

Witold MIELCAREK<sup>1</sup>  
Adam GUBAŃSKI<sup>2</sup>  
Krystyna PROCIÓW<sup>1</sup>  
Joanna WARYCHA<sup>1</sup>

## WYSOKOTEMPERATUROWE CHARAKTERYSTYKI WARYSTORÓW TLENKOWYCH

*Niezawodna oraz niezakłócona praca urządzeń elektroenergetycznych i elektronicznych jest głównie osiągana poprzez zastosowanie odpowiednich elementów ochrony przepięciowej takich jak ograniczniki. Warunkiem dobrej ochrony jest stabilność zawartych w nich warystorach tlenkowych. Głównym zagrożeniem jest wzrost temperatury warystora. W prezentowanej pracy zanalizowano wpływ podwyższonej temperatury na charakterystyki prądowo-napięciowej warystora. Stosując metodę termostymulowanej depolaryzacji (TSD) w zakresie prądów upływu oraz badanie prądami impulsowymi w zakresie prądów pracy stwierdzono występowanie dwóch mechanizmów przewodzenia prądów warystorze powodujących dwa przeciwstawne efekty. W zakresie prądów upływu wzrost temperatury pociąga za sobą wzrost prądu. W zakresie prądu pracy ze wzrostem temperatury prąd maleje.*

### 1 WPROWADZENIE

Pierwszą pracą donoszącą o nieliniowych właściwościach układu ZnO-Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> była praca Kosman Pettsold [1]. Badania Matsuoka [2] pokazały, że przyczyną nieliniowości charakterystyki I-U jest występowanie warstwy tlenku bizmutu rozdzielającej ziarna tlenku cynku. W typowej charakterystyce można wyróżnić trzy zazębiające się obszary pracy warystora:

- zakres prądów upływu (w obszarze normalnej pracy warystora) zawiera się w granicach od 10<sup>-5</sup>A do 10<sup>2</sup>A, w którym przewodnictwo jest wynikiem emisji termoelektronowej Schottky'go przez barierę potencjału:

$$I = I_0 \exp[-(E_b - \beta F^{1/2})/kT] \quad (1)$$

gdzie  $I_0$ - prąd wyjściowy,  $\beta$  - stała,  $k$  - stała Boltzmana,  $F$  - natężenie pola elektrycznego,  $E_b$  - wysokość bariery Schottky'go,  $T$  - temperatura.

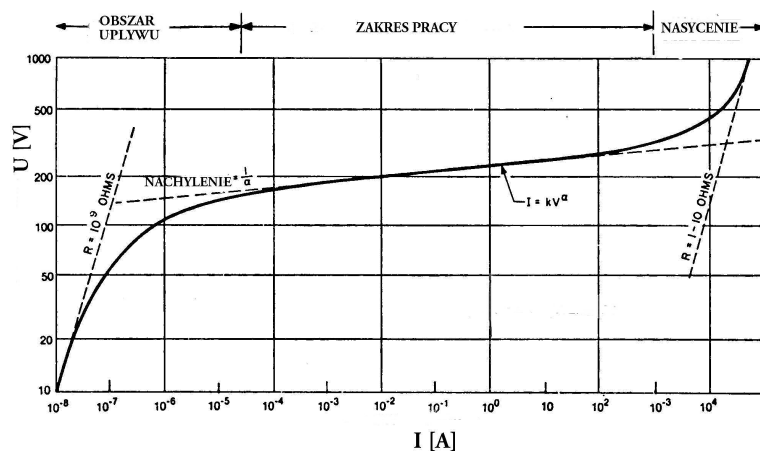
- zakres nazywany zakresem przewodzenia gdzie występuje zjawisko tunelowania elektronów a prąd nie zależy od temperatury:

$$I = k_a U^\alpha \quad (2)$$

gdzie  $k_a$  – stała, współczynnik nieliniowości  $\alpha = [\log(I_1/I_2)] / [\log(U_1/U_2)]$ ,

- zakres nasycenia związany ze wzrostem rezystancji ziaren ZnO spowodowany brakiem nośników prądu. W zakresie dużych prądów charakterystyka przestaje być nieliniowa, gdyż relację między napięciem, a prądem zaczyna wyznaczać niewielka rezystancja (1-10  $\Omega$ ) objętościowa materiału warystora.

Charakterystykę przewodzenia prądu dla typowego warystora przedstawiono na rys.1



Rys.1. Charakterystyka przewodzenia prądu typowego warystora.

Do wad warystorów można zaliczyć podatność na degradację objawiającą się wzrostem prądów upływu. Degradację przyspiesza wzrost temperatury jak też mogą wywołać silne impulsy udarowe. Zjawiska degradacji były po raz pierwszy opisane przez Edę, Igę i Matsuokę [3]. Udary impulsowe powodują również podobne efekty Wróblewski Jaworski [4]. Skutkiem degradacji jest asymetria charakterystyk I-U i wzrost prądów upływu Philipp i Levinson [5].

## 2 PRZEDMIOT BADAŃ

Dla zbadania właściwości warystorów wykonano próbki o składzie przedstawionym w Tab 1. Do wytwarzania zastosowano surowce o klasie czystości cz.d.a.

Tabela 1. Skład chemiczny warystorów

$Bi_2O_3$	$Sb_2O_3$	$Co_2O_3$	$MnO$	$NiO$	$Cr_2O_3$	$ZnO$
1	1	0,5	0,5	0,8	0,4	95,8

Wytworzenie warystorów obejmowało: mielenie, homogenizację, suszenie, granulowanie, prasowanie, spiekanie (1250°C 1h), nanoszenie elektrod i zabezpieczenie. Badania wykonano na warystorach o średnicy 12mm i grubości 2mm.

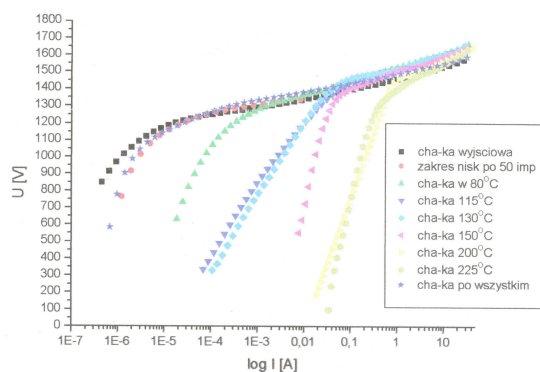
### 3 METODYKA BADAŃ I UKŁADY POMIAROWE

Pomiary wykonywano przy pomocy generatora SPEB1 zapewniającego prowadzenie pomiarów przy prądzie stałym i impulsowym maksymalnie 2kV i 200A sprzężonego z komorą temperaturową. Do pomiarów pomocniczych stosowano multimetry METEX sprzężone z komputerem.

Zjawisko degradacji stymulowano stałym prądem; 50  $\mu$ A w temperaturze 115°C. Pomiary prądów termicznie stymulowanych wykonano (TSD) w układzie pomiarowym [6], który umożliwiał pomiar prądów w zakresie temperatur (od 100 do 500K) z liniowym narostem temperatury (4°C/min) w próżni rzędu  $10^{-6}$  Tr. Przed badaniem próbkę chłodzono pod napięciem do temperatury 100K.

### 4 WYNIKI BADAŃ

Jak wspomniano, w trakcie pracy warystora są aktywne (w różnym stopniu) trzy zakresy pracy. Zakres prądu upływu (znacznie poniżej 1mA) jest aktywny przy obciążeniu warystora napięciem nominalnym. Jak widać zakres ten jest silnie uzależniony od temperatury (rys. 2).

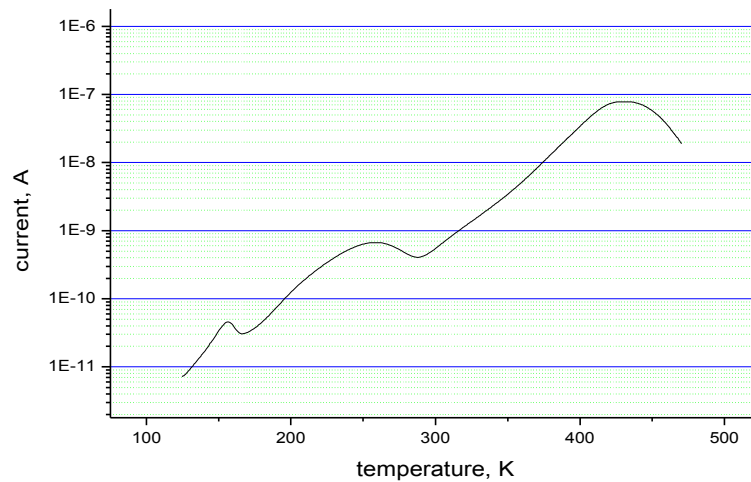


Rys 2 Charakterystyki prądowo napięciowe warystora w funkcji temperatury

Przy tym samym napięciu, po podgrzaniu do 200°C, prąd wzrasta o pięć rzędów. W niesprzyjających warunkach może wystąpić, efekt termicznego rozbiegania (thermal runaway) i zniszczenie układu. Dla zbadania procesu degradacji wykonano wstępne starzenie warystora uzyskując asymetrię charakterystyk niskoprądowych. Efekt degradacji badano przy pomocy metody TSD.

Jak stwierdzono podgrzanie do temperatury około 454K powoduje zanik asymetrii i powrót charakterystyk do wartości wyjściowych.

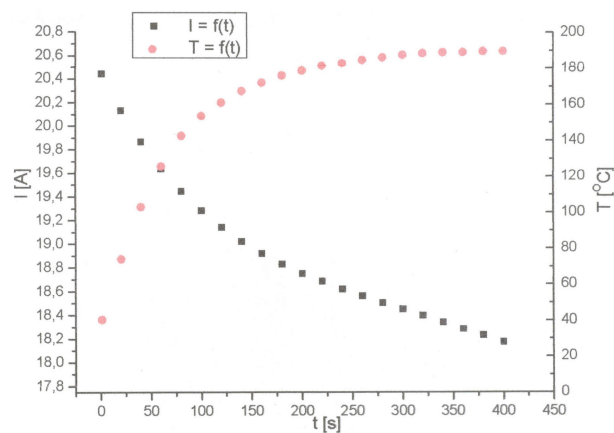
Po usunięciu napięcia degradującego warystor, mierzono prąd TSD w obwodzie krótko-zwartym przy liniowo narastającej temperaturze. W widmie TSD badanego warystora stwierdzono występowanie trzech pików  $\alpha$ ,  $\beta$  i  $\rho$ . Badania wykonane przez Hayashi i inni [7] wykazały, że pik  $\alpha$  ( $T_m = 149K$ ) można wiązać z procesem pułapkowania elektronów w warstwie międzyziarnowej; rys 3.



Rys 3 Widmo TSD warystora ZnO domieszkowanego Al. (o zawartości 24 ppm)

Energia aktywacji tego procesu określona metodą początkowego narostu wynosi 0,1eV (głębokość pułapek). Pik  $\beta$  ( $T_m = 250K$ ) jest związany z pułapkowaniem elektronów na poziomach donorowych w warstwie zubożonej. Energia aktywacji tego procesu wynosi 0,13eV. Natomiast pik  $\rho$  ( $T_m = 454K$ ) związany jest z migracją ładunku i tworzeniem się ładunku przestrzennego (np. na granicy warystor – elektroda). Energia aktywacji tego procesu określoną metodą początkowego narostu prądu wynosi 0,4eV. Wyrzanie to powoduje powrót charakterystyk warystora do stanu wyjściowego.

Odmiennej charakter zależności temperatury występuje w zakresie pracy i nasycenia rys. 4.



Rys 4 Zależność prądu upływu warystora od temperatury przy impulsach 1 ms / 1100 V co 1 s

Zachodzi tu spadek prądu przy wzroście temperatury a więc wzrost rezystancji warystora. Jest to efekt przeciwny do poprzednio opisywanego. Wzrost temperatury prowadzi automatycznie do spadku mocy wydzielanej w warystorze i zapobiega efektowi termicznego rozbiegania. Jednocześnie przy wzroście temperatury do 200°C następuje zjawisko regeneracji charakterystyk warystora w zakresie prądów upływu likwidując efekt ich degradacji.

## 5 WNIOSKI

W pracy przedstawiono dwa mechanizmy pracy warystora: mechanizm Schottky'ego w zakresie niskich prądów wrażliwy na degradację i w zakresie wysokich prądów zależny od napięcia i temperatury. W zakresie tym wzrost temperatury powoduje spadek prądu upływu, co zabezpiecza układ przed efektem termicznego rozbiegania. Zapewnienie trwałości ograniczników wymaga więc uwzględnienia mechanizmów wzrostu upływu.

Pracę w całości finansowana ze środków KBN w ramach grantu nr 3 T10A077 26.

## 6 LITERATURA

1. 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 207 (1961) s. 191-96
2. Matsuoka M.: *Nonohmic properties of zinc oxide ceramics*. Jpn. J. Appl. Phys. 10 [6] (1971) p. 736-46
3. Eda K., Iga A., Matsuoka M.: *Degradation mechanism in non-ohmic ZnO ceramics*. J. Appl. Phys. 51 [5] (1980) p. 2678
4. Wróblewski Z., Jaworski M.: *Symulacyjne modele trwałości warystorów tlenkowych*. Prz. Elektrotech. [6] (1998) s. 145-49
5. Philipp H.R., Levinson L.M.: *Degradation phenomena in zinc oxide varistors – a review*. In: *Advances in electronic ceramics*. Vol. 7. Additives and interfaces in electronic ceramics. Ed.: Yan M.F., Hener A.H. Columbus, Ohio: Am. Ceram. Soc. 1984 p. 1-21
6. Gubański A., Macali B., *Equipment for TSD Measurements In Solids*, Bull of Acad. Sc., vol. 35 (1987), pp. 537-541
7. Hayashi M., Haba M., Hirano S., Okamoto H., Watanabe M.: *Degradation mechanism of zinc oxide varistors under dc bias*. J. Appl. Phys. 53 [8] (1982) p.5754-62

## **HIGH TEMPERATURE CHARACTERISTICS OF OXIDE VARISTORS**

The smooth and reliable operation of electronic and power devices strongly depend on the proper protection against overvoltage. This protection can be provided by surge arresters and is conditioned by the stability of their elements such as oxide varistors. Particularly hazardous for varistors is the increase of temperature. Applying method of thermo stimulated depolarization (TSD) for investigation of leakage current range and pulse current for examining the range of working currents the two different mechanisms of current conduction in varistor was established. In the range of leakage current the growth of temperature causes the increase of varistors current while in the range of working currents the growth of temperature involves the drop of current what prevent varistors from thermal runaway.