

KONTROLA JAKOŚCI OGRANICZNIKÓW PRZEPIĘĆ W ZAKŁADACH APATOR S.A.

Marek OLESZ¹

1. Politechnika Gdańska, Wydział Elektrotechniki i Automatyki

tel: 583471820

fax: 583472136

e-mail: m.olesz@ely.pg.gda.pl

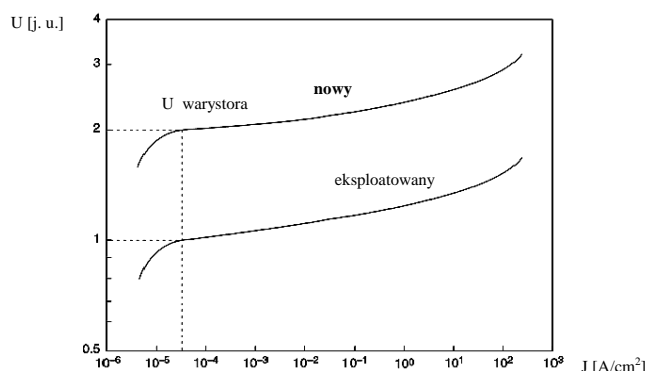
Streszczenie: W artykule omówiono etapy produkcji warystorów tlenkowo – cynkowych oraz procedury kontroli jakości ograniczników przepięć niskiego napięcia w zakładach APATOR S.A. w Toruniu. Przedstawiono przykładowe wyniki próby udarem prądowym przeprowadzanej na każdej sztuce wytwarzanego wyrobu.

Słowa kluczowe: warystory ZnO, kontrola jakości produkcji

1. WSTĘP

Ograniczniki przepięć spełniają ważną rolę w systemie elektroenergetycznym zabezpieczając urządzenia i aparaty elektryczne przed skutkami przepięć atmosferycznych i łączeniowych.

Podstawowym elementem ogranicznika są warystory wytworzone na bazie tlenku cynku ZnO z odpowiednimi domieszkami charakteryzujące się nieliniową charakterystyką napięciowo–prądową, którą analizuje się w celu kontroli stanu technicznego wyrobu. W początkowym zakresie charakterystyki, do napięcia trwałej pracy U_c ogranicznika włącznie występuje przepływ niewielkich prądów (do kilku mA) o charakterze typowo pojemnościowym z niewielką składową rezystancyjną (rys. 1).



Rys. 1. Charakterystyka warystora ZnO

W ograniczniku dobrej jakości składowa rezystancyjna jest niewielka i przy napięciu trwałej pracy nie powinna przekraczać 100 - 150 μ A. W przypadku uszkodzeń struktury warystora wskutek oddziaływania przepięć, temperatury, zawilgocenia ma miejsce wzrost wartości

prądu. Obserwuje się wówczas wzrost składowej rezystancyjnej, co wykorzystuje się w diagnostyce stanu ograniczników [1].

Prąd rezystancyjny powoduje straty mocy czynnej powodujące przyrost temperatury warystora w normalnym stanie pracy przy napięciu niższym od U_c . Zjawisko to wykorzystuje się w diagnostyce stanu ograniczników za pomocą kamer termowizyjnych lub czujników temperatury bezpośrednio umieszczonych w obudowie ogranicznika [1, 2].

Zmiana napięcia pracy warystora powoduje znaczny wzrost mocy wydzielonej w jego strukturze. W ogranicznikach najniższych napięć przy napięciu U_c jest to rząd zaledwie kilkudziesięciu mW. W przypadku pogorszenia struktury warystora wydziela się moc nawet kilkuset mW co powoduje pogorszenie stabilności cieplnej warystora i wzrost jego temperatury, który powinien zostać ograniczony przez trwale odłączenie ogranicznika poprzez cieplne zabezpieczenie przeciążeniowe umieszczone w jego obudowie.

Z punktu widzenia efektywności energetycznej ograniczniki należy dobierać tak, aby przy napięciu występującym w instalacji elektroenergetycznej występowało jak najmniejsze wydzielanie się mocy czynnej.

Poziom prądu upływowego i mocy wydzielanej w ograniczniku niskiego napięcia jest unormowany dokumentem [3], gdzie w próbie wyrobu wymaga się zmierzenia prądu upływowego przy napięciu trwałej pracy U_c poniżej poziomu krytycznego podanego przez producenta. Z treści normy [3] wynika, że składowa czynna prądu upływowego przekraczająca 1 mA w próbach kondycjonowania ogranicznika i jego działania (p. 7.6.5) świadczy o braku stabilności cieplnej. W zakładach Apator S.A. prąd ten, w próbach wyrobu po oddziaływaniu pojedynczego znamionowego udaru prądowego o kształcie 8/20 μ s/ μ s przyjęto przy $U_c = 500$ V na poziomie 120 μ A.

2. CHARAKTERYSTYKA WARYSTORA

Warystor ZnO jest elementem, którego charakterystyka napięciowo – prądowa zawiera trzy charakterystyczne obszary – przedprzebieciowy, przebieciowy i nasycenia (rys. 1). W części przedprzebieciowej temperatura powoduje wzrost wartości prądu (wysokostratna pojemność), natomiast

w fazie przewodzenia jego spadek (rezystancja o małej oporności).

Powyższe zachowanie warystora wynika ze zjawisk fizycznych występujących na granicach ziaren otrzymanego spieku. W stanie przedprzebieciowym między ziarnami występuje około 3,5 V spadek napięcia [4]. Poniżej napięcia przebicia przewodnictwo ma charakter omowy wynikający z emisji termoelektronowej Schottky'ego przez barierę potencjału [5]. Dla obszaru przedprzebieciowego istnieje szereg innych modeli dla których uwzględnia się podwójną barierę Schotky'ego, nieomowe przewodzenie i inne zjawiska fizyczne [6].

Po osiągnięciu napięcia przebicia, które zgodnie z zasadami ochrony przeciwprzepięciowej powinno być wyższe od napięcia pracy chronionego urządzenia, a mniejsze od wytrzymałości napięciowej izolacji rozpoczyna się wg rysunku 1 wzrost prądu wskutek tunelowania elektronów przez barierę potencjału. Proces ten jest wspomagany przez generowanie dodatkowych dziur. Poziom prądu nie zależy już od temperatury, ale głównie od napięcia U i współczynnika nieliniowości α zgodnie z zależnością (1), gdzie współczynnik nieliniowości α obliczony na podstawie dwóch punktów charakterystyki (u_1, i_1) oraz (u_2, i_2) określa wzór (2)

$$I = k_a U^\alpha \quad (1)$$

$$\alpha = \frac{\ln \frac{i_2}{i_1}}{\ln \frac{u_2}{u_1}} \quad (2)$$

Przy dalszym wzroście napięcia ma miejsce obszar nasycenia – następuje wzrost napięcia przy niewielkiej zmianie prądu wskutek wzrostu rezystancji ziaren ZnO wynikających z braku nośników prądu.

3. ETAPY PRODUKCJI

Ograniczniki przepięć składają się z szeregu warystorów wykonanych z domieszkowanego tlenku cynku ZnO. W celu uzyskania odpowiednich właściwości mechanicznych, cieplnych, a przede wszystkim elektrycznych stosuje się odpowiedni skład chemiczny i ilościowy – np. wg Matsuoki jest on następujący w [%mol] [7]:

$\text{Bi}_2\text{O}_3 - 1, \text{Sb}_2\text{O}_3 - 1, \text{Co}_2\text{O}_3 - 0,5, \text{MnO} - 0,5, \text{Cr}_2\text{O}_3 - 0,4, \text{NiO} - 0,8, \text{ZnO} - 95,8.$

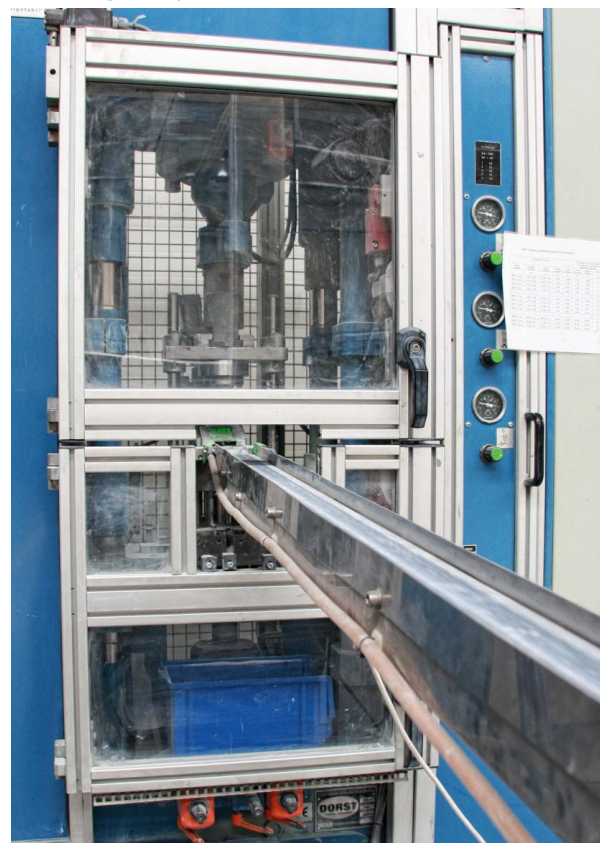
Od zawartości poszczególnych składników zależą istotnie parametry warystora i ich stabilność czasowo – cieplna. Ostateczny skład mieszanki i źródło pochodzenia jej poszczególnych składników są tajemnicą producenta wypracowaną na podstawie prób i analiz fizyko – chemicznych.

Po zmieleniu wymienionych składników i ich homogenizacji (rys. 2) następuje suszenie, granulowanie, a następnie prasowanie (rys. 3), spiekanie z stabilizowaniem w temperaturze około 1200°C, naniesienie elektrod (rys. 4) i zabezpieczenie przed wilgocią.

Powyższe czynności zazwyczaj odbywają się w sposób całkowicie zautomatyzowany, z kontrolą jakości półproduktów pomiędzy poszczególnymi etapami (rys. 5), co ma podstawowe znaczenie dla otrzymania warystorów o powtarzalnych charakterystykach napięciowo- prądowych.



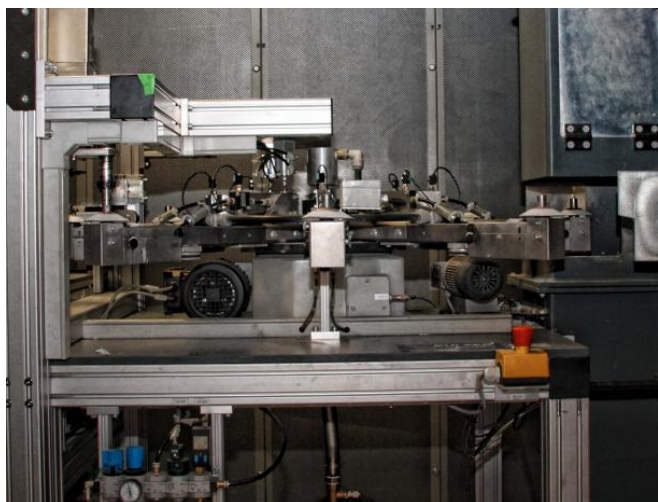
Rys. 2. Transport składnika masy warystorowej, w tle układ homogenizacji



Rys. 3. Prasowanie granulatu na prasie hydraulicznej

W tym celu po zakończeniu cyklu produkcji jednej partii (tzn. wypaleniu ceramiki i jej metalizacji) wykonuje się procedurę kwalifikacji partii, która polega na analizie 200 losowo pobranych krążków ceramiki warystorowej [8]. W trakcie pomiarów kwalifikacyjnych (rys. 5) wyznacza się napięcie referencyjne przy prądzie odniesienia $I_{ref}=1 \text{ mA}$,

napięcie obniżone przy znamionowym prądzie wyładowczym oraz wykonuje się próbę przyspieszonego starzenia napięciem $1,1 U_c$ poprzez umieszczenie na 1000 h próbek w temperaturze 115°C (maksymalna dopuszczalna zmiana prądu upływu $< 120\%$).



Rys. 4. Stanowisko do metalizacji warystorów



Rys. 5. Stanowisko do selekcjonowania warystorów wraz z generatorem uderzeń prostokątnych

Po akceptacji partii produkcji każdy z krążków jest badany wg wymagań normy [8] poprzez wyznaczenie napięcia odniesienia podczas wymuszenia prądu stałego 1 mA , prądu upływowego przy napięciu trwałej pracy oraz napięcia obniżonego przy przepływie prądu wyładowczego o kształcie $8/20\ \mu\text{s}/\mu\text{s}$. Procedura ta ma na celu odrzucenie próbek nie spełniających założonych przez wytwórcę granicznych kryteriów oraz podział krążków z partii produkcji na grupy o podobnych charakterystykach napięciowo – prądowych.

Powtarzalne charakterystyki są szczególnie ważne dla ograniczników średniego napięcia, kiedy duża liczba zastosowanych szeregowo pojedynczych warystorów w przypadku znacznych rozbieżności charakterystyk obciąża się nierównomiernie i poprzez niejednorodny w objętości rozkład temperatury prowadzi do miejscowego uszkodzenia ogranicznika.

4. WYNIKI POMIARÓW

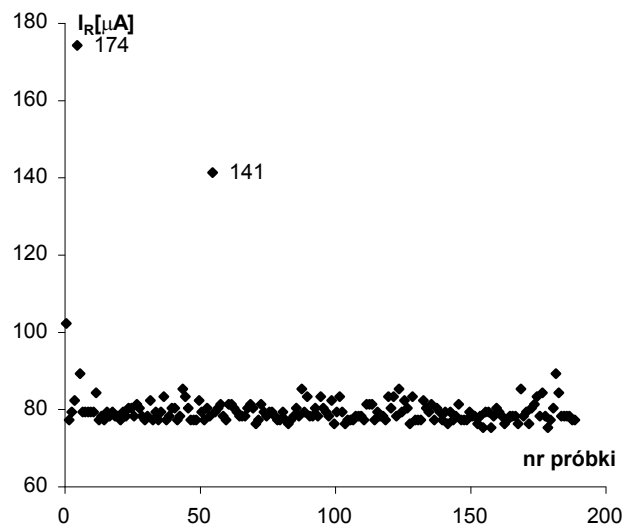
W czasie produkcji monitorowano dane techniczne ogranicznika niskiego napięcia typu ASA 500 - 5 bez odłącznika o konstrukcji przedstawionej na rysunku 6 i następujących parametrach technicznych: największe napięcie trwałej pracy – $U_c = 500\text{ V}$, znamionowy prąd wyładowczy – $I_n = 5\text{ kA}$, największy prąd wyładowczy $I_{\text{max}} = 30\text{ kA}$, napięcie obniżone – $U_o = 1990\text{ V}$ [9].



Rys. 6. Przekrój ogranicznika niskiego napięcia typu ASA

System kontroli produkcji w zakładach APATOR S.A. opiera się na wytycznych przedstawionych w normie [3] dotyczącej ograniczników przepięć nn. Norma [3] w p. 8.2 zaleca przeprowadzenie badań dla pierwiastka trzeciego stopnia z liczebności partii produkcji. W zakładach APATOR wymaganie to zaostrzono, ponieważ badaniu podlega każda sztuka wyrobu, co zapewnia pełną kontrolę jakości i uzyskanie powtarzalnych charakterystyk ograniczników dopuszczonych do obrotu. Badanie polega na przyłożeniu napięcia trwałej pracy ogranicznika, a następnie wymuszeniu przy przejściu napięcia przez zero udaru prądowego o kształcie $8/20\ \mu\text{s}/\mu\text{s}$ i wartości szczytowej zbliżonej do zadeklarowanego prądu I_n . W czasie przyłożenia udaru odbywa się pomiar napięcia obniżonego, a po próbie przy przyłożonym napięciu przemiennym następuje pomiar składowej czynnej prądu upływowego. Wystąpienie zbyt dużej wartości napięcia obniżonego ($> U_o$) lub prądu upływowego ($> 120\ \mu\text{A}$) powoduje odrzucenie badanego wyrobu.

Na rys. 7 pokazano mierzoną po przyłożonym udarze prądowym 5 kA składową czynną prądu upływowego I_R dla kolejnych badanych gotowych wyrobów.



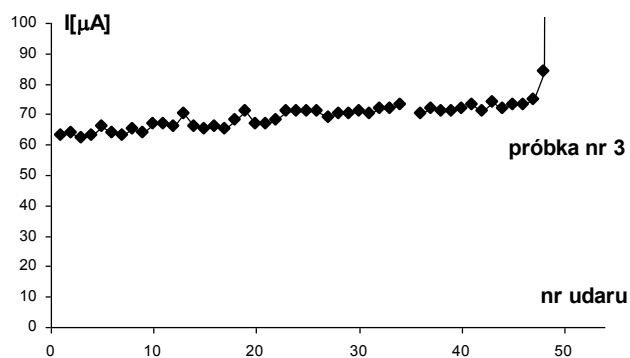
Rys. 7. Składowa czynna prądu upływowego mierzona po przepływie prądu wyładowczego

W czasie badania 189 ograniczników zarejestrowano tylko dwie próbki w których składowa czynna prądu upływowego przekraczała założoną granicę tolerancji. Wyniki prądu upływowego i napięcia obniżonego charakteryzujące się niewielkimi odchyleniami od wartości średniej świadczą o dużej powtarzalności krążków ceramiki warystorowej otrzymywanych w czasie jednego wypieku.

Dodatkowo wykonano próby starzenia ograniczników udarami prądowymi przykładanymi co 1 minutę, tak aby ograniczyć nagrzewanie ogranicznika. Wybrano losowo 5 próbek z partii produkcyjnej, a następnie przyłożono do każdej z nich serie po 20 udarów każda. Przyjęto procedurę badania o charakterze kumulacyjnym – do 20 udaru stosowano serie 1 udarowe, od 21 do 40 – 10 serii 2 udarowych, od 41 – 60 – 5 serii 4 udarowych. Przyłożenie kilku udarów w krótkim odstępie czasu powoduje przyspieszone nagrzewanie ogranicznika, wzrost jego prądu upływowego, a następnie pogorszenie parametrów prowadzące w końcu do przebiccia jego struktury. Należy nadmienić, że przeprowadzona próba jest obostrzona w stosunku do wymagań kondycjonowania ograniczników klasy II podanych w p. 7.6.4 [3] gdzie przykłada się 3 serie po 5 udarach każda przy czym odstęp czasu pomiędzy seriami wynosi 25 – 30 minut, aby ogranicznik osiągnął temperaturę otoczenia (nie ma wymagania zasilania ogranicznika napięciem U_c pomiędzy seriami udarów prądowych).

Wykonane powyższe badania starzenia ogranicznika udarami prądowymi o charakterze kumulacyjnym według programu autora pracy świadczą o dużym zróżnicowaniu struktury warystora na powtarzane w odstępach 1 minuty udary prądowe.

Dla analizowanych 5 próbek uszkodzenie wystąpiło po przyłożeniu odpowiednio: 10, 22, 49, 47 i 15 udarów. Przykładanie kolejnych udarów powoduje powolny wzrost składowej czynnej prądu upływowego (rys. 8), która nagle wzrasta nawet kilkanaście razy przy uszkodzeniu warystora (np. do 1031 μA dla próbki nr 3).



Rys. 8. Składowa czynna prądu upływowego ogranicznika starzonego udarami prądowymi 8/20 $\mu s/\mu s$

5. WNIOSKI KOŃCOWE

Zastosowany w zakładach APATOR cykl produkcji ceramiki warystorowej i ograniczników przepięć zapewnia uzyskanie powtarzalnych wyrobów o jakości zgodnej z wymaganiami norm [3, 8].

Oddziaływanie kolejnych udarów prądowych powoduje nieznaczny wzrost prądu upływowego ogranicznika. Dopiero przekroczenie krytycznej liczby udarów pozwala obserwować zasadnicze pogorszenie przebiegu charakterystyki przedprzebiciowej warystora.

Ograniczniki wytrzymują nawet do kilkudziesięciu udarów prądowych I_n przykładanych co 1 minutę.

Podobieństwo charakterystyk napięciowo – prądowych nie wystarcza do jednoznacznego prognozowania czasu życia ogranicznika i jego zachowania przy powtarzalnych udarach prądowych. Starzenie ogranicznika wynika raczej z równomierności rozkładu temperatury związanej z ścieżkami przepływu prądu w stanie przewodzenia.

6. BIBLIOGRAFIA

- Smulko J., Olesz M., Hasse L., Kaczmarek L., Lentka G., Problems of varistor quality assessment during exploitation, Metrology and Measurement Systems. - Vol. XIX, No. 2 (2012), s. 395-404
- Hasse L., Smulko J., Olesz M., Sedlakova V., Sikula J., Sedlak P., Diagnostics of ZnO varistors by means of nondestructive testing, Zeszyty Naukowe Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej, 2011, Nr 30, s. 51-56
- PN – EN 61643-11: 2006, Niskonapięciowe urządzenia do ograniczania przepięć. Część 11: Urządzenia do ograniczania przepięć w sieciach rozdzielczych niskiego napięcia. Wymagania i próby.
- Tanaka S., Takahashi K., Direct measurements of voltage – current characteristic of single grain boundary of ZnO varistors. J. Eur. Ceram. Soc. 19, 6-7, 1999, p. 727 – 730
- Levinson L. M., Philip H. R., The physics of metal oxide varistors, Journal of Applied Physics, 1975, vol. 46, pp. 1332-1341.
- Chrzan K., Wysokonapięciowe ograniczniki przepięć, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, 2003, ISBN: 83-7125-108-4 4.
- Mielcarek W., Uwarunkowania technologiczne warystorów tlenkowych, IEL, Warszawa 2002.
- PN – EN 61643-331: 2008, Elementy niskonapięciowych urządzeń do ograniczania przepięć. Część 331: Wymagania dla warystorów z tlenków metali (MOV)
- Ograniczniki niskich i średnich napięć. Katalog produktów. Apator S.A., 2010.

QUALITY ASSESMENT OF ZnO VARISTORS IN APATOR S.A. COMPANY

Key-words: ZnO varistor, product quality,

Abstract:

The paper presents the cycle of manufacturing of ZnO varistors in APATOR S.A. company. The results of checking the final products quality are also presented.