



Ryszard CHYBOWSKI¹, Michał BEDNAREK², Janusz RYBIŃSKI², Adam JOKIEL²

Szkoła Główna Służby Pożarniczej, Katedra Techniki Pożarniczej (1), Katedra Nauk Ścisłych (2)

Diagnostyka termowizyjna napowietrznych beziskiernikowych ograniczników przepięć

Streszczenie. W referacie przedstawiono propozycję wykorzystania techniki termograficznej do diagnozowania napowietrznych beziskiernikowych ograniczników przepięć. Nadmierne prądy upływu występujące w warystorze zamodelowano drutem oporowym. Badania termograficzne powierzchni ograniczników wykazały możliwość wykrycia nadmiernego prądu upływu o stosunkowo małej wartości, Uzewnętrznia się on bowiem lokalnym wzrostem temperatury, co daje się zarejestrować za pomocą kamery.

Abstract. (Thermovision diagnostics of aerial gapless surge arresters). The paper presents the possibility of thermovision techniques use in diagnostics of gapless surge arresters. Excessive leakage currents appearing in varistors were modeled by resistance wire. Thermographic testing of surge arresters coat has shown the possibility of excessive leakage currents detection at relative little value. It can be registered thanks to local temperature rise of surge arresters surface what in turn be registered by thermal imaging camera.

Słowa kluczowe: termografia, ogranicznik przepięć, prąd upływu, modelowanie.

Keywords: thermography, surge arrester, leakage current, modelling.

Wprowadzenie

Beziskiernikowe ograniczniki przepięć są stosowane powszechnie do ochrony przed przepięciami urządzeń w sieciach elektrycznych. Ograniczniki te w normalnych warunkach eksploatacji muszą mieć odpowiednio dobre własności izolacyjne. Ogranicznik jest bowiem, poza krótkimi chwilami, izolatorem i nie może pobierać z sieci nadmiernego prądu. Warystor, który jest zasadniczym elementem każdego beziskiernikowego ogranicznika przepięć, może zmieniać swoje własności elektroizolacyjne. Uzewnętrznia się to poborem nadmiernego prądu upływu. Ten prąd płynący przez warystor ma zasadnicze znaczenie dla czasu życia ogranicznika oraz niezawodności sieci. Zmiana własności elektroizolacyjnej tego elementu może nastąpić na skutek oddziaływania kilku czynników: klimatycznych, zabrudzeniowych, elektrycznych czy mechanicznych.

Od chwili wprowadzenia do eksploatacji ograniczników przepięć stosuje się różnorodne metody diagnostyczne oraz wskaźniki służące do ujawniania pogorszenia się czy uszkodzenia właściwości izolacyjnych. Norma [1] wymienia metody diagnostyczne możliwe do zastosowania w praktyce. Budowa niektórych ograniczników przepięć jest przystosowana do ujawniania uszkodzeń. Są to wskaźniki uszkodzeń, które mogą stanowić integralną część ogranicznika lub oddzielny element włączony w szereg z ogranicznikiem. Wskaźniki uszkodzeń reagują z reguły na stan zaawansowanego uszkodzenia, ich działanie jest bowiem wynikiem wzrostu amplitudy i czasu trwania prądu upływu w warystorze. Niektóre ograniczniki łącznie ze wskaźnikami uszkodzeń mają możliwość odłączenia od sieci niesprawnego ogranicznika.

Większość metod diagnostycznych dotyczących ograniczników przepięć jest oparta na pomiarze prądu upływu [1]. Procedury pomiarowe tych metod można podzielić na dwie grupy: pomiary w sieci [2] oraz przy odłączonym ograniczniku. Każda z tych grup ma swoje wady i zalety. Dla służb eksploatacyjnych sieci najdogodniejsze są metody nie wymagające wyłączeń sieci.

Każde pogorszenie się właściwości izolacyjnych warystora powoduje wzrost składowej czynnej prądu upływu i strat mocy przy danej wartości napięcia

i temperatury. Zwiększone straty mocy muszą powodować nagrzewanie się elementów ogranicznika. Wynika z tego, że diagnostyka ogranicznika może być przeprowadzona za pomocą pomiarów temperatury, w tym i zdalnego pomiaru. Pomiar ten może być przeprowadzony za pomocą kamery termowizyjnej. Jest to idealne narzędzie do wykrywania anomalii temperaturowych. Diagnostyka przeprowadzana z użyciem tego urządzenia umożliwia szybkie, dokładne i bezpieczne przeprowadzenie badań. Tego typu badania mogą stać się w przyszłości podstawową metodą identyfikującą nadmierne prądy upływu nie tylko w ogranicznikach. Zdalny pomiar temperatury nie wymaga wyłączenia napięcia.

Obecnie na rynku dostępne są kamery termowizyjne przystosowane do przeprowadzania przeglądów instalacji elektrycznych. Rozwiązania tych kamer oparte są na niechłodzonych detektorach. Wykorzystanie tych detektorów umożliwiło zmniejszenie wymiarów kamer, urządzenia z tymi detektorami mają rozmiary porównywalne z typowymi kamerami wideo. Zastosowanie niechłodzonych detektorów wpłynęło również na spadek cen kamer termowizyjnych, co skutkuje coraz większą ich dostępnością. Jednocześnie, wraz z upowszechnieniem się technik termowizyjnych, powstają specjalistyczne programy komputerowe, pozwalające na tworzenie baz uzyskanych termogramów oraz na odpowiednie ich porównywanie.

Badania laboratoryjne

Do badań laboratoryjnych zostały wybrane napowietrzne beziskiernikowe ograniczniki niskiego napięcia typu GXO-LOVOS 5/660 [3] oraz średniego napięcia typu POLIM D 08 N [4] produkcji firmy ABB w Przasnyszu. Wybrano je z uwagi na względnie dużą liczbę tego typu ograniczników zainstalowanych w polskich sieciach oraz względnie dużą aktualną produkcją.

Pogorszenie własności elektroizolacyjnych ograniczników, przy założeniu braku prądu upływu po powierzchni obudowy, powoduje wydzielanie ciepła w warystorze lub na jego powierzchni. Zwiększona energia dostarczona temu elementowi spowoduje podgrzanie obudowy i w obrazie termograficznym powierzchni ogranicznika można będzie zaobserwować różnicę temperatur. Na obraz termiczny powierzchni ogranicznika nie ma wpływu to, w jaki sposób zostanie dostarczona energia do warystora lub jego

powierzchni, dlatego do zamodelowania pogorszonych własności warystora wykorzystano drut oporowy, który zwierzał elektrody ogranicznika. Dla ograniczników niskiego napięcia drut oporowy umieszczono w środku warystora (po uprzednim wywierceniu otworu) i na jego powierzchni.

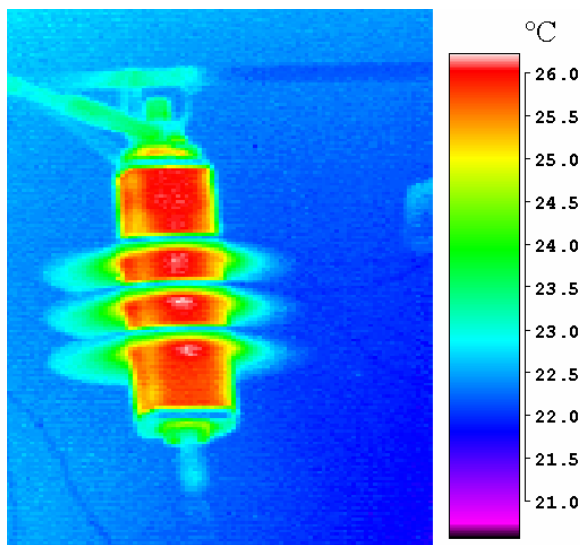
Drut umieszczony w środku warystora modelował jego uszkodzenie, natomiast umieszczony na powierzchni modelował zwiększony prąd upływu płynący po jego powierzchni, np. przy zawilgoceniu. Dla ogranicznika średniego napięcia drut oporowy umieszczono tylko na powierzchni stosu warystorowego. Nie było możliwości wywiercenia otworu przez stos warystorowy. Tak przygotowane warystory i stos warystorowy zostały umieszczone w odpowiednich wtryskarkach i zalane odpowiednimi materiałami, takimi, z jakich są wytwarzane oryginalne ograniczniki [5].

Głównym celem diagnostyki jest jak najwcześniejsze wykrycie i zlokalizowanie defektu, dlatego w badaniach założono, że będzie poszukiwany i analizowany obraz termograficzny powierzchni ogranicznika przy względnie małej mocy wydzielonej w warystorze lub na jego powierzchni. Dla ograniczników niskiego napięcia wynosiła ona: 0,15 W, 0,30 W, 0,45 W, a dla ogranicznika średniego napięcia: 0,32 W, 0,75 W i 1,5 W. Moc wydzielona w drucie oporowym była regulowana za pomocą autotransformatora.

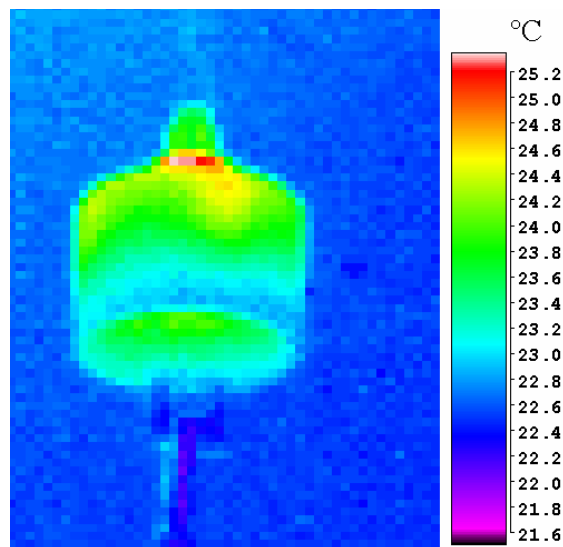
W badaniach wykorzystano kamerę termowizyjną Radiance HSX firmy Raytheon, która rejestruje promieniowanie podczerwone w zakresie spektralnym 3-5 μm . Współpracuje ona z modulem termograficznym programu Image Desk II. Badane ograniczniki umieszczono w odległości około 2 m od kamery i były one na wysokości około 1 m w stosunku do kamery. Przed przystąpieniem do badań przeprowadzono kalibrację kamery z zachowaniem odpowiedniej procedury. Po włączeniu napięcia na zaciski ogranicznika pomiary były przeprowadzone z opóźnieniem (90min \pm 120min). Czas ten był potrzebny na ustabilizowanie się temperatury.

Analiza wyników badań

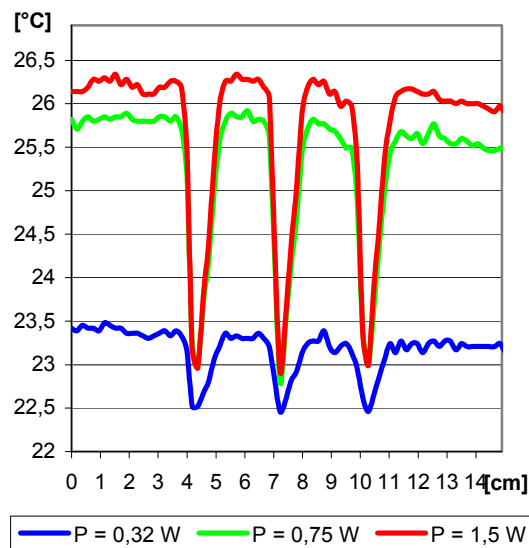
Typowe obrazy termograficzne uzyskane podczas badań przedstawione są na rysunkach 1 i 2.



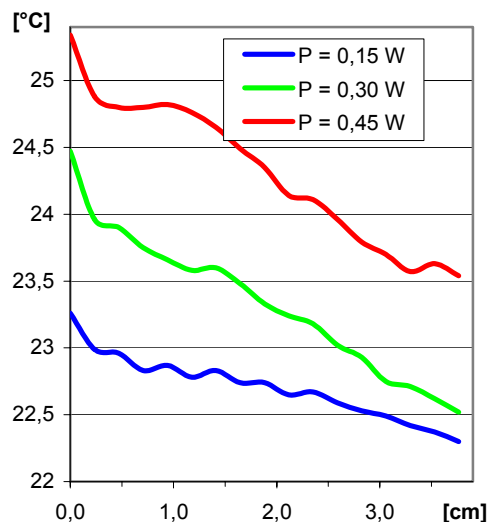
Rys. 1. Typowy obraz termograficzny powierzchni ogranicznika POLIM D 08 N ($P = 1,5 \text{ W}$) uzyskany podczas badań



Rys. 2. Typowy obraz termograficzny powierzchni ogranicznika GXO-LOVOS 5/660 ($P = 0,45 \text{ W}$) uzyskany podczas badań



Rys. 3. Rozkład temperatury na powierzchni ogranicznika POLIM D 08 N wzdłuż osi symetrii



Rys. 4. Rozkład temperatury na powierzchni ogranicznika GXO-LOVOS 5/660 wzdłuż osi symetrii

W obrazie termograficznym występują zasadnicze różnice między dwoma typami badanych ograniczników. Zostało to pokazane na rysunkach 3 i 4 za pomocą rozkładu temperatury wzdłuż osi symetrii tych ograniczników.

W przypadku ogranicznika średnich napięć występuje w zasadzie identyczna temperatura całego pnia izolatora. Oczywiście klosze tego izolatora mają inną temperaturę. Brak jest różnic temperaturowych między stosami warystorowymi a metaliczną wkładką emitującą jeden stos warystorowy. Cechą charakterystyczną obrazów termograficznych ogranicznika średniego napięcia jest stosunkowo mała temperatura zacisków łączeniowych. Prawdopodobnie wynika to ze stosunkowo dużej masy tych elementów.

Obrazy termalne wykonane z różnych stron ogranicznika średnich napięć (po obrocie jego o 90°) nie wykazały różnic w rozkładzie temperatur powierzchni. W jednym przypadku w obrazie termalnym tego ogranicznika (dla mocy $P = 1,5 \text{ W}$) można zauważyć drut oporowy. Różnica temperatur na powierzchni, pod którą umieszczono ten drut, wynosiła około 1°C. Ten fakt może być spowodowany częściowym przepuszczeniem promieniowania podczerwonego przez materiał izolacyjny.

W obrazie termograficznym ograniczników niskich napięć najwyższa temperatura występuje w górnej części. Dolną część tego ogranicznika można uważać za klosz i dlatego ma on temperaturę znacznie niższą. Brak jest różnic w obrazach termalnych wykonanych z różnych stron (dla ogranicznika n.n. z drutem oporowym umieszczonym na powierzchni warystora). Nie występują różnice w obrazach termograficznych między ogranicznikami z drutem oporowym w warystorze i na jego powierzchni.

Podsumowanie

Kamera termowizyjna może być doskonałym narzędziem diagnostycznym ograniczników przepięć. Oczywiście, istnieją uwarunkowania diagnostyczne oraz musi być opracowane kryterium umożliwiające jednoznaczne stwierdzenie uszkodzenia warystorów. Takie kryterium, które będzie różne dla różnych typów ograniczników, musi uwzględnić podgrzewanie warystora przez znamionową moc strat warystora. Ta moc, według [1], może osiągnąć wartości porównywalne z przyjętymi do badań.

Napowietrzne urządzenia elektryczne są narażone na wszelkiego typu zanieczyszczenia. Stan powierzchni ograniczników ma wpływ na pomiar temperatury. W pracy [6] wykazano, że miejscowe braki zanieczyszczeń powodujące lokalne zmiany współczynnika emisyjności powierzchni są przyczyną błędnego wyznaczania temperatury za pomocą urządzeń termograficznych, mogą więc prowadzić do błędnego zdiagnozowania stanu ogranicznika.

W badaniach termowizyjnych napowietrznych urządzeń istotne są czynniki atmosferyczne wpływające na stan powierzchni. Z reguły nie przeprowadza się tego typu badań przy powierzchniach nasłonecznionych. Istotny jest również wpływ wiatru, który może radykalnie zniekształcić pomiar.

Przeprowadzone badania wykazały, że moc rzędu kilku dziesiątych części wata wydzielona w warystorze pozostawia ślad cieplny na powierzchni ogranicznika. Na obraz termiczny powierzchni ogranicznika nie ma wpływu miejsce wydzielania energii. Obrazy były prawie identyczne, zarówno wówczas kiedy energia była dostarczona do środka warystora, jak i na jego powierzchnię. Uzyskano bardzo dobre technicznie obrazy dla ogranicznika średniego napięcia. W badaniach obrazy termograficzne ograniczników niskiego napięcia były gorszej jakości. Powierzchnie podgrzewane w tych ogranicznikach są względnie małe i w znacznej części trudno widoczne przez kamerę.

LITERATURA

- [1] PN-EN 60099-5: 1999/A1 Ograniczniki przepięć. Zalecenia wyboru i stosowania.
- [2] Komorowska I., Papliński P., Diagnostyka ograniczników przepięć pod napięciem sieciowym, *Biuletyn Instytutu Energetyki* (2002), nr 2.
- [3] Ograniczniki przepięć typu GXO-LOVOS-5/10kA, Karta katalogowa LVA/06/01 ABB sp. z o. o., Przasnysz.
- [4] Ograniczniki przepięć z tlenków metali typu POLIM D, Karta katalogowa ABB sp. z o. o., Przasnysz.
- [5] www.abb.pl
- [6] Chybowski R., Rybiński J., Bednarek M., Badania za pomocą kamery termowizyjnej błędów występujących przy pomiarach izolowanych przewodów elektrycznych, *Materiały VIII Symposium „Problemy eksploatacji układów izolacyjnych wysokiego napięcia” EU1'01*, Zakopane, 18-20 października 2001.

dr inż. Ryszard Chybowski, mgr Michał Bednarek, prof. dr hab. Janusz Rybiński, inż. Adam Jokił, Szkoła Główna Służby Pożarniczej, ul. J. Słowackiego 52/54, 01-629 Warszawa, e-mail: mbed@sgsp.edu.pl; j.rybinski@interia.pl