

Štefan Ševce, Juraj Kurimský

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

Zmeny elektrických parametrov varistorov vplyvom impulzného namáhania

Abstrakt. Príspevku sú popísané elektrofyzikálne charakteristiky varistorov umožňujúce ich preventívnu diagnostiku. Prezintovaná metodika testovania je aplikovaná za účelom sledovania zmien elektrických parametrov varistorov vplyvom impulzného namáhania a porovnania nameraných voltampérových charakteristík.

Abstract. In the paper the electrophysical characteristics of varistor allowing their preventive diagnosis are described. Testing methodology is presented and changes in electrical parameters of the varistor are tracked. Measured current-voltage characteristics are compared and discussed.

Kľúčové slová: varistor, impulzné namáhanie, degradácia.

Keywords: varistor, pulse stress, degradation.

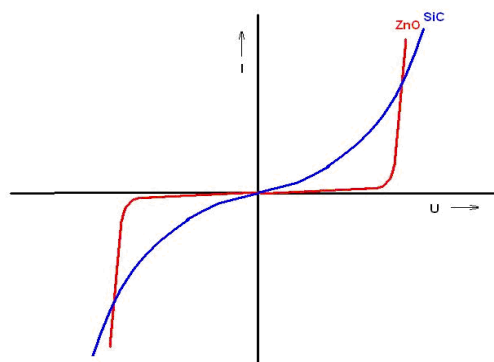
Úvod

Prepätové ochrany sú vystavené namáhaniu v dôsledku prevádzkových, ale aj klimatických podmienok. Tieto podmienky vplyvajú na životnosť týchto ochrán. Vo svete sa súčasnosti robí celý rad výskumov a to napríklad, pri klimatických podmienkach je to test suchým teplom [1], vlhkým teplom [2], rýchlou zmenou teploty, elektrickým, či impulzným namáhaním [3, 4] alebo postupným ohrievaním [1,5]. Všetky tieto metódy sú deštruktívne a dochádza k znehodnoteniu varistorov. Sú známe aj nedeštruktívne testovania a to napr. rezonančná ultrazvuková spektrografia a termálna analýza [4]. Taktiež sa vyžívajú aj počítačové simulácie [6, 7], ktorých nevýhodou je to, že nie je možné daný prvok presne simulovať, pretože každý model predstavuje parametrami práve jeden konkrétny typ varistora, pričom v praxi nie je možné vyrobiť identické varistory. V súčasnosti prebiehajú realizačné výskumy už pred samotnou výrobou varistorov, pričom sú sledované kľúčové materiálové zložky a postup výroby daných varistorov. Tieto prispievajú k výrobe odolnejších varistorov a napomáhajú predĺženiu ich životnosti [8, 9]. Pri impulznom namáhaní sú varistory zaťažované radom impulzov o požadovanom tvare a amplitúde. Vplyv degradácie je pozorovaný zmenou voltampérových (v ďalšom texte VA) charakteristík, pričom nová vzorka má podstatne väčší miliampérový bod, ako degradovaná vzorka [10]. Vplyv teploty zohráva významnú úlohu pri degradácii varistorových zvodíoch prepätia. Preto je potrebné navrhovať tieto ochrany voči prepätiu tak, aby sa bralo do úvahy vhodné chladenie, ako aj istenie voči prehriatiu, inak by došlo k explózií.

Metodika

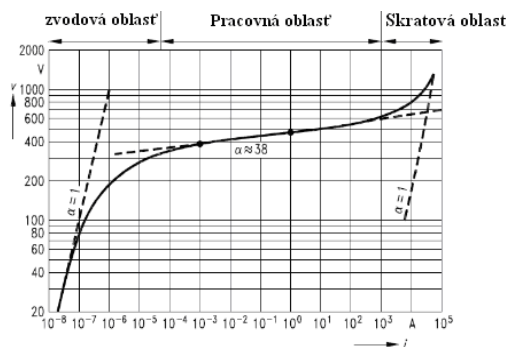
Aby bolo možné odsledovať správanie sa varistorov je potrebné poznať ich voltampérové charakteristiky. Varistory majú symetrickú VA charakteristiku. Pri diagnostike varistorov sa merajú VA charakteristiky, pričom sa porovnávajú zvolené body. Najbežnejším kontrolným bodom je miliampérový bod, ktorý predstavuje hodnotu napätia pri prechode prúdu jeden miliampér. Ďalšie body môžu byť napríklad 10 mA, 300 mA a podobne.

VA charakteristiky varistorov na báze oxidu zinočnatého (ZnO) vykazujú menšie prúdy v zvodovej oblasti a prudší nárast prúdu v pracovnej oblasti v porovnaní s varistorami na báze karbidu kremíka (SiC). Príklad týchto VA charakteristík je na obr. 1.



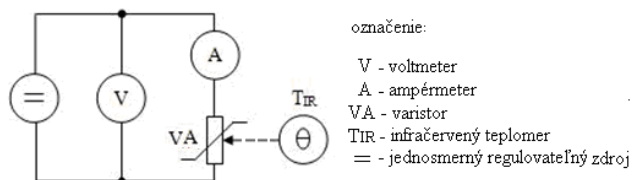
Obr. 1. VA charakteristiky varistorov ZnO a SiC

VA charakteristiku varistorov možno rozdeliť do troch častí, pozri obr. 2. Prvou časťou je zvodová oblasť, kedy varistor dosahuje veľmi vysoké hodnoty odporu a to až približne 109 Ω . Táto hodnota predstavuje hodnotu odporu rozpojeného obvodu. Varistor v tejto oblasti je uzavretý. Druhou časťou je pracovná oblasť, daná vzťahom $I=k \cdot U^\alpha$, pričom I je prúd, U je napätie, k je konštanta a α je koeficientom nelinearity. V tejto oblasti sa hodnota odporu znižuje a varistor sa správa ako premenlivý odpor. Tretou oblasťou je skratová oblasť, ktorá je charakterná tým, že hodnota odporu je v radovo jednotkách ohmov a to je možné predstaviť si ako zopnutý obvod. V tejto oblasti dochádza k obmedzeniu prepätia na požadovanú hodnotu, ktorá je určená zložením varistora [12].



Obr. 2. VA charakteristika varistora SIOV-B60K250 I>0 [12]

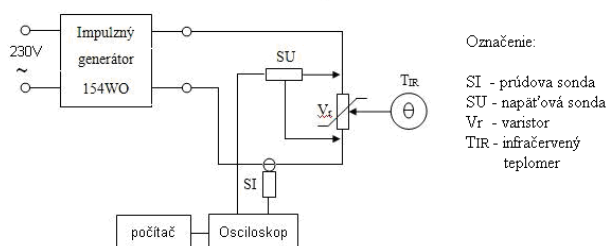
Pri meraní VA charakteristík je nastavená stanovená hodnota prúdu pretekajúceho vzorkou (prúd sa volí väčšinou v rozsahu od 10⁻⁸ až 10⁻³ A) a odčítajú sa hodnoty napätia na elektródach. V blízkosti skratovej oblasti je potrebné počas merania sledovať teplotu meranej vzorky, pretože by mohlo dôjsť k neplánovanej degradácii. Počas merania je potrebné sledovať aj teplotu okolia, pretože pri rozdielnych teplotách varistor vykazuje rozličné charakteristiky. Aby sa minimalizovala chyba merania je potrebné vykonať viacero meraní v určených časových intervaloch a určiť strednú hodnotu. Schéma zapojenia meracieho obvodu je na obr. 3.



Obr. 3. VA charakteristika varistora SIOV-B60K250 I>0 [12]

Experiment

Experiment bol vykonaný na komerčne vyrábaných varistoroch rovnakej šarže. Každý bod na danej VA charakteristike bol meraný 5 krát. Z týchto piatich hodnôt bola určená stredná hodnota (aritmetický priemer). Najprv boli merané VA charakteristiky na nových vzorkách. Potom boli tieto vzorky namáhané impulzmi generovanými prúdovým rázovým generátorom. Zapojenie testovacieho obvodu je na obr. 4.



Obr. 4. Schéma zapojenia pri testovaní impulzným namáhaním

Automatika spúšťača impulzov bola nastavená na 60 sekúnd medzi impulzmi, ktorých počet v jednej sérii bol 10. Čas 60 sekúnd bol volený preto, lebo daná vzorka sa ohrieva, preto bolo potrebné aby mala dostatok času na ochladenie. Pri impulznom namáhaní boli sledované: teplota, priebehy napätia a prúdu. Vzorka č. 1 predstavovala varistor na báze karbidu kremíka. Po siedmych prúdových rázoch bola vzorka zničená. Vzorky č. 2 až č. 4 boli varistory na báze oxidu zinočnatého. Hodnota amplitúdy impulzu prúdu bola 4,36 kA, pričom hodnota, ktorú udáva výrobca v katalógu prechodného nenávratného prúdu pri normalizovanej vlne 8/20 μ s je 4,5 kA. Vzorka č. 2 bola po 50 impulzoch zničená. Následne bola znížená amplitúda prúdového rázu na 1,5 kA čo predstavuje tretinovú hodnotu katalógového nenávratného prúdu. VA charakteristiky na ďalších vzorkách boli merané po každom cykle pozostávajúcom z desiatich impulzov.

Dosiahnuté výsledky

Testovaním sme na komerčne vyrobených vzorkách 2, 3, 4 z katalógovým označením 275V 595+BC 0551 a vzorky č.1 s označením 10K275 bol sledovaný vplyv impulzného namáhaní. Namerané a zhrnuté výsledky testovania sú v tab. 1. Počas merania bol pozorovaný vplyv impulzného namáhaní na celkovú životnosť varistorov. Ukázalo sa, že vzorka č.2 absorbovala najviac energie.

Počas merania VA charakteristík bolo pozorované, že elektrické vlastnosti vzoriek sa menia s teplotou vzoriek. Vplyv teploty bol značný v lineárnej oblasti voltampérovej charakteristiky, kedy boli pozorované najväčšie rozdiely nameraného napätia. Zmena teploty vplyva na zmenu hodnoty napätia pri konštantnom prúde. V tomto experimente to v lineárnej oblasti VA charakteristiky bolo max. 3 V/°C. Vplyv teploty na VA charakteristiky v oblasti nelineárnej je pomerne malý. Vzorka č. 2 bola namáhaná aj teplotne a to teplotou 103 °C počas 1989 hodín. Vplyv dlhodobého tepelného namáhaní bol vzorky č. 2 je očividne prospešný, keďže táto vzorka vykázala schopnosť najväčšej absorpcie impulznej energie pri hodnote amplitúdy testovacieho impulzu blízkej maximálnemu nenávratnému prúdu. Podľa literatúry [12] pri degradácii takéhoto typu varistorov nastáva, ak teplota prekročí hranicu 120 °C.

Tab. 1: Tabuľka nameraných a vypočítaných hodnôt

	U ₁₀ (V)	U ₁₀₀ (V)	α ₁ (-)	α ₂ (-)	W ₁ (J)	W ₁₀₀ (J)	Počet impulzov	U _{imp} (kV)	I _{imp} (kA)
vzorka č.2 (nová)	449,9	434,7826	78,1148	72,1117	3063,518	99,5170	50	1,8	4,36
vzorka č.3 (nová)	443,0	430	78,8459	87,5432	2300,157	80,5228	47	1,64	3,72
vzorka č.3 (40 imp.)	378,0	361,6667	18,5547	34,2169					
vzorka č.4 (nová)	447,1	443,5484	82,0060	92,0986	843,8502	27,2209	31	2,04	1,5
vzorka č.4 (10 imp.)	447,4	432,2581	34,0454	53,9891					
vzorka č.4 (20 imp.)	442,0	425,8065	32,8359	41,2833					
katalógové hodnoty	430	-	-	-	-	104	-	1,8	4,5
vzorka č.1 (nová)	416,0	396,6667	36,1238	60,7316	155,7416	22,2488	7	2,03	1,37
katalógové hodnoty	430	-	-	-	301	43	-	1,8	2,5

Záver

Príspevok poukazuje na zmeny elektrických parametrov varistorov vplyvom impulzného namáhaní, poukazaných na voltampérových charakteristikách. Prezentovaná metodika je možné aplikovať na sledovanie zmien elektrických parametrov varistorov vplyvom impulzného namáhaní. Bolo poukazané, že pri impulznom namáhaní klesá koeficient nelinearity, čo možno využiť pre preventívnu diagnostiku týchto prvkov a tak prispieť k bezpečnosti a spoľahlivosti technických systémov. V ďalšom výskume bude vhodné zamerať sa na experimentálne určenie hodnoty aktivačnej energie, ktorá je prahom nevratného procesu konca životnosti. Za týmto účelom bude potrebné testovať väčší počet vzoriek ako aj vykonať viac variantov impulzného namáhaní.

Literatúra

- [1] M. Orvantinia, S. Gandomkar. "I-V characteristics of a ZnO thick-film varistor fabricated by cold-pressing method," Quality Electronic Design, 2009. ASQED 2009. 1st Asia Symposium, vol. 1, 233-236, 15-16 July, 2009.
- [2] 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, vol.1, 1-5, 15-18 Aug. 2006.
- [3] P. Myndl. Zkouška trvanlivosti ZnO varistorů. Profi elektronika, roč. 2. vol.1, 1-2, 2010.
- [4] A. Haddad, D. Warne: Advances in High Voltage Engineering: IET Power and Energy Series 40, 2007. 669s. ISBN 0-85296-158-8
- [5] B. Dolník, R. Guľas. Sledovanie zmien elektrických parametrov ZnO varistorov pre siete nízkeho napätia počas urýchleného starnutia. Starnutie elektroizolačných systémov, roč. 8. Vol.5, 1-9, 2010.
- [6] M. Glasa. Zníženie ochrannej úrovne poškodených varistorov. Časopis elektrotechnika a energetika, roč. 17, vol. 5, 30-31, 2011.

- [7] M. Glasa. Počítačové modely varistorov používaných v prepäťovej ochrane. Časopis elektrotechnika a energetika, roč. 17, vol. 5, 25-29, 2011.
- [8] 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, vol.4, 2212-2217, 2002.
- [9] 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, vol.1, 1-5, 7-10 Máj 2012
- [10] 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, vol. 1, 352-354, 12-14 Dec 1995.
- [11] 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, vol.4, 2212-2217, 2002.
- [12] Z. Kubík, J. Skála. Měření a testování odolnosti přepětových ochran RAYCAP nestandardními testy ve zkušebně vvn. Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací Západočeská univerzita v Plzni, vol.1, 1-3, 2000.

PodĎakovanie

„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“



Autori:

Štefan Švec, Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky Technickej univerzity v Košiciach, Letná 9, 042 00 Košice, E-mail: 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