



Stig KYRKJEEIDE<sup>1</sup>, Mirosław KUCHTA<sup>2</sup>

TransiNor-Doble (1), EnerTest (2)

## Testowanie podczas pracy i monitorowanie na bieżąco stanu beziskiernikowych ograniczników przepięć z tlenków metali

**Streszczenie.** Artykuł opisuje system do testowania i monitorowania na bieżąco stanu beziskiernikowych ograniczników przepięć z tlenków metali z izolującą podstawą. System mierzy rezystancyjny prąd upływu, który płynie przez warystor ZnO podczas normalnej pracy. Urządzenie jest przenośne, ale może być również wykorzystane do ciągłego monitorowania, ograniczników na stacji.

**Abstract.** (In-service testing and on-line monitoring of metal oxide surge arresters). The LCM system for testing and on-line monitoring of technical state of metal oxide surge arresters containing a insulating base is described in the paper. The system measures leakage resistive current flowing across a metal oxide varistor in operating conditions. The diagnostic instrument is a mobile type but it can be also used for continuous monitoring of surge arresters at power substation.

**Słowa kluczowe:** ograniczniki przepięć, badania diagnostyczne, tlenek metalu.

**Keywords:** surge arresters, diagnostics tests, metal oxide.

### Wprowadzenie

Ogranicznik przepięć jest tanim, ale czasami bardzo ważnym elementem systemu na stacji, chroniącym urządzenia elektryczne, jak np. transformatory, kable itp. przed przepięciami. Ich pasywna rola na stacji i niska stosunkowo cena powoduje, że ich przeglądy odbywają się tylko przy okazji innych przeglądów lub wymienia się po awarii. Zapomina się o fakcie, że błąd ogranicznika może spowodować bardzo groźne w skutkach uszkodzenie sąsiadującej drogiej i krytycznej aparatury. Zestarzały ogranicznik zmniejsza zabezpieczenie od przepięć. Stanowi również zagrożenia dla służb wykonujących prace konserwacyjne na stacji.

W normalnej pracy ogranicznik typu MOS podlega różnego rodzaju udom/stresom: normalne napięcie pracy, chwilowe przepięcia, przepięcia od przeląceń, przepięcia od wyładowań piorunowych. Dodatkowo zewnętrzne zanieczyszczenia (wilgoć, śnieg, sól, przemysłowe zanieczyszczenie) również wpływają na jego stan. Wszystkie, te stresowe, dla ogranicznika sytuacje, czy też wnikanie wilgoci do wnętrza, może powodować przyspieszenie procesów starzenia lub uszkodzenie stosu warystorowego ZnO (zmianę charakterystyki, pęknięcia, punktowe uszkodzenia, WNP itp.) lub przeciążenie skutkujące przegrzaniem. Gdy znamionowe napięcie jest zbyt niskie może to powodować wzrost ryzyka uszkodzenia i nieprzewidywalnego odstawienia sieci. Rezultatem zatarzenia jest wzrost rezystancyjnej składowej płynącego ciągle przez warystor prądu upływu. Wzrost tego prądu powoduje wzrost strat mocy a więc i temperatury warystorów. W pewnych sytuacjach prąd upływu może przekroczyć krytyczny graniczny prąd i energetyczną wytrzymałość. Staje się on wtedy niestabilny termicznie i może ulec uszkodzeniu. Zatem wzrost w czasie rezystancyjnej składowej prądu upływu, powoduje wzrost ryzyka awarii.

Uszkodzenie ogranicznika może powodować różne efekty np.:

- eksplozję porcelanowej obudowy (rys. 1), co może również spowodować uszkodzenia w otoczeniu. Obudowy polimerowe mogą ulec pęknięciu.
- doziemienie wywołane wewnętrznym przeskokiem - taki ogranicznik może być trudny do zlokalizowania;

- zmniejszone zabezpieczenie od przepięć, co z kolei może spowodować przeniesienie się przepięcia na chroniony aparat.



Rys. 1. Rezultat eksplozji porcelanowej obudowy ogranicznika

Odpowiednie narzędzie diagnostyczne i regularne jego używanie dające informacje o rzeczywistym stanie ograniczników pomaga prowadzić prawidłowo zarządzanie zasobami tzn:

- używać prawidłowo czasu życia pracujących MOS;
- zapobiegać uszkodzeniom poprzez wymianę na czas, przed awarią;
- unikać zakłóceń i kosztowych odstawiń zasilania;
- ograniczać ryzyko uszkodzeń innych aparatów z powodu złej pracy ogranicznika (np. transformatora, przepustów);
- zwiększa bezpieczeństwo pracy służb utrzymania w ruchu;
- prowadzić efektywną kosztowo politykę zarządzania zasobami MOSA.

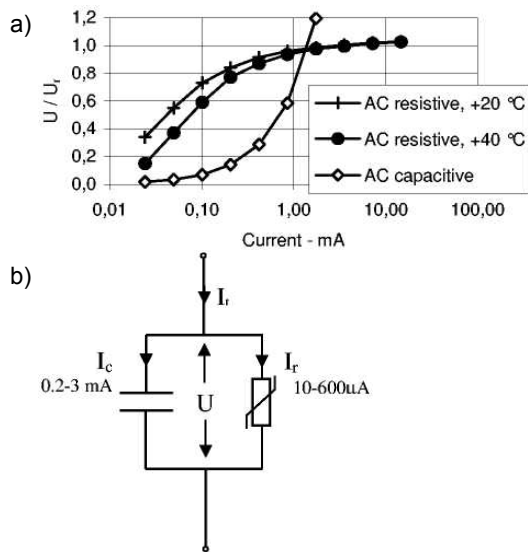
Pomimo, że ogranicznik jest stosunkowo tanim elementem, to chroni on drogie i krytyczne aparaty WN.

### Właściwości ograniczników przepięć z tlenków metali

#### Charakterystyka prądowo – napięciowa

W normalnej pracy ogranicznik udarowych przepięć z tlenków metali przepuszcza ciągły, ale niewielki prąd upływu, zwykle w zakresie 0,2÷3 mA. Prąd upływu jest zdominowany przez pojemnościową składową prądu, zaś rezystancyjna składowa może być w zakresie od 5% do 20% składowej pojemnościowej. Ponadto, składowa rezystancyjna jest zależna od temperatury i napięcia, jak

widać na typowych charakterystykach prądowo- napięciowych (rys. 2a [1]). Ogranicznik może być reprezentowany przez obwód zastępczy (rys. 2b), w którym równoważna rezystancja bloków ZnO jest nieliniowa. Ograniczniki MOS zwykle pracują przy ciągłym napięciu, równym od 50 do 80% napięcia nominalnego.



Rys. 2. Ograniczniki przepięć: a) typowe charakterystyki napięciowo-prądowe, b) schemat zastępczy ogranicznika MOS

Właściwości pokazane na rysunku 2a wskazują, że nawet duży wzrost rezystancyjnego prądu upływu  $I_r$  jest ledwo zauważalny (i w praktyce niemierzalny) w całkowitym prądzie upływu  $I_r$ . Pomiar przez system LCM rezystancyjnej składowej prądu jest zatem najlepszym sposobem uzyskania wiarygodnej informacji o stanie ogranicznika.

#### Składowe prądu upływu przy napięciu sinusoidalnym

Charakterystyka napięciowo-prądowa pokazana na rysunku 2a jest reprezentacyjna dla MOS poddanego udarowi czysto sinusoidalnemu (tylko podstawowej składowej częstotliwości). W takiej sytuacji całkowity prąd upływu  $I_r$  płynący przez warystor ZnO może zawierać różne składowe:

- składową podst. pojemnościowego prądu upływu  $I_{Ic}$ ,
- składową podst. rezystancyjnego prądu upływu  $I_{Ir}$ ,
- trzecią harmoniczną prądu rezystancyjnego  $I_{3r}$  wynikającą z nieliniowości rezystancji warystora ZnO (generowaną przez ogranicznik).

Dlatego, przy określonym napięciu i temperaturze,  $I_{3r}$  ( $i I_r$ ) odzwierciedla punkt pracy na charakterystyce prąd-napięcie ogranicznika, a zatem i zmiany wynikające ze starzenia. Zarówno  $I_r$  jak i  $I_{3r}$  mogą być użyte do mierzenia stanu ogranicznika. Do pomiarów w terenie (polu) w trójfazowej konfiguracji, jednakowoż, łatwiej jest mierzyć  $I_{3r}$  niż  $I_r$ , ponieważ pomiar  $I_r$  wymaga dokładnego pomiaru napięcia odniesienia, które jest zwykle przesunięte o 90° w stosunku do całkowitego prądu upływu. Stąd, mały błąd pomiaru w określeniu kąta pomiędzy napięciem a prądem upływu powodowałby duży błąd w pomiarze  $I_r$ . A ponieważ trójfazowe napięcia są oddzielone o 120 stopni, zmierzone napięcie na jednej fazie będzie poddane wpływowi dwóch sąsiadujących faz. Innymi słowy - pomiar  $I_r$  bezpośrednio poprzez pomiar  $I_r$  i podane napięcie na ogranicznik jest bardzo trudne w trójfazowej konfiguracji, gdy wymagane jest uzyskanie satysfakcjonującej dokładności. Jest to główną przyczyną, dla czego analiza 3. harmonicznej została wybrana jako podstawa do metody diagnostyki opisanej w artykule.

#### Efekty harmonicznych w napięciu pracy

Podczas pomiarów w polu, występują harmoniczne w napięciu i oddziałują na MOS. Pomiar w Norwegii na liniach 300-420 kV pokazały, że zawartość 3. harmonicznej typowo zawiera się w przedziale 0.2-1%. W konsekwencji, jak wynika z rysunku 2b, jest generowana trzecia harmoniczna pojemnościowego prądu upływu  $I_{3c}$ , która ma podobną wartość jak  $I_{3r}$  generowany przez ogranicznik [1]. Innymi słowy składowe harmoniczne prądu upływu dzięki oddziaływaniu harmonicznych w sieci, zawierają ich udział w generowanych składowych od ogranicznika, jeśli nie zostaną skompensowane. Powoduje to, że jeśli harmoniczne są obecne w napięciu operacyjnym i nie zostaną uwzględnione w metodzie diagnostyki, błąd oceny  $I_{3r}$  może być duży. Na przykład, jeśli zawartość trzeciej harmonicznej w napięciu wynosi 0,5% lub nawet 1%, to błąd oceny w  $I_{3r}$  będzie rzędu +/-50% do 100% odpowiednio [1]. Ponadto, ponieważ zawartość harmonicznych zmienia się z obciążeniem, a więc i w czasie, nie jest więc możliwe określenie czy widoczny wzrost rezystancyjnego prądu upływu wynika rzeczywiście ze zwiększonego zatarzenia materiału ogranicznika czy też ze zmiany zawartości harmonicznej w napięciu operacyjnym, które nie ma związku z zatarzeniem.

Rzetelne narzędzie diagnostyczne, które bazuje na pomiarze 3. harmonicznej rezystancyjnego prądu upływu musi zatem mieć możliwość automatycznej kompensacji od efektu oddziaływania harmonicznych napięcia operacyjnego. Opisany w artykule system diagnostyczny posiada pojemnościową, sondę pola elektrycznego, która pozwala na kompensację prądów harmonicznych generowanych od napięcia operacyjnego. Powoduje to, że metoda ta jest bardziej lub mniej nieczułą na harmoniczne od napięcia systemowego.

#### **Aparatura monitorująca – metoda i zastosowanie**

*Monitor Prądu Upływu – LCM* jest dostępny od wielu lat do oceny stanu MOS. System może być użyty zarówno jako jednostka przenośna do okresowych badań wszystkich MOS lub do ciągłego monitorowania określonych MOS. LCM może być również połączony z multiplekserem w celu ciągłego monitorowania wszystkich MOS na stacji. System LCM zasadniczo używany jest do testowania MOS dla systemów napięciowych w zakresie 66kV do 765kV.

#### Urządzenie przenośne do testowania podczas pracy

Rysunek 3 pokazuje urządzenie LCM II zastosowane jako jednostka przenośna do okresowego testowania podczas pracy MOS. Do takiego pomiaru wymagany jest, aby beziskernikowy MOS był zamontowany na izolującej podstawie (2). Powodem jest, iż niez izolowana podstawa pozwala na cyrkulację przepływu prądu w pętli uziemiającej stanowiącej przewód uziemiający ogranicznika i postument ogranicznika. Zatem, przy nie izolowanej podstawie pomiar całkowitego prądu upływu w przewodzie uziemiającym ogranicznika (3) nie będzie prawidłowy.

Główne elementy przenośnego systemu to (rys. 3a):

- specjalnie zaprojektowany cęgowy przetwornik prądowy CT (5) służący do pomiaru całkowitego prądu upływu  $I_r(t)$  płynącego przez przewód uziemiający ogranicznika (3). Przewód uziemiający musi być odizolowany od podestu (4), co najmniej poniżej miejsca zamontowania przetwornika CT.
- sonda pola elektromagnetycznego (antena pojemnościowa) (6) podnoszona jest na wysokość podstawy izolującej używając teleskopowego pręta (7). Sonda pola jest elektrycznie niezależna od podstawy ogranicznika, zatem odbiera pojemnościowy strumień pola od napięcia operacyjnego ogranicznika, włączając

składowe harmoniczne. Sonda pola/indukowane napięcie używane jest do pośredniego określenia 3. harmonicznej składowej pojemnościowej prądu upływu  $I_{3c}$ , co pozwala skompensować mierzony prąd od efektów harmonicznych napięcia operacyjnego.

- W sondzie prądowej (8) całkowity prąd upływu  $i_i(t)$  i indukowane napięcie w sondzie pola są mierzone a następnie mierzone napięcie przetwarzane jest na prąd sondy pola  $I_p(t)$ , proporcjonalny do indukowanego napięcia. Ponadto, sonda prądowa ma wbudowany czujnik temperatury do mierzenia temperatury otoczenia.
- Jednostka LCM II (9) dokonuje przekształceń Fouriera  $I_i(t)$  i  $I_p(t)$  dla obliczenia amplitudy rezystancyjnego prądu upływu  $I_r$ . Jednostka główna ma wbudowaną ładowalną baterię i może pracować zasilona napięciem AC i DC.



Rys 3. a) Przenośny system LCM II. 1) bezskiernikowy ogranicznik przepięć z tlenku metalu, 2) izolująca podstawa/izolator, 3) przewód uziemiający ogranicznika, 4) postument ogranicznika, 5) cęgowy przekładnik prądowy, 6) pojemnościowa antena/ czujnik pola, 7) teleskopowa podpora anteny, 8) sonda prądowa z wbudowanym czujnikiem temperatury, 9) jednostka LCM II, b) zdjęcie z badania w polu stacji (przetwornik CT musi być zamontowany nad licznikiem przepięć)

Każdy pomiar zwykle można wykonać w 10-20 sekund, samo skonfigurowanie i ustawienie przyrządu zajmuje około kilku minut. Ponadto specjalne oprogramowanie i baza danych używane są do przesyłania danych do jednostki LCM przed pomiarem, do załadowania danych pomiarowych, do sortowania i prezentowania wyników oraz

do administrowania i zajmowania się historią ogranicznika. Baza danych zbudowana jest wokół systemu unikalnie identyfikującego dla wszystkich ograniczników. Rezystancyjny prąd upływu  $I_r$  mierzony jest/obliczany w oparciu o następujące zasady:

1. Jak widać z obwodu zastępczego na rysunku 2b  $I_{3r}$  może być zmierzony poprzez odjęcie trzeciej harmonicznej prądu pojemnościowego upływu  $I_{3c}$  od trzeciej harmonicznej całkowitego prądu upływu używając fazora prądów. Prąd  $I_{3r}$  obliczany jest bezpośrednio z transformaty Fouriera  $I_r$ ,  $I_{3c}$ , jednak nie może być zmierzony bezpośrednio, ale pośrednio z innych parametrów, stosując transformację Fouriera prądu, sondy pola  $I_p$ . Jest to też klucz w metodzie kompresji offsetowej w systemie LCM II. Poprzez użycie sondy pola,  $I_{3c}$  może być zmierzony pośrednio, a poprzez odjęcie  $I_{3c}$  od  $I_{3i}$ , prądy harmoniczne generowane przez harmoniczne z napięcia operacyjnego są kompensowane. Czyni to rezultaty pomiaru bardziej lub mniej nieczułe na wpływ harmonicznych napięcia operacyjnego, co udoskonala rzetelność zmierzonych wartości i przez to jakość metody diagnostycznej.
2. Całkowity rezystancyjny prąd upływu  $I_r$  jest następnie obliczany z  $I_{3r}$  opierając się na stałej, zależnej od materiału  $K$ , dla warystorów ZnO zwanej współczynnikiem harmonicznym rezystancji. Współczynnik harmoniczny rezystancji definiuje stosunek pomiędzy  $I_r$  a  $I_{3r}$  przy temp. 20°C i  $U/U_r=0,7$  Jest on mierzony laboratoryjnie i typowo przyjmuje wartość z przedziału 4÷5. Współczynnik harmoniczny rezystancji równy 4 zastosowano jako domyślny współczynnik  $K$  w urządzeniu LCM i jest on używany, jeśli brak innej specyfikacji dla krzywych korygujących badanego ogranicznika.

Podsumowując, rezystancyjny prąd upływu  $I_r$  (wartość pik) w konfiguracji trójfazowej mierzony /obliczany jest jako [2]:

$$(1) \quad I_r = k \cdot I_{3r} = k \cdot (I_{3i} - I_{3c}) \approx k \cdot (I_{3i} - 0,75 \cdot \frac{|I_{1i}|}{|I_{1p}|} \cdot I_{3p})$$

Stała 0,75 bierze pod uwagę zmianę przestrzenną składowych pola elektrycznego w ogranicznikach bazując na ułożeniu sondy pola elektromagnetycznego [2]. Jak wynika z równania (1), jeśli występuje trzecia harmoniczna w napięciu operacyjnym, dokonana zostanie kompensacja dla generowanych harmonicznych w prądzie pojemnościowym ogranicznika  $I_{3c}$ . Jeśli brak jest trzeciej harmonicznej w napięciu operacyjnym, wtedy  $I_{3p}$  i w konsekwencji  $I_{3c}$  równe są zero, zatem  $I_{3r}$  równe jest  $I_{3i}$  tzn. nie ma potrzeby kompresji, nie jest dokonywana. Zgodnie z Załącznikiem 1 do IEC60099-5, analiza trzeciej harmonicznej z kompensacją od harmonicznej napięcia operacyjnego jest uważana za najbardziej wiarygodną technikę diagnostyki do testowania ograniczników MOS w czasie pracy na miejscu ich usadowienia.

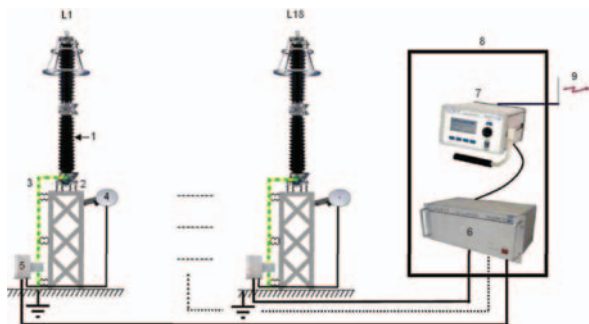
#### Efekty zmian temperatury i poziomu napięcia

Jak opisano w punkcie 2, rezystancyjny prąd upływu zależy od temperatury i napięcia operacyjnego. Wartość  $I_r$  zmierzona zgodnie z równaniem (1) nazywana jest „wartością nieskorygowaną” tzn. aktualna temperatura otoczenia i napięcie operacyjne w czasie pomiaru nie są brane pod uwagę. Zatem, najpierw temperatura otoczenia i napięcie operacyjne winno być zmierzone lub wprowadzone jako element procedury pomiaru LCM. Po drugie, odpowiednia krzywa korekcji ogranicznika dla temperatury i napięcia pracy winna być zastosowana, aby uwzględnić ich efekt w pomiarze. Czyniąc tak, wartości

zmierzonego rezystancyjnego prądu upływu przeliczone są i odniesione do tzw. *standardowych warunków odniesienia*, tj. dla temp. otoczenia 20°C i napięcia operacyjnego  $U/U_r = 0,7$ . W ten sposób, jeśli dwa pomiary, przeprowadzono w różnych warunkach temperaturowych i napięciowych, to będą mogły być bezpośrednio porównane. Przykładowo, jeśli dwa pomiary przeprowadzono odpowiednio w temperaturach 0°C i 30°C, nieskorygowane wartości mogą być różne pomiędzy nimi o więcej niż 40%; nawet, gdy po przeliczeniu wartości do temperatury 20°C winny być takie same, jak długo nie ulegnie zmianie stan ogranicznika.

#### Pomiar stanu ograniczników na bieżąco z użyciem multiplexera

System LCM wyposażony w specjalny multiplexer (LCM MUX-1) (6) do monitorowania stanów MOS na bieżąco pokazano na rysunku 4.



Rys. 4 Konfiguracja LCMII z multiplexera do monitorowania ciągłego ograniczników

Sondy pola elektroenergetycznego zamocowane są wtedy na stałe. Cęgowy przetwornik prądowy i sonda prądowa są zastąpione przez specjalny wodoszczelny element do zamontowania na stałe, na każdym ograniczniku. Multiplexer zasilony jest z urządzenia LCM II i nie może być umieszczony w pomieszczeniu lub na zewnątrz w wodoodpornej obudowie. Zdalna komunikacja zapewniona może być poprzez modem, telefon komórkowy podłączone do interfejsu RS232 urządzenia LCMII. Każdy multiplexer może monitorować 1 do 18 różnych ograniczników. Multiplexery mogą być łączone w szereg, przy większej liczbie ograniczników.

#### **Ocena ryzyka i strategia testowania**

Oceny ryzyka dla ograniczników z tlenków metali bazują głównie na śledzeniu trendu i poziomie rezystancyjnego prądu upływu w standardowych warunkach odniesienia. Trzeba podkreślić, iż dokonywanie analizy trendu w czasie jest najlepszą metodą oceny stanu ogranicznika. Jeśli prąd rezystancyjny upływu przekroczy określoną wartość progową to ma zastosowanie czterostopniowa procedura dla końcowej oceny:

1. Jeśli prąd rezystancyjny upływu jest nierealistycznie wysoki tzn. w zakresie mA i wielokrotnie przewyższa prąd MOS'ów tego samego typu, należy sprawdzić czy podstawa i przewód uziemiający są prawidłowo izolowane od postumentu, czy cęgowy przetwornik jest prawidłowo umieszczony, powyżej licznika udarów (jeśli występuje). Gdy podstawa ogranicznika, nie jest odizolowana zmierzony prąd upływu może być nieprawidłowy.
2. Rozważyć dokonanie ponownego testu w ciągu dwu dni dla potwierdzenia wysokiego odczytu. Jeśli wysoki odczyt potwierdzi się i wartość przekracza maksymalną zalecaną przez producenta wartość, postępować zgodnie z punktami 3 i 4. Powodem dokonania

ponownego testu MOS'a jest to, iż jeśli był on poddany zakłóceniom przepięciem, tuż przed pomiarem prądu, to warystor ZnO może być okresowo przegrzany (kilka godzin) z powodu zaabsorbowania energii podczas zakłócenia. Wtedy, będzie pokazywał czasowy wzrost prądu upływu, który nie koniecznie może być wynikiem zesterzenia ogranicznika.

3. Monitorować stan MOS'a w sposób ciągły, aby zaobserwować rozwój wartości rezystancyjnego prądu upływu. Jeśli rezystancyjny prąd upływu wzrasta w stosunku do już wysokiego poziomu, postępować jak w punkcie 4.
4. Skontaktować się z producentem ogranicznika i rozważyć wymianę z powodu wysokiego poziomu rezystancyjnego prądu upływu.

Wartości progowe dla rezystancyjnego prądu upływu różnią się dla różnych typów ograniczników, z powodu właściwości fizycznych (mikrostruktury itp.), również wielkości pochłanianej energii warystorów ZnO są różne. Wartości progowe dla różnych typów MOS można ustalić w różny sposób:

- Niektórzy producenci ograniczników określają tzw. *Maksymalny zalecany poziom* dla rezystancyjnego prądu upływu, dla każdego typu ogranicznika przy 20°C i ( $U/U_r=0,7$ ). Te wartości są zwykle bardzo konserwatywne, tzn. mają wkalkulowany margines bezpieczeństwa. Gdy maksymalna zalecana wartość jest określona, skorygowaną wartość  $I_r$  można porównać bezpośrednio z poziomem maksymalnym zalecanym. Typowa zalecana wartość maksymalna rezystancyjnego prądu upływu mieści się w przedziale 100-500  $\mu A$  zależnie od rodzaju ogranicznika.
  - Jeśli maksymalna zalecana wartość nie jest dostępna, ocena ryzyka lub wartość progowa dla tego typu ograniczników może być ustalona bazując na doświadczeniu z ogranicznikami w następujący sposób:
    - Przeprowadzić pomiar rezystancyjnego prądu upływu zaraz po odbiorze (instalacji) i użyć tego pomiaru jako linii bazowej dla ogranicznika. Jeśli w przyszłości zmierzony prąd ma wyższą wartość o współczynnik większy niż 3÷4 w porównaniu z poziomem bazowym, wskazuje to, że MOS osiągnął groźny poziom zesterzenia. Należy postąpić tak jak w punktach 2 do 4.
    - Jeśli wszystkie trzy ograniczniki w trójfazowej konfiguracji są tego samego typu, porównać ich rezystancyjne prądy upływu. Zwykle, jeśli jeden z nich wskazuje ciągle i istotny wzrost poziomu niż pozostałe, wskazuje to, że coś się z nim stało i należy śledzić jego zachowanie.
    - Porównać rezystancyjne prądy upływu we wszystkich ogranicznikach tego samego typu w sieci. Jeśli jeden lub kilka z nich wskazuje znacząco wyższy poziom niż pozostałe, wskazuje to na zesterzeniem, co wymaga bliższego przyglądania się im. Po drugie, jeśli pewna ilość ograniczników pokazuje niską wartość i na tym samym poziomie, to może być to użyte jako poziom dobry /akceptowany dla tego typu ogranicznika. Po trzecie, jeśli jeden lub kilka ograniczników pracuje przez tylko kilka lat, to zmierzone wartości można oczekiwać jako bliskie odczytowi linii bazowej dla tego typu.
- Podczas sytuacji awaryjnych, które generują wysoką temperaturę przepięciową, ogranicznik może uszkodzić się. Ponadto, takie przepięcia mogą wystąpić w dużej części sieci jednocześnie. W konsekwencji, duża liczba ograniczników w dużej części sieci może być poddana na takie samo lub podobne przepięcie udarowe, jak uszkodzony ogranicznik, ale bez wykazania nadwyżerzenia przy wizualnej inspekcji. Ponadto, jeśli znane jest występowanie zewnętrznego zanieczyszczenia na

obudowie ogranicznika w pewnych okresach roku, należy wtedy wykonać pomiary po takim okresie. Wszystko to wskazuje na potrzebę posiadania łatwego w użyciu, efektywnego i rzetelnego narzędzia do testowania MOS po specjalnych awaryjnych sytuacjach i po okresach ze złymi warunkami klimatycznymi dla sieci.

Biorąc pod uwagę powyższą dyskusję zalecana jest następująca strategia testowania dla MOS:

- sklasyfikować wszystkie ograniczniki (nazwa stacji, pole, linia i faza, tabliczka znamionowa, producent, typ, rok, data odbioru, itp....) dane historyczne, błędy, inne uwagi, itp.)
- ustalić poziomy progowe / maksymalne zalecane poziomy dla rezystancyjnego prądu upływu, dla każdego typu ogranicznika.
- zdefiniować progi działania (stan dobry, ponowny test, monitorowanie ciągle, wymiana).
- zdefiniować reguły testowania (normalne, częste, monitorowanie ciągle, po szczególnych sytuacjach awaryjnych).
- zdefiniować czynności weryfikujące po wymianie (test laboratoryjny, inspekcja).
- ocena pomiarów, limity dla reguł testowania, regularność mierzenia i testów weryfikujących, aby ulepszyć strategię.

Powyższy przewodnik jest zalecany do stosowania dla ustanowienia dobrych procedur testowania ograniczników. Bazując na zebranych doświadczeniach, należy zmodyfikować proponowane zasady strategii uwzględniając lokalne warunki.

### Studium przypadków

#### Przypadek 1: 420 kV MOS'y – przesył

Pojedyncze pomiary zostały wykonane dla 24 MOS trzech różnych typów w firmie przesyłowej. Wyniki pokazują rysunki 5 i 6, częściowo w odniesieniu do maksymalnej zalecanej wartości (100%). Z pomiarów wyciągnięto wnioski odnośnie stanu:

#### *Rysunek 5a.*

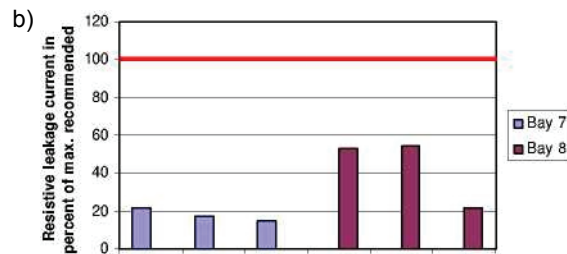
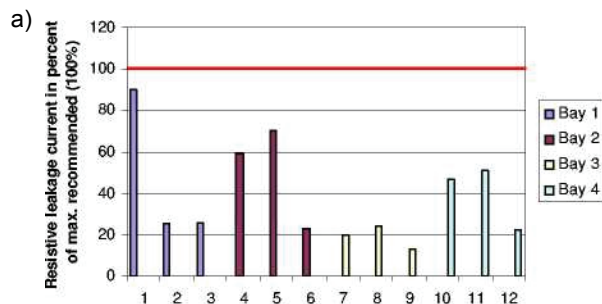
Siedem ograniczników pokazuje niski poziom rezystancyjnego prądu upływu, tj. około 20% zalecanego maksymalnego poziomu. Stan tych ograniczników jest dobry. Jeden ogranicznik pokazuje około 90% tj. wielokrotność wartości dwu sąsiednich faz, jak również w porównaniu do głównej populacji. Ta jednostka winna być poddana bliższej uwadze pod kątem wzrostu wartości, poprzez częstszy pomiar lub ciągle monitorowanie. Cztery pozostałe pokazują 45%, 50%, 60% i 70%. Szczególnie jednostka pokazująca 70% winna być testowana częściej, np. co 6 miesięcy.

#### *Rysunek 5b.*

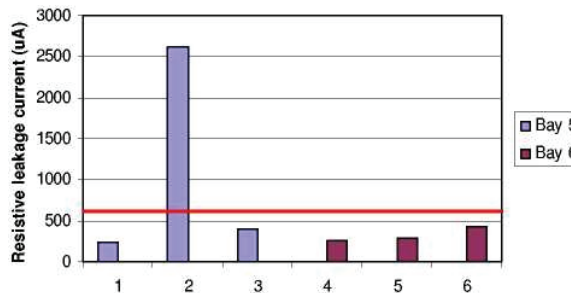
Cztery z sześciu ograniczników pokazuje około 20% tj. stan dobry. Dwa ostatnie ograniczniki pokazuje około 50-55% tj. stan satysfakcjonujący. Nowy pomiar wykonać w okresie 1-2 lata, zależnie od ich wieku.

#### *Rysunek 6.*

Jeden ogranicznik pokazuje rezystancyjny prąd upływu wielokrotnie większy niż pięć pozostałych. Nie był dostępny zalecany maksymalny poziom prądu rezystancyjnego dla tego typu, ale patrząc na pięć pozostałych, można z dużą pewnością przyjąć, że rezystancyjny prąd upływu nie powinien przekraczać 700  $\mu$ A. Jeśli podstawa izolująca i przewód izolujący zostały sprawdzone i satysfakcjonuje ich instalacja i nie występuje przegrzanie od przepięcia, to ogranicznik winien być wymieniony tak szybko jak to możliwe, pozostałe są w dobrym stanie.



Rys. 5 Wyniki badań: a) 12 ograniczników typu A na dwu różnych stacjach. Napięcie pracy faza-faza 415 kV, temp. otoczenia 26°C. b) 6 ograniczników typu B na tej samej stacji. Napięcie pracy faza-faza 415 kV, temp. otoczenia 27°C



Rys. 6. 6 ograniczników typu C na jednej stacji. Napięcie faza-faza 410 kV, temp. otoczenia 18°C

#### Przypadek 2: 145 kV MOS fabryka chemiczna

W fabryce pracowało sześć MOS 145 kV zainstalowanych pomiędzy dwoma wchodzącymi liniami napowietrznymi a stacją przełączającą. Wszystkie ograniczniki były tej samej produkcji i typu, odebrane w 1984 roku tj. z pierwszej generacji MOS. Zakład jest umiejscowiony w obszarze nadmorskim. Ograniczniki mogą więc być narażone na obecność zewnętrznych zanieczyszczeń obudowy (woda, śnieg, lód z zawartością soli), które mogą przyspieszać zesterzenie warystorów ZnO. Właściciel fabryki nie miał informacji o stanie MOS, poza tymi, że liczniki zdarzeń nie pracowały od 1989 roku i pokazywały tylko kilka zdarzeń! Właściciel nie zwracał uwagi na stan ograniczników, chociaż ewentualne odstawienie awaryjne spowodowałoby duże straty.

Pomiary rezystancyjnego prądu upływu przeprowadzono w roku 2002 tj. po osiemnastu latach pracy MOS. Pomiary wykazały, że:

- dwie jednostki miały około 130%,
- trzy jednostki miały około 90-95%,
- jedna jednostka miała około 70%

zalecanej przez producenta maksymalnej wartości rezystancyjnego prądu upływu. Innymi słowy, dwie jednostki miały rezystancyjny prąd upływu znacząco powyżej zalecanego przez producenta maksymalnego poziomu, podczas gdy trzy inne pokazały wartości bliskie maksymalnej zalecanej. Z powodu potencjalnych groźnych konsekwencji w przypadku awarii właściciel zdecydował o wymianie wszystkich sześciu. W 2004 roku sześć

wymienionych jednostek (ten sam producent, inny typ – oryginalny MOS), było przetestowane po 2 latach pracy. Wszystkie sześć pokazały prąd rezystancyjny w przedziale 35-40% zalecanej maksymalnej wartości, a więc stan ich był dobry. Nowy pomiar zalecono za dwa lata.

### Wnioski

LCM został sprawdzony jako rzetelny i wydajny system do oceny stanu beziskiernikowych ograniczników przepięć z tlenków metali podczas pracy. Przyrząd mierzy rezystancyjny prąd upływu, który płynie w warystorze ZnO, bazując na metodzie analizy 3. harmonicznej z kompensacją harmonicznym od napięcia operacyjnego. Ta metoda diagnostyki rozpoznana jest jako zalecana zarówno przez standardy, przez producentów ograniczników i użytkowników. Poprzez wdrożenie strategii diagnostyki dla ograniczników w sieci, uzyskano wsparcie umożliwiające stosowanie ograniczników w całym czasie ich życia a z drugiej strony wymieniać na czas zle i zestarzałe ograniczniki przed awarią. Pozwala to zwiększyć niezawodność zasilania, zredukować liczbę awarii i kosztów odstawień oraz zwiększyć bezpieczeństwo służb utrzymania ruchu.

### LITERATURA

- [1] IEC International Standard 60099-5, Surge arresters - Part 5: Selection and application recommendations, Edition 1.1, 2000-03.
- [2] Lundquist, J., Stenström, L., Schei, A., Hansen, B., New method for measurement of the resistive leakage currents of metal-oxide surge arresters in service, *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 5, No. 4, November 1990.
- [3] Schei, A., Hansen, B., Karijord, K. Resistive leakage current measurements on metal oxide surge arresters in service - measuring equipment and results from measurements in 145 kV and 300 kV stations, CIGRÉ Symposium, Berlin, 1993, paper no. 140-01
- [4] Leemans, P., Moolaert, G. G., Experience with leakage-current testing of 380 kV MOV surge arresters in the field, utilizing an LCM portable instrument, Doble Client Conf., 1994
- [5] Tyagi, R. K., Sodha, N. S., Jain, S. M.: Condition monitoring of surge arresters through third harmonic resistive leakage current measurement, Doble Client Conference, 2001

---

**Autorzy:** Stig Kyrkjeide, TransiNor-Doble, Norwegia; Mirosław Kuchta, EnerTest Testery i Diagnostyka sp. z o.o., ul. Lazurowa 4/98, 01-315 Warszawa, e-mail: [ernest.kuchta@op.pl](mailto:ernest.kuchta@op.pl)