interrupters based on dynamics changes of electron field emission current and X-radiation *HV Eng. Symp.* Aug. 1999
- [14] Walczak K., Method for vacuum state evaluation based on analysis of dynamics changes of electron field emission current and X-radiation in time, *XXth ISDEIV-Tours-2002*, pp.231-234.
- [15] Merck W.F.H., Damstra G.C., Gruntjes R.J.B. Estimation of Vacuum Condition in Vacuum Circuit Breakers, *IEEE 18th ISDEIV -Eindhoven-1998* p. 506-509
- [16] Ziyu Z., Shuheng D., Xiuchen J., Naixiang M., Liwen L., Huansheng S., Chongfang L. Measurement of Internal Pressure of Vacuum Tubes by Micro-discharge and Emission Current *XXIII-rd ISDEIV – Bucharest – 2008*.
- [17] Kamarol M., Ohtsuka S., Hikita M., Saitou H., Sakaki M. Determination of Gas Pressure in Vacuum Interrupter Based on Partial Discharge, *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation* Vol. 14, No. 3; June 2007 p. 593 - 596

Autor: dr inż. Waldemar Chmielak, Politechnika Warszawska, Instytut Elektroenergetyki, ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa, E-mail: Chmielak@ee.pw.edu.pl