

Dôveryhodnosť počítačových modelov prepäťovej ochrany

Glasa Miloš · Elektrotechnika

19.09.2011



Nosnou témou článku je porovnanie rôznych počítačových modelov ZnO varistora a ich dôveryhodnosti. Varistor je nelineárny rezistor s mnohými výhodami. Tie môžu byť efektívne využívané v ochrane voči bleskovým prúdom v triede ochrany I. Jedna z častí pojednáva o schopnosti odolať energii bleskového prúdu bez deštrukcie alebo degradácie elektrických vlastností. Súčasťou je aj porovnanie teoretických predpokladov, výhod a nevýhod v rôznych typoch počítačových modelov. Výsledkom tejto štúdie je dôveryhodnosť navrhovaných a aktuálnych modelov.

1. Úvod

Počítačová alebo numerická simulácia je jednou z moderných možností opisu správania prepätia a jeho vplyvu na chránené zariadenia. Samozrejmosťou je zväzovanie nakoľko je výsledok takých analýz a simulácií dôveryhodný. Tieto metódy majú svoje praktické výhody, ale aj nevýhody, z ktorých niektoré sú aj bližšie opísané. Hlavná výhoda počítačovej simulácie je jednoduchosť na vybavenie laboratória. Medzi ďalšie patrí rýchla zmena parametrov a vlastností zapojeného obvodu počas merania. Najväčšou nevýhodou je porovnanie výsledkov simulácie s laboratórnym overením.

2. Varistor a jeho vlastnosti

Varistor je rezistor, ktorý má symetrickú a nelineárnu závislosť prúdu od napätia. Staršie typy varistorov sa vyrábali z karbidu kremíka SiC. V súčasnosti sa varistory vyrábajú z oxidu zinočnatého ZnO, ktorý je v zmesi oxidov kovov zastúpený približne 95% podielom a zvyšná časť je zastúpená prímiesami, ktoré zvyšujú nelinearitu a stabilitu varistora. Medzi tieto prímiesi patrí: Bi_2O_3 , TiO_2 , CoO , MnO a Sb_2O_3 . Pri nízkej hodnote napätia je varistor takmer v nevodivom stave a má veľký elektrický odpor. Pri vyšších hodnotách napätia varistor prechádza do vodivého stavu a hodnota odporu je malá. Odpor varistora vo vodivom stave tlmí oscilácie, ktoré vznikajú počas pôsobenia prepätia [1, 2].

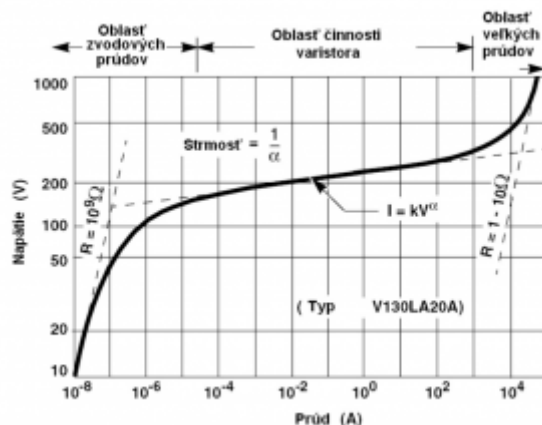
Pri dimenzovaní prepäťovej ochrany s varistorom sa musí rešpektovať hodnota maximálneho prevádzkového napätia, pretože zvýšením amplitúdy napätia sa zvyšuje zvodový prúd tečúci cez varistor a tým aj jeho namáhanie napätím a zvýšenou teplotou. S rastúcou teplotou varistora sa hodnota zvodového prúdu zväčšuje.

V impulznom režime (po dopade prepätia na chránené zariadenie) trvá namáhanie

varistora len krátky čas, ale energia odovzdaná do zeme môže zvýšiť teplotu varistora natolko, že dôjde k jeho tepelnému poškodeniu pri zvýšenom prúde. Prechod impulzného prúdu s veľkou amplitúdou môže spôsobiť silné mechanické namáhanie, vyvolané prudkou zmenou teploty, s následným poškodením varistora. Prevádzková teplota varistora sa pohybuje do hodnoty 120 °C, pri vyššej teplote už dochádza k poškodeniu [1, 3].

$$I = KV^\alpha \quad (1)$$

$$\alpha = \frac{\log(I_2/I_1)}{\log(U_2/U_1)} \quad (2)$$



Obr. 1 V-A charakteristika ZnO Varistora

Problematika schopnosti varistorových zvodíčov odolať bleskovému výboju s veľkou energiou je aktuálne veľmi diskutovanou témou [4]. Záujmom je opis nového typu varistora, ktorý dokáže bezpečne zvládnuť výboje s oveľa väčšou energiou ako je energia bleskového prúdu bez deštrukcie. Hlavnou nevýhodou varistorov už nie je neschopnosť použitia varistorov ako zvodíčov bleskových prúdov v triede I, ale degradácia jeho elektrických vlastností spôsobená impulzným namáhaním [4].

ZBP triedy I kde je hlavným stavebným prvkom varistor, alebo blok varistorov, má mieru tolerancie menšiu ako 2%. Pri tomto návrhu je veľmi podstatný počet varistorov v danom bloku. Na základe testov pri 1 mA sa relatívna miera tolerancie pohybuje vo väzbe medzi varistorami, na základe čoho je možný ich výber do bloku. Výpočet je realizovaný s hodnotami poskytovanými výrobcem [5].

3. Vybrané modely varistora a prepäťových ochrán

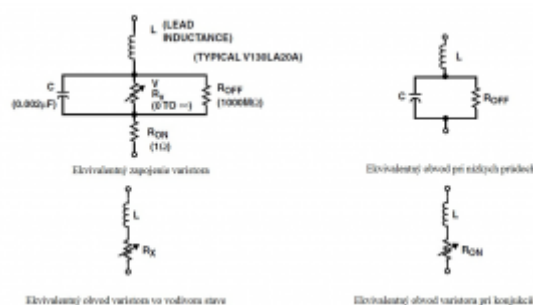
Modelov varistora využívaného v prepäťovej ochrane je niekoľko. V počiatočnej fáze matematických simulácií a analýz vznikol model prezentovaný pod názvom Základný Fyzikálny Model Varistora (Obr. 3). Tento model môže byť použitý na simuláciu či už samotného varistora, ale aj pre zvodíčov prepätia, alebo jeho časti. Podľa vodivého mechanizmu varistorovej mikroštruktúry sa rezistívna časť V-A charakteristiky rozdeľuje na tri časti: nízku, strednú a vysokú prúdovú oblasť [6].

Druhý varistorový model (Obr. 4) vychádza zo štúdie pracovnej skupiny IEEE, ktorý je zároveň odporúčaný aj na štúdie bleskov. Je to frekvenčne závislý model. Nelineárna závislosť V-A charakteristiky pozostáva z dvoch sekcií nelineárnych rezistancií rozdelených pomocou R-L filtra. Pri veľkom náraste prúdu zareaguje impedancia

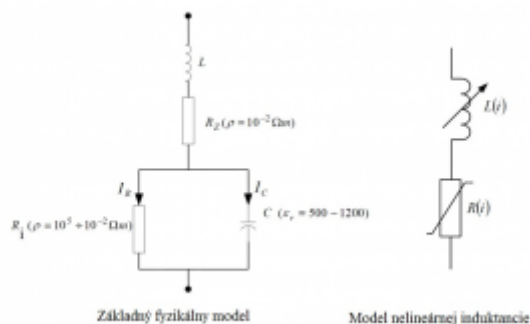
druhého bloku R-L filtra a presmeruje viac prúdu do prvej nelineárnej sekcie V_1 [7].

Nový varistorový model (Obr. 5) kombinuje vlastnosti a výhody oboch predošlých modelov, a je schopný celkom presne určiť správanie varistora. Výsledky sú obzvlášť dobré pri korekcii V-A charakteristík. Výsledky simulácie uskutočnené s novým návrhom modelu boli porovnané s výsledkami meraní a poukázali na to, že simulované hodnoty napätia a prúdu sa veľmi približovali - 1% rozdiel [6].

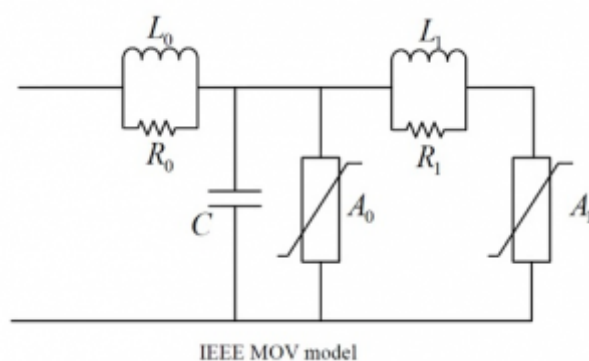
Pinceti a Giannettoni navrhli frekvenčne závislý model varistora (Obr. 6a), ktorý vychádza zo zjednodušenia IEEE modelu (Pinceti, 1999). Páni Diaz a Fernandez sa posunuli ešte o krok ďalej. V ich zjednodušenom riešení (Obr. 6b) sa môžu parametre určovať priamo z katalógov výrobcu.



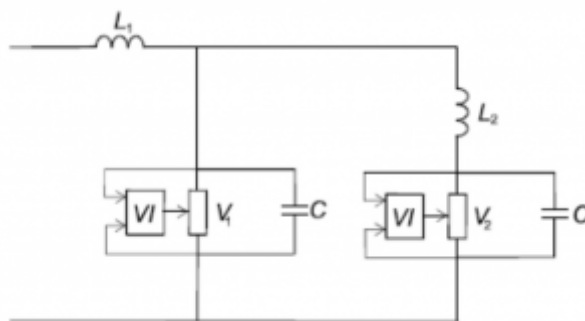
Obr. 2 Náhradné obvody modelov varistora v každej fáze



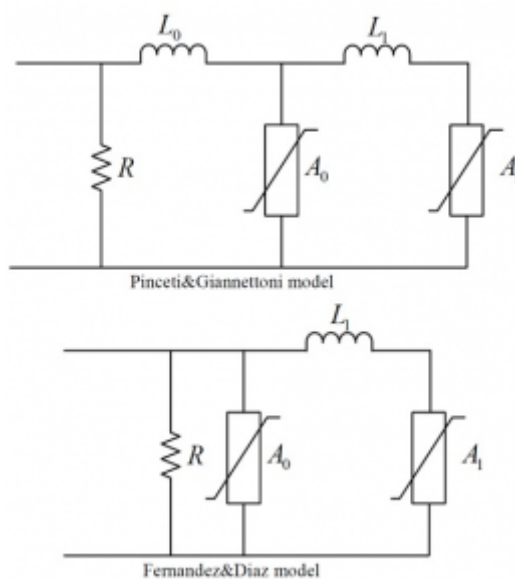
Obr. 3 Základný fyzikálny model a Model nelineárnej indukcie



Obr. 4 Elektrická schéma IEEE modelu



Obr. 5 Návrh nového modelu varistora



Obr. 6 Zjednodušené zapojenia IEEE modelu

4. Komplexné využívanie modelov varistora

Veľmi vhodným nástrojom na počítačovú simuláciu, všeobecne, je program Matlab, ktorý obsahuje už preddefinovaný toolbox bloku zvodiča prepätia. Zvodič prepätia implementuje vysoko nelineárny rezistor používaný na ochranu energetického zariadenia pred prepätím. Nelineárna V-A charakteristika každého bloku zvodiča prepätia je modelovaná pomocou kombinácie troch exponenciálnych funkcií:

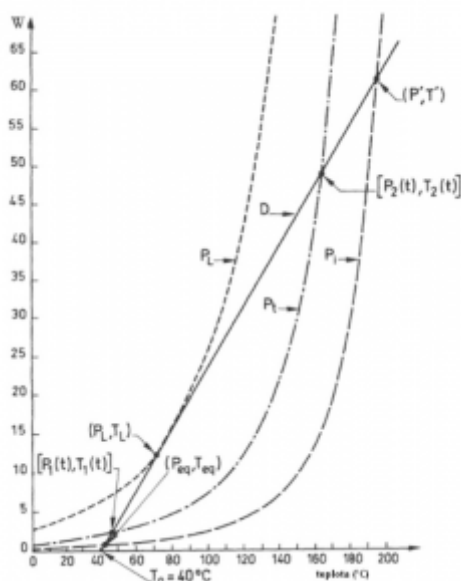
$$\frac{V}{V_{ref}} = k_i \left(\frac{I}{I_{ref}} \right)^{\frac{1}{\alpha_i}} \quad (3)$$

Ochranné napätie jedného bloku je špecifikované pri referenčnom prúde (obvykle 500 alebo 1 kA). Predvolené parametre k a α , uvedené v dialógovom okne, určujú tvar V-A charakteristiky stanovenej výrobcom, pričom tieto hodnoty sa nemenia pri pôsobení ochrany. Požadovaná ochranná úroveň napätia sa získava pridaním diskov oxidu zinočnatého do série v každom bloku. Blok zvodiča prepätia je modelovaný ako zdroj prúdu riadený napätím, ktoré sa objavuje na jeho svorkách. Preto nemôže byť zapojený v sérii s cievkou alebo iným zdrojom prúdu. Vzhľadom k tomu, že zvodič prepätia je vysoko nelineárny, musí byť na simuláciu obvodu použitý integrátor algoritmu. Napätie aplikované na nelineárny odpor je filtrované s časovou konštantou pre dosiahnutie spojitely simulácie.

Znehodnotenie varistorových ZnO zvodíčov môže byť spôsobené: ustavičným aplikovaním AC napätia, impulzným prúdom a chemickou reakciou s atmosférou. Existuje však viacero možností ako sa prejavujú následky znehodnotenia. Jedným z nich je degradácia vlastností varistora, ktorá je pomalým procesom. Ustálenie tohto procesu poklesu životnosti je veľmi potrebné. To je možné aplikovaním energie do zvodíča kvôli dosiahnutiu zmien v charakteristike pre možnosti štúdií. K zisteniu vhodnej hodnoty tejto energie sa využíva vzťah 30, kde je možné určiť hodnotu korešpondujúcu s energiou, pri známom počte blokov a špecifického tepla ZnO bloku.

$$\Delta T = \frac{\int (v(t) \cdot I(t)) dt}{m \cdot c_p} \quad (4)$$

Ďalšia z metód pojednáva o meraní priesaku striedavého prúdu a štúdiu jeho frekvenčného spektra. Suma rezistívneho komponentu prúdu i_r a kapacitného komponentu i_c určuje celkovú hodnotu priesakového prúdu i_T s nelineárnym charakterom. Pozorovaním metód štúdie degradácie varistorových ZnO zvodíčov prepätia bola zhodnotená účelovosť daných metód a to na základe odchýlok hodnôt koeficientu nelinearity a výsledkov merania rozptylu energie. Meranie veľkosti základného signálu striedavého prúdu a tiež meranie tretej a piatej harmonickej vyžadujú pomerne špecifické vybavenie a podmienky.



Obr. 7 Zmena priemernej absorbovanej energie nového a degradovaného bloku ZnO varistora

5. Dôveryhodnosť počítačových modelov v oblasti prepäťovej ochrany

Porovnanie výsledkov a meraní vybraných počítačových modelov varistora vyniesli na povrch niekoľko skutočností. Existujúci model varistora nereprodukuje jeho správanie celkom adekvátne. Tento model nie je schopný opísať dynamické vlastnosti celkom správne. IEEE model je o niečo lepší, avšak porovnanie s experimentálnym overením nie je úplne presné.

Model založený na myšlienkach Pincetiho a Ginnettoniho sa snaží kombinovať vlastnosti oboch predchádzajúcich modelov - základný a IEEE model. Tento je relatívne schopný predpovedať správanie varistora. Ďalší z modelov vykresľuje

správanie a opis elektrických vlastností varistora oveľa kompletnejšie a reálnejšie. Ale tiež ako každý predchádzajúci model, aj tento model má nasledujúce dôvodné problémy:

1. Reakcie modelu varistora sú obsiahnuté v dvoch rezistívnych a nelineárnych elementoch s rozdielnou V-A charakteristikou. Súčasťou je aj deliaci člen [8].
2. Model varistora bol testovaný prúdovými vlnami 8/20 μ s, 10/350 μ s a 0.25/100 μ s [8].

6. Záver

Hlavným dôvodom využívania počítačových modelov varistora je tlak vyvolaný k predchádzaniu ich deštrukcii a degradácii elektrických vlastností. Predchádzaním týmto nepriaznivým javom sa zlepšuje úroveň prepäťovej ochrany samotnej ako aj komplexnému a jednoduchšiemu systému prepäťovej ochrany. Niekoľko simulačných modelov sa tejto problematike venuje pozornejšie. Avšak najväčším problémom zostáva dôveryhodnosť týchto modelov.

Väčšina modelov opisuje správanie varistora iba pre danú oblasť elektrických vlastností. Pomohol by počítačový model varistora, ktorý by dokázal vierohodne opísať degradačných účinkov pri opakovanom pôsobení voči bleskovým prúdom, a jeho výsledky by boli takmer totožné s výsledkami z experimentálnych overení. V tomto smere by mohla byť podstatnejšie využitá Metóda Konečných Prvkov, pretože ide o veľmi rýchly tepelný dej, ktorý poškodzuje varistor. Výhodou tejto metódy sú aj elektro - tepelné analýzy.

Zoznam použitej literatúry

1. Glasa M. (2009): Zvodiče Prepätia: diplomová práca. Bratislava: FEI STU 2009. 78 s.
2. Dolník, B., Guľas, R. (2010): Príspevok k mechanizmu starnutia ZnO varistorov. Starnutie elektroizolačných systémov, ročník 2010, číslo 9, 21-25.
3. Dolník B., Guľas R., (2010): Sledovanie zmien elektrických parametrov ZnO varistorov pre siete nízkeho napätia počas urýchleného starnutia. In: Starnutie elektroiz. systémov, No.8, 4-13.
4. Štagoj A., Murko V., Pirih A., (2006): High Energy lightning impulse discharge capability Metal Oxide Varistors. In: 28th International Conference on Lightning Protection, Kanazawa, Japan, 1097-1100.
5. Ibáñez Olaya H., Ortiz Suárez H., Avendaño C. A., (2006). Design of SPDs class I for low voltage electric systems, using combination of metal oxide varistors. In: 28th International Conference on Lightning Protection, Kanazawa, Japan, 1165-1168.
6. Žitník B., Žitník M., Babuder M., (2006): The ability of different simulation models to describe the behaviour of metal oxide varistors. In: 28th International Conference on Lightning Protection, Kanazawa, Japan, 1113-1116.
7. IEEE Working Group 3. 4. 11 (1992): Modeling of Metal Oxide Surge Arresters, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 7, No. 1.
8. Suljanovic N., Mujcic A., Murko V., (2006): Practical issues of metal-oxide varistor modeling for numerical simulations. In: 28th International Conference on Lightning Protection, Kanazawa, Japan, 1149-1154.

