

Štefan Ševc, Bystrík Dolník, Juraj Kurimský

Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach

## Vplyv teploty na koeficient nelinearity ZnO varistorov

**Abstrakt.** Príspevok je zameraný na sledovanie vplyvu teploty na zmeny elektrických vlastností varistorov. Pre porovnanie sú analyzované voltampérové charakteristiky, merané pri rôznych teplotách vzoriek. Počas testov boli vzorky namáhané prúdovými impulzmi. Veľkosť absorbovanej energie bola kontrolovaná. Pre sledované prípady sú vypočítané a prezentované koeficienty nelinearity.

**Abstract.** In the paper of the study the influence of temperature on the change of the electrical properties of varistors is presented. Volt-ampere characteristics are measured and analyzed. Tests were done at different temperatures of the samples. During the tests, the samples were loaded by current pulses. The amount of the absorbed energy was controlled. To the cases there are calculated and presented nonlinearity coefficients. [Effect of temperature on the coefficient of nonlinearity of ZnO varistors]

**Kľúčové slová:** degradácia, varistor, impulzné namáhanie, teplota

**Keywords:** degradation, varistor, pulse stress, temperature

### Úvod

V súčasnosti, keď cieľom je spoľahlivá a bezpečná prevádzka zariadení, ktorá by mala byť čo možno najdlhšia a tým aj ekonomicky efektívna, sa kladie veľký dôraz aj na zvodiče prepätia. Zvodiče na báze oxidu zinočnatého a karbidu kremičitého sú neustále podrobované mnohým testom a výskumom: napríklad, testujú sa klimatické vplyvy na činnosť zvodičov [1, 2], alebo sa modifikujú ich vlastnosti pomocou vhodných prímies. Pridaním niektorých nových a zmenou použitých prímiesových prvkov je možné dosiahnuť vhodnú modifikáciu výsledného produktu a zvýšiť jeho tepelnú stabilitu a schopnosť absorbovať energiu. Takéto prvky dokážu prijať energiu až  $300 \text{ J/cm}^3$  [3, 4].

Pre testovanie metódou urychleného starnutia sa môže aplikovať impulzné namáhanie [5-7] alebo postupné zahrievanie vzoriek [8]. Základnou charakteristikou, slúžiacou na porovnanie elektrických parametrov varistorov sú volt-ampérové (VA) charakteristiky, ktoré sú merané buď v impulznom režime, alebo pri rôznych veľkostiach stabilizovaného jednosmerného napätia. Cieľom tohto príspevku je prezentácia experimentálnych výsledkov a analýzy vykonanej na komerčne vyrábaných vzorkách na báze oxidu zinočnatého ako sa s narastajúcou teplotou menia elektrické parametre varistorov. Analýzy boli vykonané vo vybraných bodoch VA charakteristík. Okrem toho je poukázané na zmeny parametrov vplyvom impulzného namáhania.

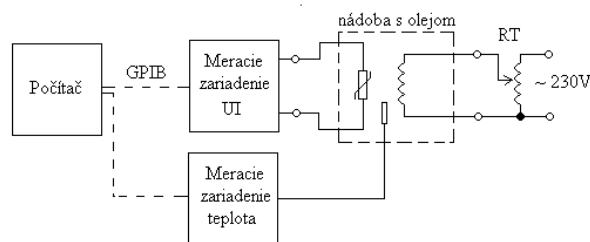
### Metodika

Elektrické parametre varistorov sú sledované vo vybraných a vopred určených bodoch na VA charakteristikách. Typickým výpovedeschopným parametrom je tzv. miliampérový bod. V praxi sú používané aj iné body, ktoré musia byť kvôli reprodukovateľnosti výsledkov v rámci testu alebo experimentu nemenné.

Pri aplikácii jednosmerného testovacieho napätia je vhodné VA charakteristiky merať v dostatočných časových odsupoch, aby sa náboj vzorky neutralizoval. Toto je náročné na čas. Pri zisťovaní závislosti prúdu od napätia je zvolený vhodný krok prírastku napätia. Voltampérová charakteristika varistorov sa delí do troch oblastí [9] a to oblasti zvodových prúdov, pracovnej oblasti a oblasti veľkých prúdov. Oblasť zvodových prúdov predstavuje vysoké hodnoty odporu rádovo  $1\,000 \text{ M}\Omega$ . Z hľadiska elektrického obvodu to, s istými obmedzeniami, predstavuje rozpojený obvod, varistorom preteká veľmi malý (zvodový)

prúd, čiže varistor je v nevodivom stave. V pracovnej oblasti sa varistor správa ako premenlivý odpor, ktorého hodnota odporu sa znižuje. Táto oblasť je aj popísaná vzťahom  $I=kU^\alpha$ . V oblasti veľkých prúdov je hodnota odporu rádovo v jednotkách ohmov. Pri meraniach voltampérových charakteristík je potrebné zabezpečiť, aby teplota vzorky bola konštantná. Preto medzi jednotlivými meraniami je potrebné zabezpečiť dostatočnú tepelnú stabilizáciu. Pri dodržaní týchto zásad sú takto namerané hodnoty reprodukovateľne v rámci danej chyby merania.

Vzorky sú ponorené v silikónovom oleji. Úlohou tohto kvapalného média je zabezpečiť rovnomernú distribúciu a stabilizáciu teploty testovanej vzorky. Ohrev sústavy je riadený zmenou výkonu dodávaného na svorky odporového vyhrevného telesa. Celková schéma obvodu pre merania VA charakteristík je na obrázku 1. Meranie je automatizované a namerané údaje sú zaznamenávané za pomoci výpočtovej techniky.



Obr. 1. Schéma pre meranie VA charakteristík pri rôznych teplotách

Pre sledovanie parametrov varistorov je použitý koeficient nelinearity, ktorý sa označuje  $\alpha$  a je možné ho vypočítať podľa známeho vzťahu:

$$\alpha = \frac{\log \frac{i_2}{i_1}}{\log \frac{u_2}{u_1}} \quad (1)$$

Koeficient nelinearity v praxi nadobúda rôzne hodnoty, pričom platí, že čím väčšia hodnota koeficientu nelinearity, tým viac je VA charakteristika varistora podobná ideálnej VA charakteristike.

Počítajú sa dva koeficienty nelinearity. Prvý,  $\alpha_1$  pri prúde  $i_1 = 1 \text{ }\mu\text{A}$  a druhý,  $\alpha_2$  pri prúde  $i_1 = 100 \text{ }\mu\text{A}$ . Pre prúd  $i_2$  platí,

$i_2 = 1\text{ mA}$ . Hodnota napätí  $u_1$  a  $u_2$  je hodnota zaznamenaná pri tomto prúde. Starnutím vzoriek sa tieto charakteristiky linearizujú, čiže strácajú svoju nelineárnosť.

Skúmané vzorky boli namáhané prúdovými impulzmi. Impulzy spôsobujú zmeny prejavujúce sa na VA charakteristikách. Energiu, ktorú varistor absorbuje počas trvania impulzu možno vypočítať ako:

$$W = \int u(t) \cdot i(t) dt \quad (2)$$

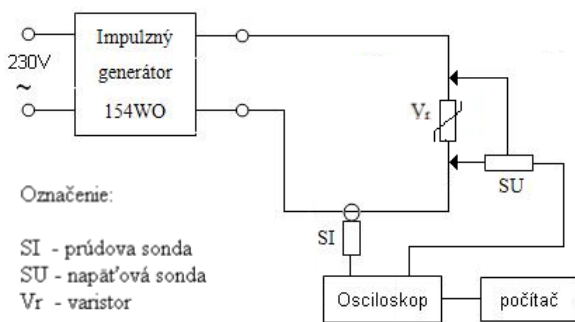
Pričom  $u$  je napätie na varistore,  $i$  je prúd pretekajúci cez varistor a  $t_1$  a  $t_2$  sú časy počiatku a konca trvania impulzu.

Skúmaná nelinearita je typickou vlastnosťou keramik vyrobených na báze oxidu zinočnatého a pochádza zo Shottkyho (back-to-back) obojsmernej bariery medzi polovodivou hranicou a hranicou zrn [10].

### Experiment

Experiment bol realizovaný na komerčne vyrábaných vzorkách varistorov s katalógovým označením 275V595+BC 0551. Opakované merania voltampérových charakteristík boli vykonávané s odstupom 300 sekúnd. Tento čas bol určený experimentálne a bolo preukázané, že zabezpečuje opakovateľnosť hodnôt v rámci zodpovedajúcej presnosti. Meracie prístroje boli prepojené s počítačom a hodnoty boli zaznamenávané automaticky. Z piatich opakovaných meraní VA charakteristík boli vypočítané stredné hodnoty. Tieto údaje boli použité pre výpočet výpovedeschopných parametrov. Merania boli robené pri teplotách od  $0^\circ\text{C}$  po  $80^\circ\text{C}$  s krokom  $10^\circ\text{C}$ .

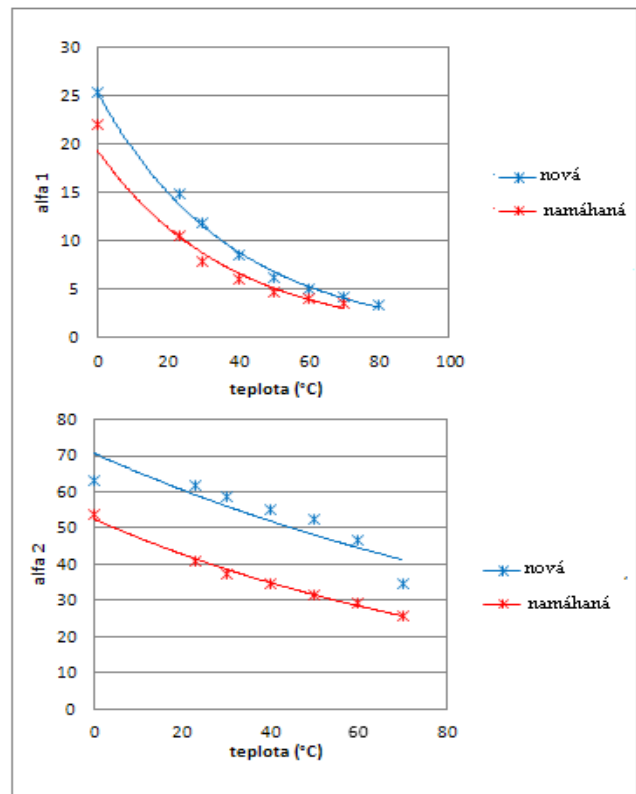
Po sérii meraní VA charakteristík boli vzorky namáhané normalizovanými prúdovými impulzmi s tvarom vlny 8/20  $\mu\text{s}$  s amplitúdou prúdu 1,7 kA, pozri obr. 2. Každá vzorka bola v rámci impulzného zaťaženia namáhaná desiatimi impulzmi a absorbovala energiu približne 315 J. Čas medzi jednotlivými impulzmi bol 70 sekúnd. Bolo experimentálne zistené, že tento čas je dostatočný na tepelnú stabilizáciu vzorky na teplotu okolia.



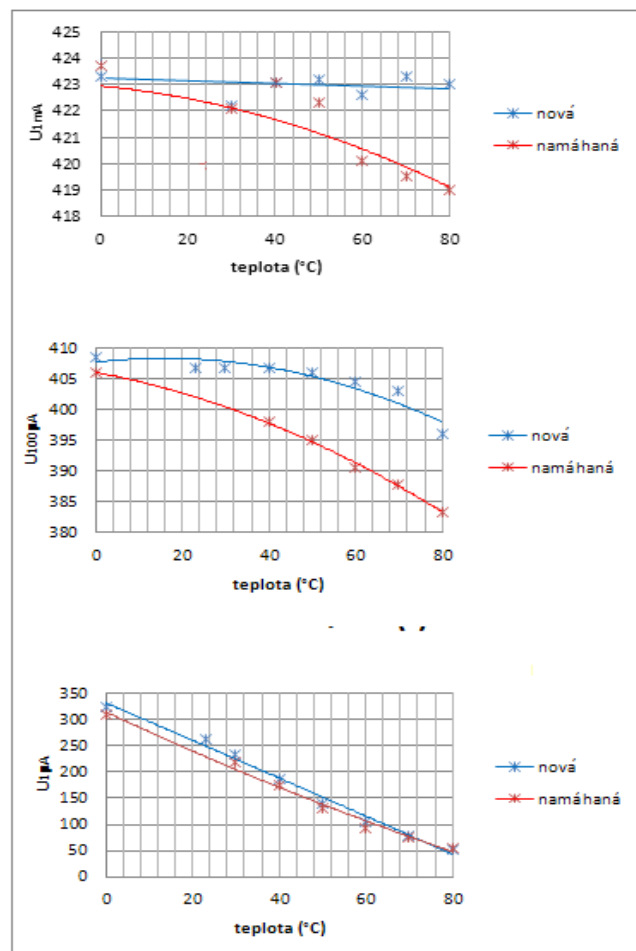
Obr. 2. Schéma zapojenia obvodu pre zaťažovanie vzoriek impulzmi

### Dosiahnuté výsledky a diskusia

Experiment poukazuje na skutočnosť, že koeficient nelinearity je závislý od teploty. Tiež je možné pozorovať, že po zaťažení vzorky desiatimi impulzmi dochádza k degradácii materiálu. Svedčia o tom zmeny na voltampérových charakteristikách a k celkovému zníženiu hodnôt koeficientu nelinearity, porov. obr. 3, 4. S narastajúcou teplotou sa hodnota koeficientu nelinearity znižuje, a to pri všetkých troch meraných vzorkách.



Obr. 3. Závislosť koeficientu nelinearity od teploty a degradácie



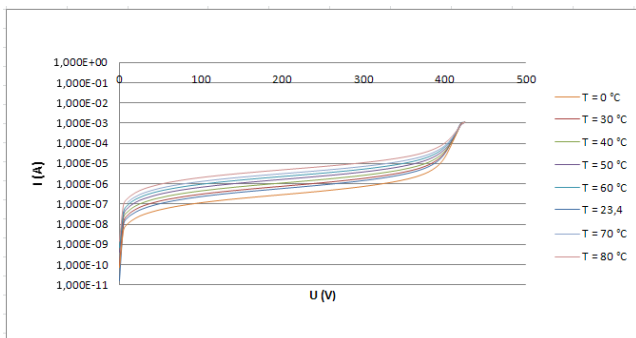
Obr. 4. Grafické závislosti bodov 1 mA, 100  $\mu\text{A}$ , 1  $\mu\text{A}$  od teploty

Výsledky nameraných a vypočítaných hodnôt sú v tab. 1. Uvedené údaje sú z meraní na novej vzorke a po namáhaní impulznou energiou. Veľkosť absorbovanej energie je približne rovnaká pre každý impulz.

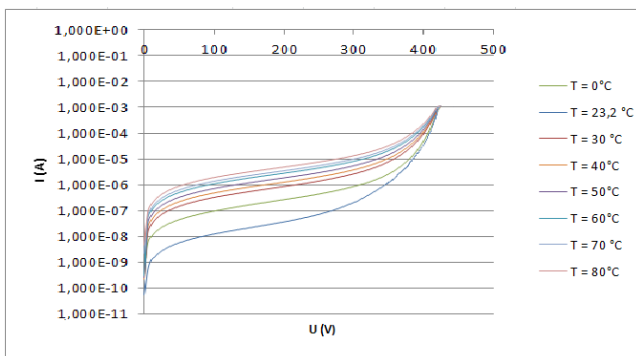
Tab. 1: Tabuľka nameraných a vypočítaných hodnôt

	T (°C)	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$U_{18kA}$ (V)	$U_{100kA}$ (V)	$U_{1mA}$ (V)	impulz	W (J)
nová	0	25,59695	67,40081	322,8	408,6	422,8	1.	29,10308
	23,2	14,81995	69,0211	263,9	406,8	420,6	2.	31,26214
	30	11,76447	61,96829	234,7	406,8	422,2	3.	31,66618
	40	8,515828	58,6095	188	406,8	423,1	4.	31,83193
	50	6,192344	55,16752	138,7	405,9	423,2	5.	31,79653
	60	4,957416	52,60122	104,9	404,5	422,6	6.	31,97132
	70	4,121315	46,61787	79,2	402,9	423,3	7.	32,03611
	80	3,307574	34,77672	52,4	395,9	423	8.	31,82983
	9.							31,69393
namáhaná	0	22,08531	53,95946	309,9	406	423,7	10.	31,83214
	23,2	27,56413	52,92065	345,5	425	4,4390E+02	W <sub>celkové</sub>	315,02318
	30	10,4388	41,01212	218,3	400	423,1		
	40	7,799347	37,4966	174,5	397,9	423,1		
	50	5,940039	34,45426	132	395	422,3		
	60	4,5876	31,51428	93,2	390,5	420,1		
	70	4,062271	29,30475	76,6	387,8	419,5		
	80	3,44762	25,85636	56,5	383,3	419		

Na obr. 5 sú voltampérové charakteristiky novej vzorky pri rôznych teplotách. Na obr. 6 sú VA charakteristiky vzorky po desiatich impulzoch.



Obr. 5. VA charakteristiky novej vzorky pri rôznych teplotách



Obr. 6. VA charakteristiky namáhanej vzorky pri rôznych teplotách

## Záver

Príspevok poukazuje na zmeny elektrických parametrov varistorov vplyvom impulzného namáhania, pričom voltampérové charakteristiky boli merané pri rôznych teplotách. Prezintované výsledky sú čiastkové. Experiment pokračuje v namáhaní vzoriek injektážou prúdových impulzov s definovaným tvarom. Ukazuje sa, že namerané výsledky by mohli prispieť k zefektívneniu preventívnej diagnostiky. Vplyv zostarnutia vzoriek sa prejavuje poklesom hodnôt koeficientu nelinearity.

## Podakovanie

„Tento príspevok vznikol vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj, pre projekt: Univerzitný vedecký park TECHNICOM pre inovačné aplikácie s podporou znalostných technológií, kód ITMS: 26220220182, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.“ „Podporujeme výskumné aktivity na Slovensku/Projekt je spolufinancovaný zo zdrojov EÚ“



## Literatúra

- [1] M. Orvatina, S. Gandomkar, "I-V characteristics of a ZnO thick-film varistor fabricated by cold-pressing method," ASQED 2009. 1st Asia Symposium on Quality Electronic Design, 2009, (1), 233,236, 15-16 July 2009
- [2] J.E.T.W. Neto, E.G. da Costa, T.V. Ferreira, M.J.A. Maia, "Failure Analysis in ZnO Arresters Using Thermal Images," Transmission & Distribution Conference and Exposition: Latin America, 2006. TDC '06. IEEE/PES, (1) 15-18 Aug. 2006.
- [3] S.S. Kim, H.G. Cho, I.S. Choi, T.G. Park, C.H. Park, S.Y. Jung., "A study on the microstructure and surge characteristics of ZnO varistor for distribution arrester", Power System Technology, 2002. Proceedings. PowerCon 2002. International Conference, (4), 2212-2217 2002.
- [4] T. Fukano, M. Mizutani, Y. Kayano, Y. Kasuga, H. Andoh. "Development of GIS type surge arrester applying ultra high voltage gradient ZnO element," Transmission and Distribution Conference and Exposition (T&D), 2012 IEEE PES, (1) 1-5, 7-10 May 2012
- [5] A. Haddad, D. Warne: Advances in High Voltage Engineering: IET Power and Energy Series 40, 2007. 669 s. ISBN 0-85296-158-8
- [6] P. Myndl, (2000). Zkouška trvanlivosti ZnO varistorů. článok publikovaný na webe: <http://elektrika.cz/data/clanky/minemc8000828> (1), 1-2.
- [7] J.C. Montenegro, J.L. Ramirez, "Degradation of zinc oxide varistors," Devices, Circuits and Systems, 1995., Proceedings of the 1995 First IEEE International Caracas Conference on, (1) 352-354, 12-14 Dec 1995.
- [8] B. Dolník, R. Guľas, (2010). Sledovanie zmien elektrických parametrov ZnO varistorov pre siete nízkeho napätia počas urýchleného starnutia. článok publikovaný na webe: (1), 1-9.
- [9] Z. Kubík, J. Skála (2000). Měření a testování odolnosti přepětových ochran RAYCAP standardními testy ve zkušebně vvn. Článok publikovaný na webe: [www.fel.zcu.cz/Data/documents/sem\\_de\\_2011/ing\\_kubik-zcu.pdf](http://www.fel.zcu.cz/Data/documents/sem_de_2011/ing_kubik-zcu.pdf) (1), 1-3.
- [10] Guilai Yin, Jianying Li, Guang Yao, Shengtao Li, "A new view on impulse degradation of ZnO-based ceramics," Properties and Applications of Dielectric Materials, 2009. ICPADM 2009. IEEE 9th International Conference on the, vol., no., pp.1137-1140, 19-23 July 2009

## Autori

Štefan Ševc, Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky Technickej univerzity v Košiciach, Letná 9, 042 00 Košice, E-mail: [stefan.sevec@student.tuke.sk](mailto:stefan.sevec@student.tuke.sk)

Juraj Kurimský, Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky Technickej univerzity v Košiciach, Letná 9, 042 00 Košice, E-mail: [juraj.kurimsky@tuke.sk](mailto:juraj.kurimsky@tuke.sk)

Bystrík Dolník, Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky Technickej univerzity v Košiciach, Letná 9, 042 00 Košice, E-mail: [bystrik.dolnik@tuke.sk](mailto:bystrik.dolnik@tuke.sk)