

Janusz BANDEL  
Witold MIELCAREK  
Henryk SIBILSKI

# WPLYW MODYFIKACJI WARYSTORÓW DO OGRANICZNIKÓW PRZEPIĘĆ TYPU SPD NA ROZKŁAD KONDUKTYWNOŚCI I NA CHARAKTERYSTYKI PRZEWODZENIA

**STRESZCZENIE** *Zapotrzebowanie na warystory do ograniczników przepięć jest bardzo duże, zarówno do ograniczników typu SPD jak i stosowanych na wyższe napięcia znamionowe. Głównym celem jest opracowanie nowej generacji nanostruktur, która zapewni jednorodny rozkład konduktywności na całej płaszczyźnie warystora. To umożliwi zmniejszenie wymiarów warystorów, przy równoczesnej poprawie jakości użytego materiału. Równocześnie możliwe będzie modelowanie charakterystyk prądowo-napięciowych przy większej gęstości prądu przewodzenia.*

**Słowa kluczowe:** ograniczniki przepięć, warystory, konduktywność, charakterystyka prądowo napięciowa

## 1. WSTĘP

---

Warystory do ograniczników przepięć typu SPD produkowane są na bardzo dużą skalę. Jakość produkowanych warystorów ma duże znaczenie dla zapewnienia niezawodnego działania ograniczników. Często przyczyną uszkodzeń ograniczników jest nierównomierny rozkład płynącego przez warystor prądu. W tych przypadkach największy prąd płynie tylko w miejscach o największej konduktywności. Powoduje to nadmierne przegrzewanie tych miejsc i uszkodzanie warystora. Miejsca na płaszczyźnie warystora o większej konduktywności są bardzo narażane podczas przepływu

---

**mgr inż. Janusz BANDEL, dr hab. inż. Witold MIELCAREK, prof. IEL**  
**prof. dr hab. inż. Henryk SIBILSKI**  
e-mail: [j.bandel; w.mielcarek; sibilski]@iel.waw.pl

Instytut Elektrotechniki,  
ul. M. Pożaryskiego 28, 04-703 Warszawa

PRACE INSTYTUTU ELEKTROTECHNIKI, zeszyt 270, 2015

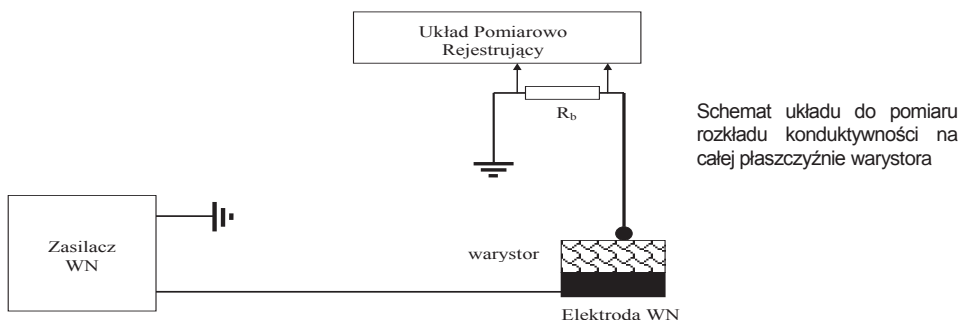
prądu udarowego [7, 8]. Następuje, w tych miejscach, szybsze otwieranie kanałów przewodzenia, wzrost prądu i spadek wytrzymałości warystora. Może to prowadzić również do lokalnego niszczenia metalizacji wykonanej na płaszczyznach czołowych warystora, zwłaszcza przy ogranicznikach na wyższe napięcia znamionowe. Przy lokalnym wzroście prądu można również spodziewać się zwiększenia naprężeń mechanicznych materiału płytki i pęknięć. Dlatego należy dążyć do zapewnienia równomiernego rozkładu przewodzenia prądu przez całą płaszczyznę warystora.

W pracy podjęto badania dla poprawy rozkładu konduktywności na całej płaszczyźnie warystorów przez wprowadzenie do struktury warystora tlenków z dodatkiem Sb, Mn, Sn, Si i Al. Zdecydowaną poprawę rozkładu konduktywności uzyskano przez wprowadzenie tlenku cyny Sn oraz krzemu Si jak również tlenku aluminium Al.

## 2. BADANIA PRZEWODNOŚCI KOMERCYJNYCH WARYSTORÓW DO OGRANICZNIKÓW PRZEPIĘĆ

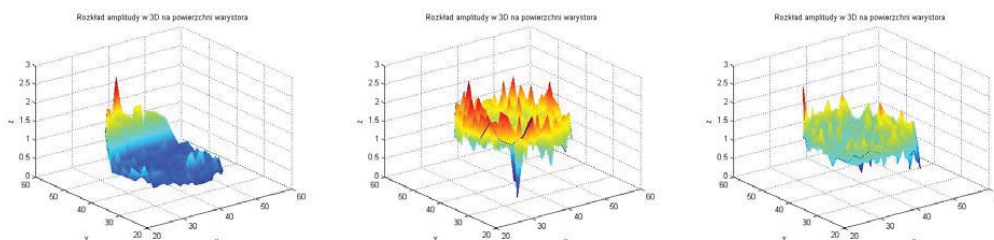
W celu uzyskania równomiernego rozkładu przewodzenia prądu, przez całą płaszczyznę warystora, podjęto badania zmierzające do zmiany struktury warystora przez domieszkowanie różnych tlenków metali.

Wstępnie wykonano pomiary konduktywności 2 partii, po trzy sztuki, warystorów komercyjnych, które zostały losowo wybrane, odpowiednio przygotowane do badań, polegające na zastosowaniu jednostronnej metalizacji warystora. Badania wykonano stosując do tego celu opracowany i wykonany w Instytucie Elektrotechniki punktowy rejestrator konduktancji, którego schemat pokazano na poniższym rysunku 1 wykonujący automatycznie pomiary po stronie niemetalizowanej, co jeden milimetr w płaszczyźnie poziomej i pionowej. Napięcie doprowadzano do elektrody o kształcie kulki o średnicy 0,5 mm, która przesuwa się napędzana silnikiem liniowym i na czas trwania pomiaru zatrzymuje się. Pomiary wykonywane były od strony niemetalizowanej badanego warystora względem jego strony przeciwnej pometalizowanej i uziemionej.

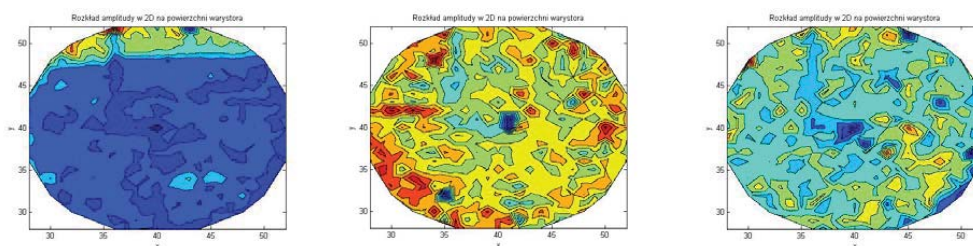


Rys. 1. Schemat punktowego rejestratora konduktywności na całej powierzchni (przewodności skrośnej) warystora

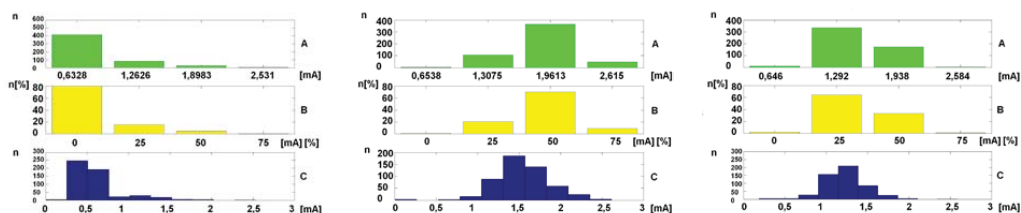
Badania wykazały, że dostarczone przez producentów warystory nie przewodzą prądu jednakowo we wszystkich punktach pomiaru konduktywności i na płaszczyźnie warystora. Pewne różnice między wynikami pomiarów, np. na krawędziach warystora w stosunku do punktów centralnych warystora mogą występować z uwagi na różne drogi przewodzenia. Jednakże przewodzenie odbywa się jedynie punktowo, i w pewnych miejscach jest bardzo duże przyczym są też obszary, w których przewodzenie jest bardzo małe. Wyniki badań rozkładu konduktywności pokazano na rysunkach 2 i 3.



Rozkład amplitudy w 3D konduktywności (przewodzenia skrośnego) warystora



Rozkład amplitudy w 2D konduktywności (przewodzenia skrośnego) warystora

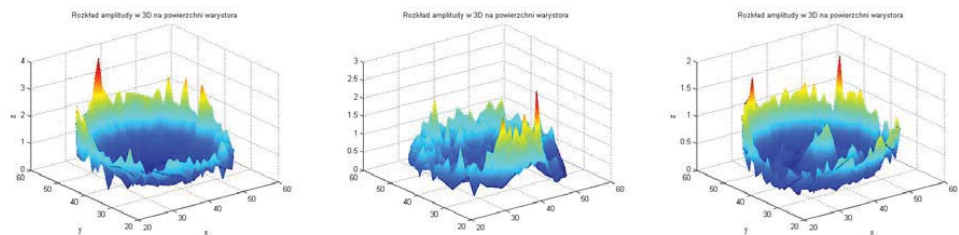


Oznaczenia:

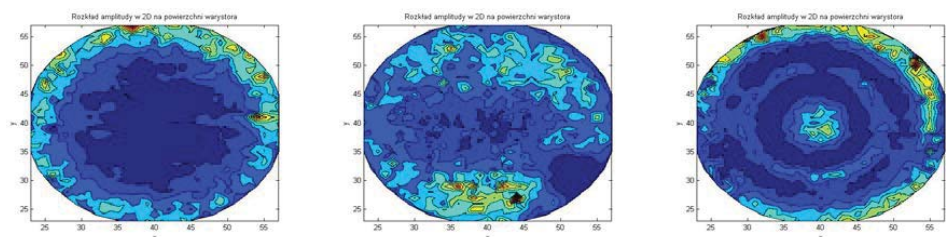
- A – wykres liczba punktów przewodzenia prądu w zależności od ich amplitudy;
- B – procentowa liczba punktów przewodzenia prądu w zależności od amplitudy;
- C – histogram (liczba punktów przewodzenia prądu w zależności od ich amplitudy).

Warystory komercyjne – rozkłady konduktancji (przewodności) przy napięciu 932 V – siatka pomiarowa co 1 mm – odstęp czasowy pomiędzy pomiarami 2 s

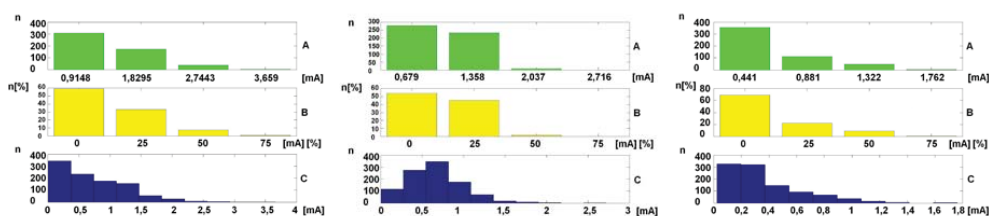
**Rys. 2. Wyniki pomiarów konduktywności warystorów komercyjnych**



Rozkład amplitudy w 3D konduktywności przewodzenia skośnego warystora



Rozkład amplitudy w 2D konduktywności (przewodzenia skośnego) warystora



Oznaczenia jak na rysunku 2

Warystory komercyjne typu y – rozkład przy napięciu 982 V – siatka pomiarowa co 1 mm – odstęp czasowy pomiędzy pomiarami 2 s

### Rys. 3. Wyniki pomiarów konduktywności warystorów komercyjnych

Przedstawione wyżej rezultaty pomiarów wykazały nierównomierny rozkład konduktywności. W niektórych miejscach na płaszczyźnie warystora przewodzenie prądu było punktowe, w innych obejmowało większe powierzchnie (por. rys. 3), przy czym na znacznej części powierzchni warystora przewodzenie prądu było bardzo ograniczone.

Jak wynika z literatury i badań własnych w typowych materiałach ceramicznych o nieliniowej charakterystyce prądowo napięciowej występują aglomeraty zbudowane z fazy bogatej w tlenek bizmutu, stanowiące nieaktywne elektrycznie obszary wyłączone z pracy warystora. Tego typu wady generują nierównomierny rozkład ścieżek przepływu prądu prowadzący do powstawania lokalnego przegrzania i pęknięć, co w efekcie prowadzi do przebicia materiału.

Warystory o malejącej wraz ze wzrostem napięcia rezystancji ochraniające, zarówno urządzenia elektroniczne, jak też sieci energetyczne, przy dwukrotnym wzroście napięcia na warystorze następuje ponad milionowy wzrost prądu upływu – z ułamków miliamperów do kiloamperów. Swoje unikalne właściwości, jako elementów wykonanych z ceramiki z domieszkowaniem tlenku cynku, zawdzięczają specyficznej mikrostrukturze, w której kilkunastomikrometrowe ziarna tlenku cynku są rozdzielone nanometrową, lub cieńszą, warstwą domieszkowanego tlenku bizmutu. Powoduje to powstanie maksymalnie kilkuwoltowej bariery potencjału rozdzielającej poszczególne ziarna tlenku cynku. Liczba tych barier zawartych między elektrodami stanowi o napięciu warystora. Jednak dotychczas produkowane warystory charakteryzują się występowaniem znacznych obszarów (około 20% objętości) wykluczonych z przewodzenia prądu. Są to pory i obszary między-ziarnowe zawierające spinel antymonowocynkowy oraz tlenek bizmutu. Nadwyżka domieszki jest tu jednak konieczna dla właściwego przesylenia granic ziaren. Celem badań będzie zminimalizowanie części warystora nieaktywnej elektrycznie. Umożliwiłoby to poprawę właściwości energetycznych warystora. Można to uzyskać na drodze modyfikacji właściwości penetracyjnych tlenku bizmutu innymi domieszkami, ze szczególnym uwzględnieniem właściwości wysokoprądowych i odporności na prądy udarowe.

Głównym celem opisanych badań jest opracowanie nowego materiału ceramicznego, w którym przepływ prądu pod wpływem przyłożonego napięcia odbywałby się przez całą objętość materiału przy równoczesnym zachowaniu wymaganego kształtu charakterystyki prądowo-napięciowej. Materiał taki o jednolitej strukturze nie prowadziłby do uszkodzeń w warunkach przepływu prądu. Przewiduje się szerokie zastosowanie wspomnianego materiału w indukcyjnych przekładnikach prądowych, w ogranicznikach napięcia jak i w układach niskiego napięcia.

### 3. BADANIA CHARAKTERYSTYK PRĄDOWO-NAPIĘCIOWYCH

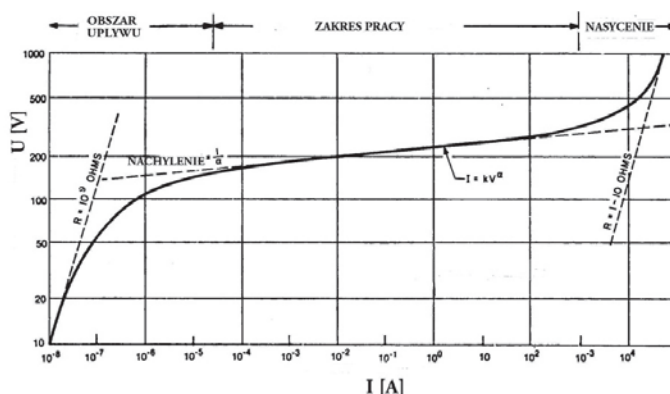
---

Obecnie stosowane materiały ceramiczne wykonywane są z domieszkowanego tlenku cynku, o silnie malejącej rezystancji w funkcji napięcia. Przy wzroście napięcia o 50% prąd upływu wzrasta milion razy. Materiał ten charakteryzuje znaczna zdolność pochłaniania energii, proporcjonalna do masy, wynikająca z dużego ciepła właściwego ceramiki. Istota działania polega na występowaniu stref granicznych między ziarnami wytwarzające 3,5 V bariery potencjału. Napięcie pracy jest sumą spadków napięć na poszczególnych strefach granicznych między ziarnami. Charakterystykę przewodzenia prądu dla typowego materiału zmiennooporowego przedstawiono na rysunku 4.

W charakterystyce I-U tego materiału wyróżnia się trzy zakresy przewodzenia. Zakres poniżej napięcia przebicia, zwany również zakresem prądów upływu, w którym przewodnictwo [2, 3] jest wynikiem emisji termoelektronowej Schottky'ego przez barierę potencjału. W tym zakresie napięć, materiał pracuje sposób ciągly przewodząc niewielki prąd. Po osiągnięciu tzw. napięcia przebiccia, które jest nieco wyższe od napięcia pracy chronionego urządzenia, zaczyna się wysokoprądowy zakres przewodzenia. Mechanizm przewodzenia polega na zjawisku tunelowania elektronów przez barierę potencjałową

wspomagana procesem krecji dziur, a wielkosc pradu nie zalezy, jak poprzednio od temperatury, lecz od napiecia i wspolczynnika nieliniowosci.

Nastepny zakres pracy, nazywany zakresem nasycenia, charakteryzuje sie szybkim wzrostem napiecia, spowodowanym wzrostem rezystancji ziaren ZnO, wynikajacym z braku noownikow pradu.



Rys. 4. Charakterystyka przewodzenia prądu typowego warystora [1]

Jak już wcześniej wspomniano, właściwości elektryczne materiału są ściśle związane z mikrostrukturą. Od liczby stref granicznych, a tym samym barier potencjału, które musi pokonać przepływający prąd zależy napięcie, a od jednorodności rozmieszczenia składników struktury i homogeniczności rozmiarów ziaren zależy odporność na udary.

Nieliniowe właściwości układu ZnO-Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> odkrył Kossman w 1961 r. [4], a znaczne polepszenie właściwości warystorów uzyskał Matsuoka wzbogacając układ ZnO-Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> przez dodatki tlenków kobaltu, manganu i antymonu [5].

Materiały te będą wytwarzane typową technologią stosowaną w ceramice. Składniki masy, po odważeniu, zmieleniu i homogenizacji prasuje się zwykle w formie walca i spieka w temperaturach 1150-1250°C. Podstawowy skład masy przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1

Skład typowej masy warystorowej [% mol]

Tlenek	Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Co <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	NiO	ZnO
Liczba	1,0	1,0	0,5	0,5	0,4	0,8	95,8

Po spieczeniu nanosi się na powierzchnie czołowe warystora elektrody i ewentualnie zabezpiecza się warystor szkliwem lub lakierem przed wyładowaniami na jego bocznej powierzchni.



## 4. BUDOWA I WŁAŚCIWOŚCI STREF GRANICZNYCH MIĘDZYZIARNOWYCH

Warystory komercyjne w głównej mierze składają się z tlenku cynku, który stanowi molowo ponad 95% składników masy oraz dodatków odpowiedzialnych za nieliniowe zależności prądowo-napięciowe warystora.

W ceramice podstawowym elementem mikrostruktury są ziarna. Bariera potencjału występująca w strefach granicznych ziaren decyduje o nieliniowych właściwościach charakterystyki prądowo-napięciowej.

O przepływie prądu decyduje układ ziaren, ich rezystancja i napięcie przebicia stref granicznych ziaren. Ziarna powinny mieć możliwie małą rezystancję, co uzyskuje się przez domieszkowanie glinem. Napięcia przebicia stref granicznych ziaren ulegają zmianom w zależności od budowy (grubości) i lokalnych niejednorodności składu chemicznego.

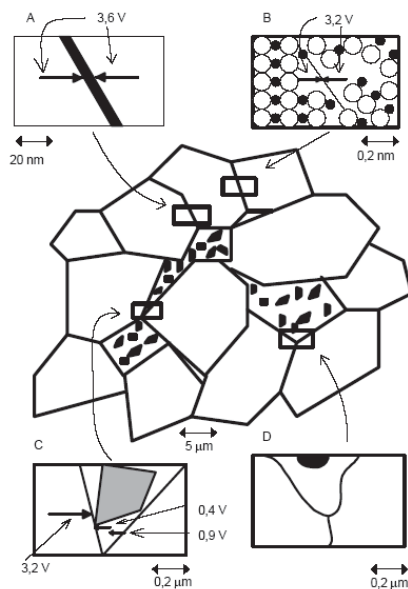
W typowej strukturze można wyróżnić cztery rodzaje stref granicznych ziaren. W typach A i B, dominujących, ziarna są rozdzielone nanometrową lub atomową warstwą tlenku bizmutu. Wartości napięcia (3,6 V) zaobserwowano dla bogatej w bizmut amorficznej warstwy o grubości ok. 2 nm stanowi ona około 80% aktywnych stref granicznych. Podobne napięcie przebicia, równe 3,2 V, występuje dla 20% stref granicznych utworzonych z atomów bizmutu. Typy C i D – nieprzewodzące prądu, występują w obszarach z fazami międzyziarnowymi – spinelem oraz tlenkiem bizmutu.

Istotne znaczenie ma skład chemiczny i technologia wykonania. Właśnie działania w doborze składu chemicznego i opracowania procesu technologicznego są głównymi kierunkami działania dla wytworzenia nowego materiału ceramicznego.

W ramach badań podjęto próby modyfikowania struktury warystora dodatkiem tlenku Sb, Mn, Sn, Si lub Al. Dodanie wspomnianych tlenków metali powinno zwiększyć liczbę aktywnych stref granicznych i tym samym poprawić rozkład przewodzenia prądu. Warystory te wykonano w Oddziale Wrocławskim Instytutu Elektrotechniki, stosując typową technologię wykonania warystorów.

Przyjęty skład chemiczny badanych warystorów był następujący:

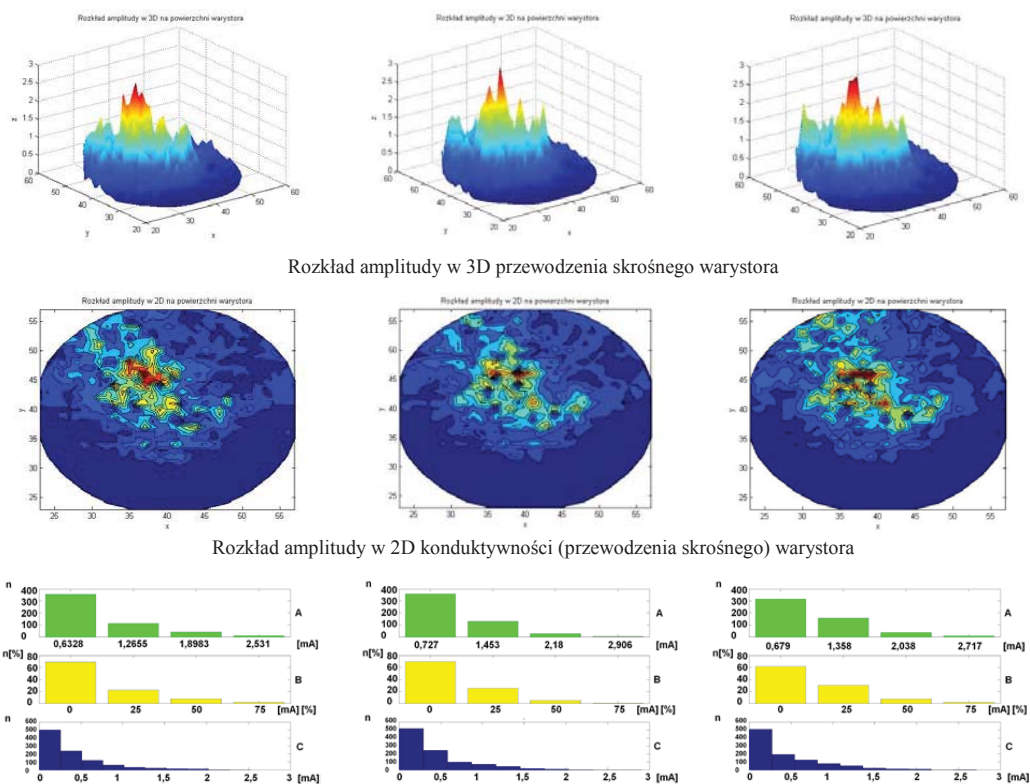
- warystory ZnO z zawartością 0,3% mol modyfikowanego tlenku bizmutu: tlenek bizmutu modyfikowany tlenkiem antymonu o składzie 85% mol  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  i 15% mol  $\text{Sb}_2\text{O}_3$  – warystory te oznaczono w tekście jako Sb,



**Rys. 5. Schemat struktury warystora. Widoczne ziarna ZnO, spinelu oraz obszary międzyziarnowe [6]**

- warystory ZnO z zawartością 0,3% mol modyfikowanego tlenku bizmutu: tlenek bizmutu modyfikowany tlenkiem manganu o składzie 85% mol  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  i 15% mol  $\text{MnO}_2$  – warystory te oznaczono w tekście jako Mn,
- warystory ZnO z zawartością 0,3% mol modyfikowanego tlenku bizmutu: tlenek bizmutu modyfikowany tlenkiem cyny o składzie 85% mol  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  i 15% mol  $\text{SnO}_2$  – warystory te oznaczono w tekście jako Sn,
- warystory ZnO z zawartością 0,3% mol modyfikowanego tlenku bizmutu: tlenek bizmutu modyfikowany tlenkiem krzemu o składzie 85% mol  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  i 15% mol  $\text{SiO}_2$  – warystory te oznaczono w tekście jako Si,
- warystory ZnO z zawartością 0,3% mol modyfikowanego tlenku bizmutu: tlenek bizmutu modyfikowany tlenkiem aluminium o składzie 85% mol  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  i 15% mol  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – warystory te oznaczono w tekście jako Al.

Wyniki pomiarów przewodności przedstawiono na poniższych rysunkach: 6, 7, 8 i 9.

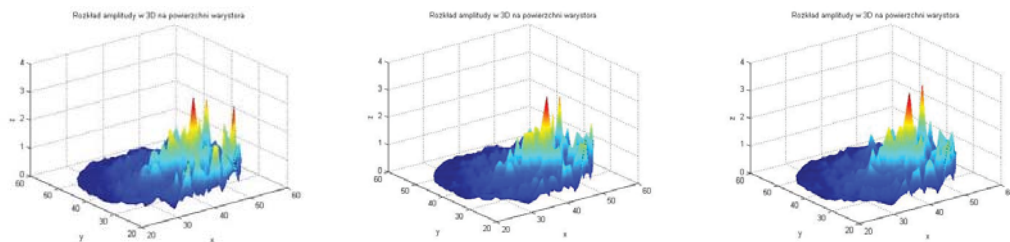


Oznaczenia:

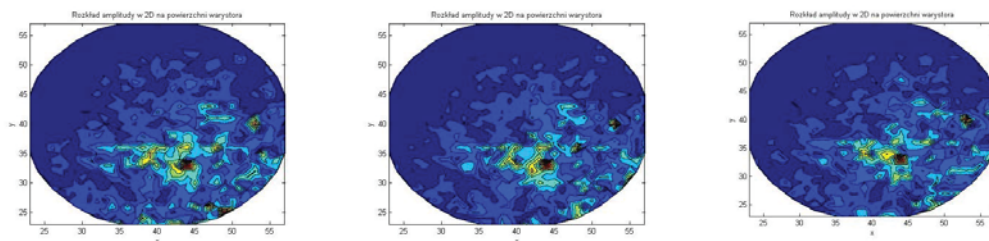
- A – wykres liczba punktów przewodzenia prądu w zależności od amplitudy;
- B – procentowa liczba punktów przewodzenia prądu w zależności od przedziału amplitudy;
- C – histogram (liczba punktów przewodzenia prądu w zależności od ich amplitudy).

Rys. 6. Warystor z dodatkiem tlenku Sb nr 3 – rozkład przy napięciu 550 V – siatka pomiarowa co 1 mm – odstęp czasowy pomiędzy pomiarami 2 s

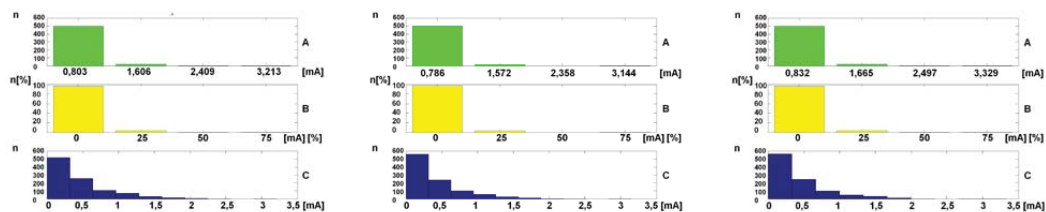




Rozkład amplitudy w 3D przewodzenia skośnego warystora

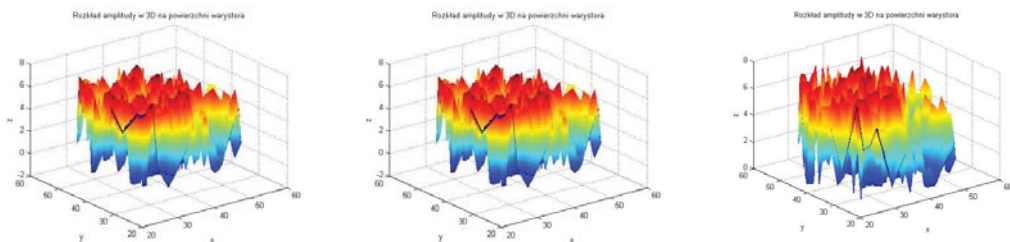


Rozkład amplitudy w 2D konduktywności (przewodzenia skośnego) warystora

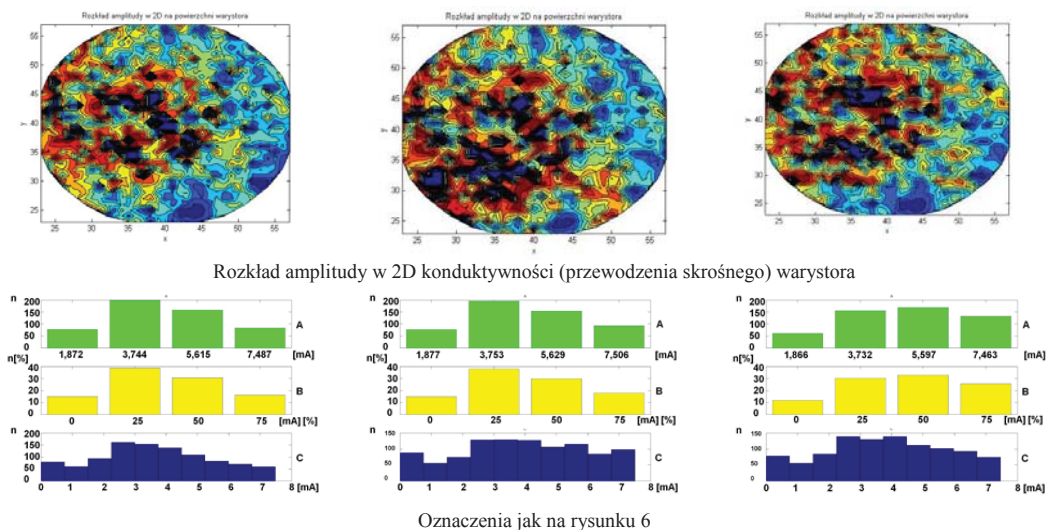


Oznaczenia jak na rysunku 6

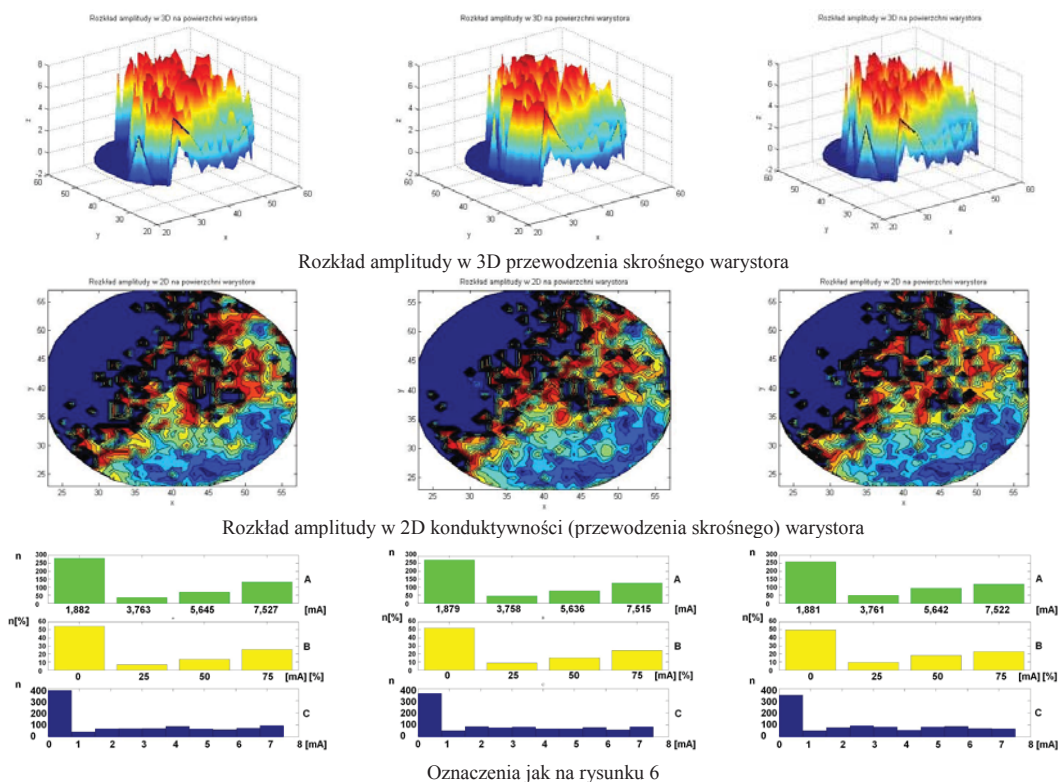
Rys. 7. Warystor z dodatkiem tlenków Mn nr 13 – rozkład przy napięciu 550 V – siatka pomiarowa co 1 mm – odstęp czasowy pomiędzy pomiarami 2 s



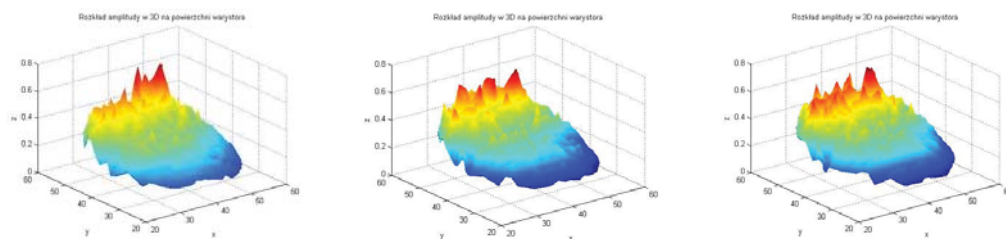
Rozkład amplitudy w 3D przewodzenia skośnego warystora



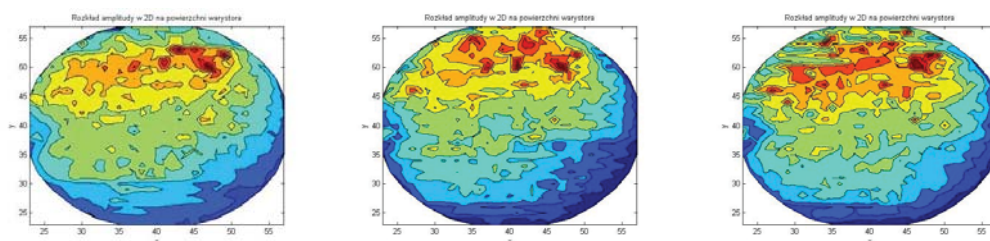
Rys. 8. Warystor z dodatkiem tlenków Sn nr 23 – rozkład przy napięciu 550 V – siatka pomiarowa co 1 mm – odstęp czasowy pomiędzy pomiarami 2 s



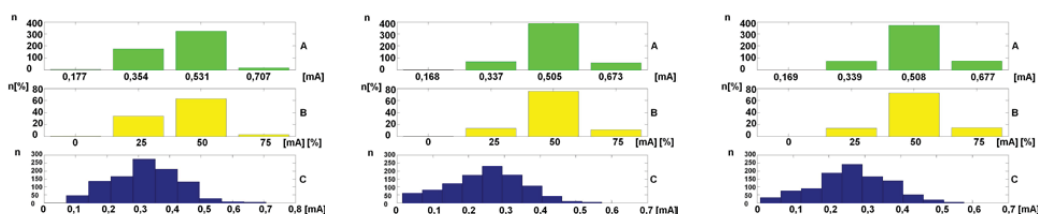
Rys. 9. Warystor z dodatkiem tlenku Si nr 33 – rozkład przy napięciu 830 V – siatka pomiarowa co 1 mm – odstęp czasowy pomiędzy pomiarami 2 s



Rozkład amplitudy w 3D przewodzenia skrośnego warystora



Rozkład amplitudy w 2D konduktywności (przewodzenia skrośnego) warystora



Oznaczenia jak na rysunku 6

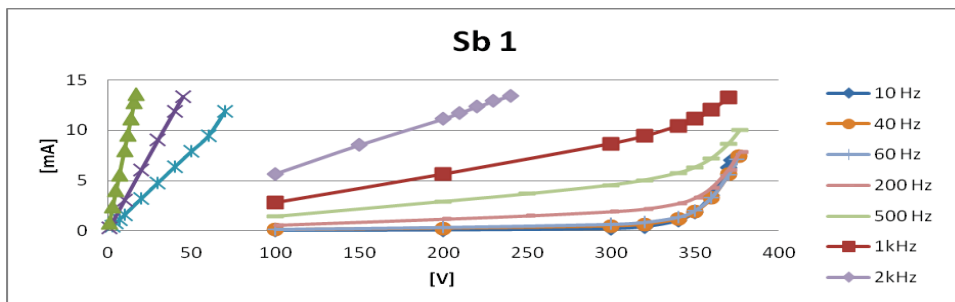
**Rys. 10.** Warystor z dodatkiem tlenków Al nr 43 – rozkład przy napięciu 830 V – siatka pomiarowa co 1 mm – odstęp czasowy pomiędzy pomiarami 2 s

Przedstawione wyniki pomiarów pokazują jednoznacznie, że wprowadzenie do składu warystorów tlenków Sn i Si wyraźnie poprawiają rozkład konduktywności na całej płaszczyźnie. W prawdzie wprowadzenie do mieszaniny Al również zapewnia poprawny rozkład konduktancji na prawie całej płaszczyźnie warystora. Występują wprawdzie punkty wyróżniające się pod względem wzrostu konduktywności, jednakże przewodzenie na pozostałej płaszczyźnie zmniejsza narażenia warystora na jego przebiecie i uszkodzenie.

## 5. POMIARY CHARAKTERYSTYK PRĄDOWO-NAPIĘCIOWYCH PRZY RÓŻNYCH CZĘSTOTLIWOŚCIACH NAPIĘCIA ZASILAJĄCEGO

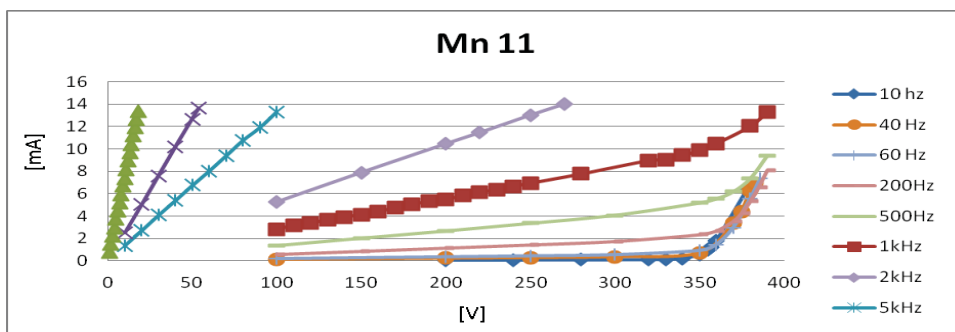
W celu sprawdzenia charakterystyk prądowo napięciowych warystorów domieszko- wanych Sb, Mn, Si, Al przy częstotliwościowych napięć spodziewanych, wykonano badania

używając do tego celu generatory częstotliwości: typu HP 746A oraz HP 745AC z regulowanym napięciem zasilania.

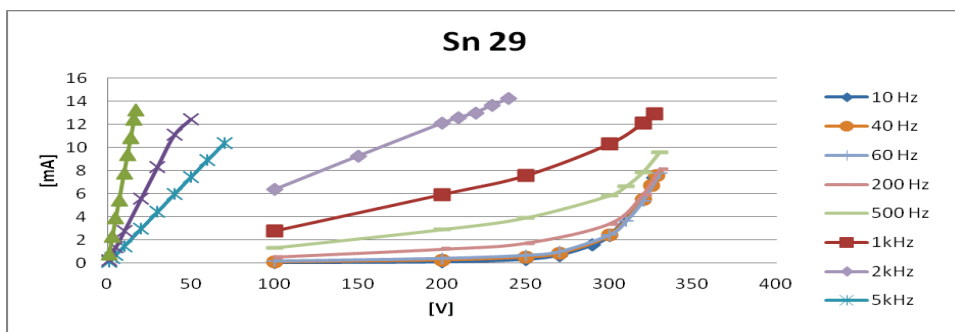


Rys. 11. Charakterystyki prądowo napięciowe warystorów domieszkowanych tlenkami Sb

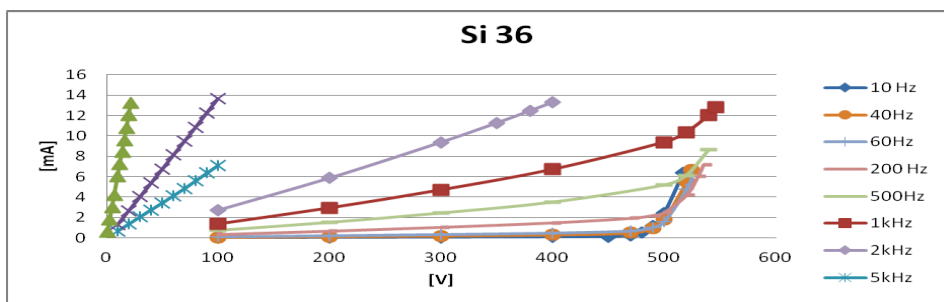
Do badań użyto te same warystory, w których uprzednio badano rozkłady konduktywności, jednakże po wykonaniu dodatkowej metalizacji powierzchni, która dla wcześniej wykonywanych badań była niemetalizowana.



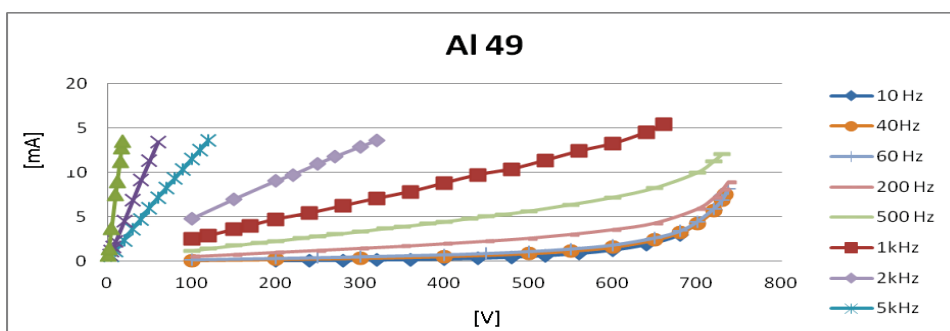
Rys. 12. Charakterystyki prądowo napięciowe warystorów domieszkowanych tlenkami Mn



Rys. 13. Charakterystyki prądowo napięciowe warystorów domieszkowanych tlenkami Sn



Rys. 14. Charakterystyki prądowo napięciowe warystorów domieszkowanych tlenkami Si



Rys. 15. Charakterystyki prądowo napięciowe warystorów domieszkowanych tlenkami Al

Wyniki pomiarów warystorów domieszkowanych Sb, Sn i Mn wykazały, że zagięcie charakterystyki prądowo napięciowej następuje przy napięciach 300 V do 350 V. Natomiast warystory domieszkowane Si oraz Al wykazują zmianę kształtu charakterystyki na poziomie od 500 V do 800 V. Dotyczy to w każdym przypadku częstotliwości wynoszącej około od 50 Hz do 500 Hz. Wzrost częstotliwości od 1 kHz i powyżej powoduje linearyzację charakterystyki warystorów i wzrost napięcia ograniczenia. Warystory komercyjne posiadają punkt zagięcia charakterystyk U-I przy napięciach około od 500 V do 700 V.

## 6. WNIOSKI

Badania warystorów domieszkowanych tlenkami metali wykazały, że możliwa jest poprawa rozkładu konduktywności na całej płaszczyźnie warystora, co było przedmiotem badań. Jest to skuteczny kierunek działania dla poprawy właściwości ochronnych ograniczników przepięć – głównie w odniesieniu do zwiększenia odporności na działanie prądów udarowych oraz zwiększenia wytrzymałości na lokalne przegrzewanie i uszkodzanie się warystorów.

Przez domieszkowanie możliwa jest również zmiana kształtu charakterystyki prądowo napięciowej warystora w funkcji częstotliwości napięcia i tym samym odpowiedniego doboru warystorów do poziomu ochrony instalacji elektrycznej. Należy podkreślić, że warystor domieszkowany tlenkami Sb, Sn, Si oraz Mn, wykazuje wyraźne zagięcie charakterystyki prądowo napięciowej – ochronnej na poziomie od 300 V do 500 V. Natomiast dodanie tlenków Al powoduje przesunięcie punktu zagięcia charakterystyki na poziomie 750 V i powyżej w zależności od częstotliwości przyłożonego napięcia. W każdym przypadku wprowadzenie domieszkowania tlenkami metali powoduje poprawę rozkładu konduktywności warystorów uzyskując najlepsze rezultaty dla warystorów domieszkowanych tlenkami Sb, Sn, Mn.

Porównując charakterystyki prądowo-napięciowe dla wybranych częstotliwości 10 Hz; 200 Hz; 1000 Hz; 5000 Hz stwierdzono, że przy napięciach o wyższych częstotliwościach przykładanych do warystorów następuje przepływ większego prądu, podczas gdy przy mniejszych częstotliwościach napięcia zasilania ten prąd jest mniejszy. Przyczyną tego stanu jest reakcja pojemnościowa warystora, która zwiększająca się w przypadku zwiększania się częstotliwości. W przypadku stosowania ochrony przeciwprzebiegowej w układach wysokich częstotliwości należy spodziewać się większego prądu upływu w warystorze, co ma miejsce w układach energoelektronicznych.

Pomiary charakterystyk prądowo-napięciowych przy częstotliwości zasilania 50 Hz oraz pomiary rozkładu przewodności przy napięciu stałym wyraźnie się różnią. Napięcia dla charakterystyk z dodatkiem krzemu  $\text{SiO}_2$  i tlenkiem aluminium  $\text{Al}_2\text{O}_3$  wyraźnie odbiegają od pozostałych charakterystyk nie tylko ze względu na wartość napięcia obniżonego, ale również ze względu na stromość ograniczania przepięć. Dzięki zawartości krzemu i tlenku aluminium wartości napięć obniżonych wzrastają.

Dla niektórych typów warystorów komercyjnych w obszarach wyższych napięć płynie przez warystor, mniejszy prąd upływu. Natomiast w obszarze niższych napięć, w porównaniu z np. warystorami domieszkowanymi tlenkiem krzemu  $\text{SiO}_2$ , prąd upływu jest wyższy.

## LITERATURA

1. Eda K.: Zinc oxide varistors. IEEE Electr. Insul. Mag. 5 [6], s. 28-41, 1989.
2. Levinson L. M., Philipp H. R.: Conduction mechanisms in metal oxide varistors, J. Solid State Chem. 12 [3-4], s. 292, 1975.
3. Levinson L. M., Philipp H. R.: The physics of metal oxide varistors, J. Appl. Phys. 46 [3], p. 1332-41, 1975.
4. Kosman M.S., Petsold E.G.: O wozmoznosti izgotowlenija simietriczeskich varistorov iz okisi cinka c primiestju okosi bizmuta., Uczonyje zapiski LGPT im. A.I. Gercena 2007, s. 191-96, 1961.
5. Matsuoka M., Masuyamai T., Iida Y.: Non-linear electrical properties of zinc oxide ceramics, Supp. Journal of Japan Society of Applied Physics, 39, s. 94-101, 1970.
6. Olsson E., Dunlop G.L.: The effect of  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  content on the microstructure and electrical properties of ZnO varistor materials, Department of Physics, Chalmers University of Technology. Goteborg S-412 / 96.



7. Gabrišák M., Dolník B.: Electrothermal and mechanical stress of high voltage surge arrester. VII Sympozjum Problemy eksploatacji układów izolacyjnych wysokiego napięcia. Zakopane 1999.
8. Korycki Piotr Zagrożenie pożarem i eksplozją beziskiernikowych ograniczników przepięć. elektro.info, 10, 2008.
9. Naoyuki Tsukamoto Ceraon Co. Ltd. Otawa Electric Co. Ltd Group Japan. Study of degradation by impulse having 4/10 $\mu$ s and 8/20 $\mu$ s waveform for MOVs (metal oxide varistors). 2014 International Conference on Lighting Protection (ICLP) Shanghai, China.

*Przyjęto do druku 23.09.2015 r.*

## INFLUENCE OF MODIFICATION OF VARISTORS FOR THE SPD TYPE ARRESTERS ON THE CONDUCTIVITY DISTRIBUTION AND CONDUCTANCE CHARACTERISTICS

Janusz BANDEL,  
Witold MIELCAREK, Henryk SIBILSKI

**ABSTRACT** *The required demand of varistors for the arresters, not only for the SPD type, but also for these used at high voltage systems, is very high. The idea of this paper was to develop a new generation of nanostructures of the material which assure a uniform distribution of the conductivity. These enable to reduce the size of the voltage limiting elements and therefore quantity of material used. Also it will be possible to modulate current voltage characteristic with simultaneous great density of current.*

**Keywords:** *arresters, varistors, conductivity, current-voltage characteristics*

