

Maciej JAROSZEWSKI, Janina POSPIESZNA, Marcin PIETRUSEWICZ

POLITECHNIKA WROCLAWSKA

INSTYTUT PODSTAW ELEKTROTECHNIKI I ELEKTROTECHNOLOGII

Ocena odporności warystorów tlenkowych na narażenia udarowe

Dr inż. Maciej JAROSZEWSKI

Kierownik Laboratorium Wysokich Napięć. Autor około 50 publikacji z zakresu badań materiałowych oraz diagnostyki urządzeń wysokiego napięcia.



e-mail: maciej.jaroszewski@pwr.wroc.pl

Dr hab. inż. Janina POSPIESZNA

Kierownik Zakładu Wysokich Napięć. Autor około 60 publikacji z zakresu badań materiałowych i kompatybilności elektromagnetycznej.



e-mail: janina.pospieszna@pwr.wroc.pl

Streszczenie

Warystory ograniczników przepięć ulegają w trakcie eksploatacji procesom starzeniowym. Czynnikiem narażenia są: napięcie robocze przemienne lub stałe, przepięcia, wyładowania niezupełne. Proces degradacji prowadzi do zwiększenia wydzielanej energii i tym samym do podwyższenia temperatury warystorów i wzrostu prądu przewodzenia. W pracy przedstawiono wyniki badań zmian degradacyjnych warystorów narażonych na oddziaływanie udarowe. Warystory poddawane były oddziaływaniu serii impulsów, o liczbie zwiększanej w kolejnych etapach starzenia.

Słowa kluczowe: warystor, udar, charakterystyka napięciowo-prądowa.

Assessment of oxide varistor resistance to pulse hazard

Abstract

The paper presents the effect of multiple impulse voltages on electrical properties of a zinc oxide (ZnO) varistor. The multiple impulse sequences were generated by a combination wave generator delivering a standard impulse voltage wave of 10/800 μ s and, at the short-circuited output, a standard impulse current wave of 8/40 μ s. Varistors were exposed to a series of impulses, repeated every 5 seconds, with a peak voltage value equal to five times value of the reference voltage. Changes in the voltage-current characteristics were measured at DC voltage supply. The measurements of these characteristics were taken immediately after the ageing process and then after 15 and 30 minutes since the end of pulse ageing. The durability of the observed ageing changes was studied using the additional measurement of the voltage-current characteristics after 65 hours since the completion of ageing. The test results show that the increase in the number of impulses in the series causes the visible reduction in the reference voltage U_{1mA} . These changes are not of lasting nature - the reference voltage value grows with the time since the end of the aging and after a significant length of time (Fig. 2) reaches the value similar to that characterizing a new varistor (Fig. 1). The greater number of impulses in the series, the smaller reference voltage in the steady state, that is after ceasing the degradation process, as shown in Fig. 3. In this case, a longer time is needed to achieve the initial reference voltage U_{1mA} . This means that the phenomenon of return is slower. The observed degradation and partial return to the initial varistor characteristics can be related to the processes of absorption and desorption of oxygen ions on grain boundaries [3, 4]. These ions are least connected with the varistor structure. In state of degradation and partial or total return to the initial state they are transported along the borders of ZnO grains and the intergranular phase.

Keywords: varistor, pulse, voltage-current characteristic.

1. Wprowadzenie

Warystory ograniczników przepięć ulegają w trakcie eksploatacji procesom starzeniowym zmieniając swoje właściwości początkowe. Czynnikiem narażenia są: napięcie robocze (najczęściej przemienne lub stałe), przepięcia, czynniki środowiskowe (ozon,

tlenki azotu i inne gazy, wilgoć, olej, temperatura, ciśnienie) i wyładowania niezupełne. Procesy degradacji prowadzą do zwiększenia energii elektrycznej wydzielanej w warystorach i tym samym do podwyższenia ich temperatury. Ze względu na ujemny temperaturowy współczynnik rezystancji ceramiki tlenkowej może to prowadzić do zainicjowania zjawiska tzw. „rozbiegu cieplnego” i zniszczenia warystora.

Badania zmian degradacyjnych wywołanych oddziaływaniem narażeń udarowych, jakie przedstawia literatura światowa, dotyczą przede wszystkim oddziaływań prądów udarowych o wartościach poniżej znamionowego prądu wyładowczego. Badania te koncentrują się na próbach wyjaśnienia w jaki sposób na starzenie materiału warystorów wpływają [1, 2]:

- parametry czasowe udaru,
- amplituda udaru,
- odstęp czasowy między udarami,
- ilość udarów w serii,
- technologia wytwarzania warystorów.

Do oceny tych zmian autorzy stosują bardzo szeroki wachlarz metod pomiarowych [3-7]:

- pomiary prądu przewodzenia,
- pomiary mocy,
- pomiary napięcia obniżonego,
- metoda prądów termicznie stymulowanych,
- metoda spektroskopii dielektrycznej,
- metoda dyfrakcji rentgenowskiej,
- mikroskopia elektronowa,
- DLTS (spektroskopia głębokich poziomów).

Obserwacje mikrostruktury warystorów wykazują, że wynikiem oddziaływaniu udarów jest zmniejszenie średnich wielkości ziaren, zmiana położenia piku dyfrakcyjnego i udziału procentowego składników ceramiki w stosunku do warystora nowego [5, 8]. Według autorów możliwym wyjaśnieniem obserwowanych zjawisk jest niejednorodny rozkład temperatury w materiale, którego przyczyną jest inicjowanie i rozwój tzw. gorących miejsc (hot-spots). W tych obszarach podczas przepływu prądu udarowego tworzy się plazma, w której dochodzi do rozpuszczenia się pewnych faz materiału. Plazma ta gwałtownie się oziębia na skutek odprowadzania ciepła do otoczenia, które tworzą ziarna tlenku cynku. W ten sposób formuje się faza amorficzna.

Faza amorficzna dwójako oddziałuje na przewodność. Jeśli faza ta posiada niską rezystywność, całkowita rezystancja warystora może się zmniejszyć w zakresie niskich napięć. Może to prowadzić do wzrostu prądu przewodzenia. Materiał amorficzny może dodatkowo tworzyć ścieżki dla szybkiej dyfuzji tlenu i stąd również powodować zwiększenie prądu przewodzenia.

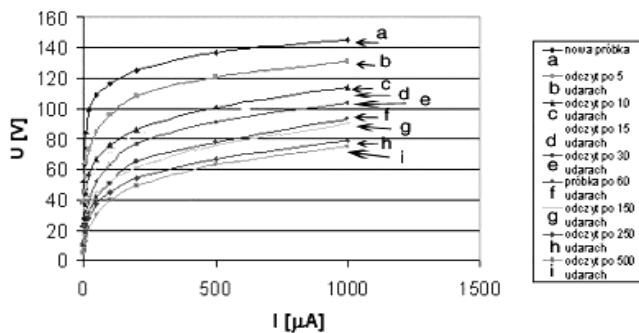
2. Wyniki badań

Badania wykonano na próbkach wyciętych z komercyjnych warystorów stosowanych w wysokonapięciowych ogranicznikach przepięć. Na tak otrzymane próbki - o grubości 1 mm - naniesiono aluminiowe elektrody. Do pomiarów wykorzystane zostały próbki warystorów tlenkowych o zbliżonych parametrach wyjściowych. Starzenie warystorów odbywało się w układzie generatora fali kombinowanej, generującego udar napięciowy o kształcie 10/800 μ s i udar prądowy o kształcie 8/40 μ s. Warystory poddawane były oddziaływaniu serii impulsów o wartościach szczytowych równych pięciokrotnej wartości napięcia odniesienia. W kolejnych etapach starzenia zwiększano liczbę impulsów. Odstępy czasowe pomiędzy poszczególnymi impulsami ustalono na 5 s. Parametrem do oceny zjawisk starzeniowych zachodzących pod wpływem narażeń udarowych były zmiany w przebiegach charakterystyk napięciowo-prądowych mierzonych przy napięciu stałym.

Pomiar charakterystyk U-I wykonywano bezpośrednio po starzeniu a następnie po 15 i 30 minutach od zakończenia starzenia udarami. Trwałość obserwowanych zmian starzeniowych badano wykonując dodatkowy pomiar charakterystyki U-I po 65 godzinach od zakończenia starzenia.

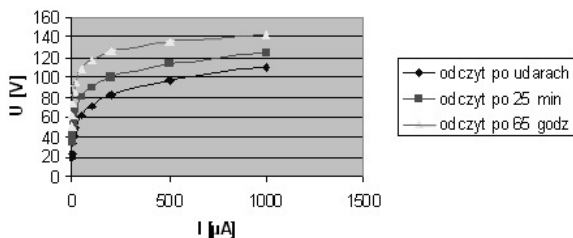
Na rysunku 1. przedstawiono zmiany charakterystyk U-I warystorów w wyniku oddziaływania serii udarów o różnej liczbie impulsów.

Jak widać, zwiększenie liczby udarów w serii powoduje wyraźne zmniejszenie wartości napięcia odniesienia U_{1mA} (zwiększenie wartości prądu przewodzenia). Zmiany te nie mają jednak charakteru trwałego - ze wzrostem czasu od zakończenia starzenia wartość napięcia odniesienia przy prądzie 1 mA (U_{1mA}) rośnie i po odpowiednio długim czasie (rys. 2) osiąga wartości zbliżone do wartości charakteryzujących nowy warystor (rys. 1).



Rys. 1. Zmiany charakterystyki U-I przy napięciu stałym dla warystorów starzonych seriami udarów

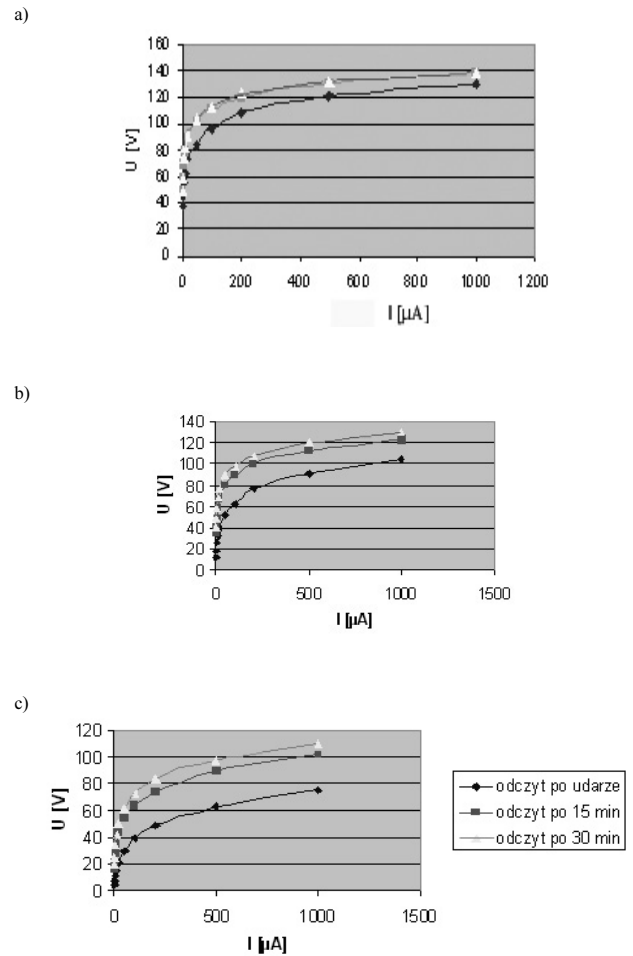
Fig. 1. Changes in U-I characteristics at DC voltage for varistors ageing by pulse series



Rys. 2. Powrót charakterystyki U-I (napięcie stałe) warystora starzonego serią 15 udarów

Fig. 2. U-I characteristic recovery (DC voltage) for varistor ageing by 15 pulse series

W miarę zwiększania liczby udarów w serii wartości napięcia odniesienia odczytywane w ustalonym czasie po zaprzestaniu oddziaływania degradującego mają tendencję malejącą, co pokazano na rys. 3. W tym przypadku potrzebny jest dłuższy czas na osiągnięcie wartości początkowej napięcia odniesienia U_{1mA} (wartości uzyskiwanej dla próbki nie starzonej). Oznacza to, że zjawisko powrotu następuje wolniej.



Rys. 3. Powrót charakterystyki U-I (napięcie stałe) warystora starzonego serią: a) 5 udarów, b) 30 udarów, c) 500 udarów

Fig. 3. U-I characteristic recovery (DC voltage) for varistor ageing by: a) 5 pulse series, b) 30 pulse series, c) 500 pulse series

3. Podsumowanie

Warystor narażony w trakcie eksploatacji na oddziaływanie impulsów przepięciowych może ulegać degradacji, której obrazem są zmiany jego charakterystyki napięciowo-prądowej U-I. Zmiany te, polegające na wzroście prądu upływowego, powodują zwiększenie wydzielanej mocy i mogą doprowadzić do zniszczenia warystora na skutek zachwiania jego równowagi cieplnej, szczególnie, gdy weźmie się pod uwagę równoczesne oddziaływanie napięcia robocznego.

Wielkość degradacji rośnie ze wzrostem liczby impulsów w serii. Po odłączeniu oddziaływania degradującego w temperaturze pokojowej obserwuje się powrót charakterystyki napięciowo-prądowej do stanu zbliżonego do stanu wyjściowego.

Obserwowaną degradację i częściowy powrót do charakterystyki wyjściowej warystora można wiązać z procesami desorpcji i absorpcji jonów tlenu na aktywnych dla przewodnictwa granicach ziaren ZnO-ZnO [9, 10]. Za udziałem jonów tlenu przemawia to, że są to jony najsłabiej związane z strukturą warystora. W warunkach degradacji i częściowego powrotu

do stanu wyjściowego są transportowane wzdłuż granic ziaren ZnO i przez fazę międzyziarnową.

4. Literatura

- [1] S. Harasym; Degradation of the ZnO Surge Arrester Voltampere Characteristics under the Combined Influence of Alternate and Impulse Currents, High Voltage Engineering Symposium, 22-27 August 1999, Conference Publication, No. 467, 1999, pp. 345-348.
- [2] M. R. Meshkatoddini, Investigation of the Influence of the ZnO Varistor Preparation Method on its Characteristics, Conference Record of the IEEE International Symposium on Electrical Insulation, 8 – 11 June 2008, pp. 320-323.
- [3] Wei-I Lee and Ruey-Ling Young; Defects and degradation in ZnO varistor; Appl. Phys. Lett. 69 (4), 22 July 1996, pp. 526-528.
- [4] Choon-woo Nahm; Nonlinear electrical properties and DC-accelerated aging characteristics of Dy₂O₃-doped ZnO-Pr₆O₁₁-based varistors; Materials Letters 58 (2004) pp. 3358– 3361.
- [5] K. P. Mardira, T. K. Saha R. A. Sutton; Investigation of Diagnostic Techniques for Metal Oxide Surge Arresters; IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation Vol. 12; No. 1; February 2005, pp.50-59.
- [6] A. Gubański, M. Jaroszewski; Zmiany prądów TSD zdegradowanych warystorów ZnO; Postępy w elektrotechnologii. III Konferencja naukowa, Szklarska Poręba, 8-11 września 1998. Wrocław : Oficyna Wydaw. PWroc., 1998. s. 131-132.
- [7] Hui-feng Li Shi-liang Wang, Yu-chun Xu; Degradation of ZnO Varistor and its Dielectric Relaxation; Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena; 1993, Annual Report, pp 544-549.
- [8] K.P. Mardira, T.K. Saha, R.A. Sutton; The Effects of Electrical Degradation on the Microstructure of Metal Oxide Varistors; Transmission and Distribution Conference and Exposition, 2001 IEEE/PES, pp. 320-334.
- [9] Hozer L. Metal-oxide varistor Semiconductor Ceramics: Grain Boundary Effects, Poland: Polish Scientific Publishers, 1994, 44-109.
- [10] H.S. Domingos, J.M. Carlsson, P.D. Bristowe, B. Helling, The Formation of Defect Complexes in a ZnO Grain Boundary, Interface Science, 12, 2004, 227-234.

Artykuł recenzowany

INFORMACJE

TargiKielce

PNEUMICON

II Targi Pneumatyki, Hydrauliki, Napędów i Sterowań

3-5.03.2009

Kielce

Patronat medialny:

Targi Kielce, ul. Zakładowa 1, 25-672 Kielce
 Menedżer Targów - Joanna Adamczyk, tel. 041 365 12 14, fax 041 365 13 13, e-mail:adamczyk.j@targikielce.pl

www.pneumicon.targikielce.pl