

Bystrík Dolník, Ján Štefančík

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

## Modelovanie prvkov prepäťových ochranných zariadení

**Abstrakt.** Článok je zameraný na modelovanie prvkov prepäťových ochranných zariadení, ktoré sú používané predovšetkým v sieťach mn a nn. Na simuláciu bola použitá výpočtová technika a program ATP. Elektrické parametre navrhnutých modelov porovnávali sa s reálne nameranými hodnotami v laboratórnych podmienkach. Výsledky komparácie poukazujú na to, že modely možno aplikovať na reálne podmienky v praxi.

**Abstract.** The article is focused on modeling elements of surge protection devices primarily used in low voltage networks. Computer technology and the ATP program to simulate the elements of the SPD was used. Electrical parameters of the proposed models were compared with values measured in laboratory conditions. Results of comparison show that the models can be applied to real conditions in practice. (**Modeling elements of SPD**)

**Kľúčové slová:** prepäťová ochrana, bleskoistka, varistor, ATP.

**Keywords:** surge protection device, discharge tube, arrester, ATP.

### Úvod

Ochrana elektrických zariadení pred účinkami prepätí je nutná kvôli ochrane života a zdravia obsluhujúceho personálu a tiež preto, aby bola zabezpečená bezporuchová prevádzka elektrických zariadení. Táto požiadavka, ochrana elektrických zariadení pred účinkami prepätí, je stanovená normami. Na zabránenie škôd na elektrických zariadeniach používajú sa prepäťové ochranné zariadenia (SPD), nazývané tiež prepäťové ochrany, ktoré musia byť správne navrhnuté a inštalované. Potom možno zabrániť škode na elektrických zariadeniach spôsobené prechodným rušením až po extrémne prejavy účinkov prepätí. Na dosiahnutie takejto úrovne ochrany treba rozumieť tomu, ako ochranné prvky pracujú a vedieť ich správne použiť v konkrétnej situácii. Výkon diskretných ochranných prvkov, ktoré možno dnes použiť na ochranu sa za posledných desať rokov výrazne zlepšil. Rôznorodosť dostupných zariadení umožňuje použiť účinnú kontrolu nad vzniknutými prepätiami. Veľa úsilia bolo vynaložené na vývoj ochranných prvkov pre obmedzenie prechodných javov v počítačovom priemysle, ktorý trval viac ako dve desaťročia [1].

Pri vývoji ochrany proti prepätiam je najúčinnější konceptia viacstupňovej koordinovanej ochrany, skladajúca sa napr. z iskriska, varistora a supresorovej diódy. Tam, kde sú dve alebo viac SPD inštalované jedna za druhou v tom istom obvode, musia sa koordinovať tak, aby si medzi sebou rozdelili energiu podľa svojej absorpčnej kapacity. Keď sa napr. koordinácia navrhuje medzi iskriskom a varistorom, musí varistor odolať zvýšenému namáhaniu energiou až do okamihu reakcie iskriska. Akonáhle napätie na iskrisku dosiahne hodnotu zapalovacieho napätia impulz prúdu zafážuje už iba iskrisko.

### Rozdelenie prvkov SPD

Prvotné triedenie rozlišovalo SPD hrubé a jemné. Odlišené sú konštrukciou, ochrannou hladinou a rýchlosťou reakcie. Medzi hrubé ochrany patria iskriská, výbojkové bleskoistky a varistory, medzi jemné obmedzovacie (supresorové) diódy a Zenerové diódy. Nové triedenie rozlišuje SPD hrubé, stredné a jemné. Medzi stredné SPD patria varistory, hlavne na báze ZnO. K jemným SPD pribudli niektoré typy ZnO varistorov, pretože nové technológie umožnili vyrábať tieto prvky na menovité napätie dosahujúce jednotky voltov. Vyrábajú sa buď v bežnom vyhotovení s vývodmi, alebo ako bezvývodové pre povrchovú montáž. Každý z menovaných prvkov má svoje špecifické fyzikálne vlastnosti. V hrubých ochránach sa využíva výboj v plyne, v stredných a jemných ochránach zasa fyzikálne procesy v tuhých látkach.

Napokon triedenie prvkov SPD podľa noriem s problematikou ochrany elektrických zariadení pred účinkami prepätí je nasledovné: SPD spínajúce napätie a SPD obmedzujúce napätie [2]. Typ SPD spínajúce napätie má vysokú impedanciu pri nepôsobení prepätia, ale je schopné reagovať na impulz prepätia rýchlou zmenou impedancie na nízku hodnotu. Typické príklady prvkov používaných ako zariadenia spínajúce napätie sú: iskriská, bleskoistky naplnené plynom, tyristory a triaky. Typ SPD spínajúce napätie má nespojitú závislosť prúdu od napätia. Typ SPD obmedzujúce napätie má vysokú impedanciu pri nepôsobení napätia, ale znižuje impedanciu plynule s rastúcim impulzom prúdu a napätia. Typické príklady prvkov používaných ako nelineárne zariadenia sú varistory a obmedzujúce diódy. Typ SPD obmedzujúce napätie má spojitú závislosť prúdu od napätia.

### Návrh modelov SPD v programe ATP

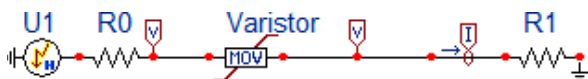
Návrh modelov SPD vychádzal z definície podľa noriem a technických parametrov reálne vyrábaných prvkov používaných pre siete mn a nn. Výbojkové bleskoistky majú v normálnom prevádzkovom stave vysoký odpor vďaka použitiu izolačného puzdra na báze korundovej keramiky. Obvykle sa konštruujú v tvare keramického valca, obojstranne uzavretého kovovými elektródami. Spravidla sú plnené zmesou vzácnych plynov pod slabým tlakom. Majú značnú absorpčnú schopnosť, až  $I_{imp} = 100 \text{ kA}$  (10/350), veľmi malú vlastnú kapacitu (asi 1 pF) a vysoký izolačný odpor ( $>1 \text{ G}\Omega$ ). Aplikčné možnosti bleskoistiek sú obmedzené vzhľadom na ich všeobecne nízke hodnoty samostatne zhasaného následného prúdu ( $I_f \approx 100 \text{ A}_{ef}$ ).

Varistor (Variable Resistor), označovaný tiež ako rezistor VDR (Voltage Dependent Resistor) je nelineárny napäťovo závislý rezistor, ktorý má symetrickú volt-ampérovou charakteristikou z ktorej plynie odlišný princíp činnosti ochrany pred prepätím voči bleskoistke. Kým bleskoistka nebezpečné prepätie na vstupe chráneného zariadenia skratuje, varistor obmedzí napätie na určitú hodnotu takmer nezávislú na pretekajúcom prúde. Varistory sa vyrábajú z oxidu zinočnatého (označujú sa skratkou MOV Metal Oxide Varistor), alebo z karbitu kremíka SiC. Obidva druhy líšia sa predovšetkým strmostou svojej volt-ampérovej charakteristiky, resp. koeficientom nelinearity.

Na modelovanie bleskoistky bol použitý model vybraný z knižnice programu ATP označený ako R(t) Type 97. Nastavované parametre, ktoré treba zadať do modelu sú: zapalovacie napätie a časové oneskorenie, ktoré bolo nastavené na hodnotu 0. Na modelovanie varistora bol použitý model MOV type 92.

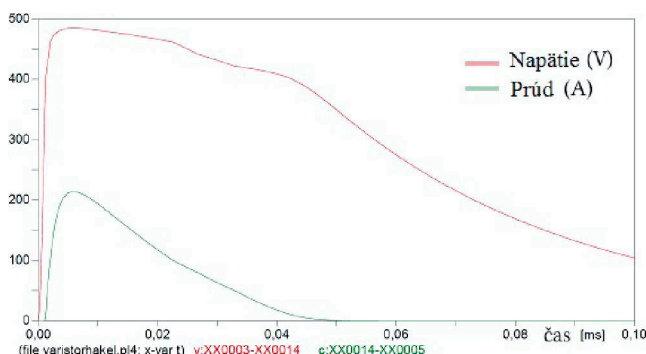


Obr. 1. Schéma zapojenia modelovanejbleskoistky



Obr. 2. Schéma zapojenia modelovaného varistora

V tomto modeli treba zadať body volt-ampérovej charakteristiky varistora, ktoré sa získajú buď meraním, alebo odčítaním z katalógových údajov výrobcu [3]. V našom prípade boli údaje prevzaté z katalógu výrobcu. Okrem toho treba ešte do modelu zadať referenčné napätie.



Obr. 3. Priebeg napätia a prúdu simulovaný v programe ATP

Schéma zapojenia modelovaných prvkov SPD je uvedená na obr. 1 a obr. 2.  $R_0$  je prechodový odpor,  $R_1$  je odpor uzemnenia, ktorý bol uvažovaný s hodnotou  $2 \Omega$ . Na meranie absorbovanej energie jednotlivými prvkami SPD bol použitý modul s definovaným výpočtom energie. Na obr. 3 je zobrazený časový priebeh simulovaného napätia a prúdu na ZnO varistore pre reálne vyrobenú SPD od obvodov nn.

### Experimentálne overenie modelov

Na experimentálne overenie modelov boli realizované merania na bleskoistkách, varistoroch a obmedzujúcich diódach používaných v sieti mn a nn. Ponajprv boli porovnávané parametre zdroja impulzov naprázdno s cieľom korigovať parametre pre zdroj v náhradnej schéme tak, aby bol dosiahnutý normalizovaný impulz napätia, resp. prúdu. Po konečnom nastavení zdroja impulzov boli urobené komparácie simulovanej a nameranej odozvy na impulz napätia.

V prípade varistorov a obmedzujúcich diód porovnávala sa ochranná hladina (zvyškové napätie) v okamihu dosiahnutia maximálnej amplitúdy prúdu; pre bleskoistky bolo určujúce zapalovacie napätie. Okrem samostatných SPD urobili sa modely niektorých komerčných SPD používaných na ochranu elektrických zariadení nn zo strany napájacieho napätia. V tomto prípade bolo možné aplikovať navrhnuté modely prvkov SPD medzi vodiče jednofázového napájacieho napätia L1, N a PE tak, ako to uvádza väčšina výrobcov v katalógoch.

Po vzájomnej komparácii simulovaných a nameraných hodnôt, bolo konštatované, že rozdiel amplitúd napätí simulovaných a nameraných je rádovo v jednotkách voltov, čo predstavuje 1–5 %-nú chybu pre bleskoistky a varistory. V prípade obmedzujúcej diódy bola chyba do 16 %. Dôvod väčšej chyby môže byť v type zvoleného modelu obmedzujúcej diódy v programe ATP. Napriek pomerne presným modelom SPD bude treba ešte urobiť ich zlepšenie s cieľom priblížiť sa k reálnym prevádzkovým podmienkam, ktoré vznikajú v praxi.

### Záver

Modelovanie prvkov SPD pomocou výpočtovej techniky má veľký význam pri návrhu SPD, kontrole na odolnosť navrhnutých prvkov voči účinkom prepätí, na optimálne umiestnenie SPD v elektrickej inštalácii a pod. V práci sú opísané modely prvkov prepätových ochrán a niektorých komerčne vyrábaných SPD pomocou programu ATP.

Na porovnanie navrhnutého modelu realizovali sa merania odozvy SPD na impulzy napätia s definovaným tvarom. Porovnávali sa navzájom ochranné hladiny navrhnutých modelov so skutočnými nameranými hodnotami. Navrhnuté modely prvkov prepätových ochrán boli použité na modelovanie skutočných prepätových ochrán určených na ochranu nn zariadení zo strany napájania.

Na dosiahnutie presnejších výsledkov treba uvažovať s prechodnými javmi počas horenia oblúka a parazitnými väzbami medzi modelmi jednotlivých prvkov SPD v rámci kompletnej SPD.

### Literatúra

- [1] Whitaker, J. C.: AC Power Systems Handbook. Facility Protection Methods. [online]. Kap. 6, 2. vyd., Boca Raton: CRC Press LLC, 1999, [cit. 2011-10-03]. Dostupné na internete: <<http://kazus.ru/nuke/ebookss/230/Chap06.pdf>>.
- [2] STN EN 62305-4: 2006 Ochrana pred bleskom. Časť 4: Elektrické a elektronické systémy v stavbách, 2006. Slovenský ústav technickej normalizácie, 2007.
- [3] Vishay Intertechnology, Inc. Vishay BC components, Varistors, [online]. [cit. 2011-10-03], č. 29081, posledná revízia: 2005-11-28, s. 26–43. Dostupné na internete: <<http://www.sea.com.ua/img/info/vishay/238159.pdf>>.

*Autori vyjadrujú poďakovanie Agentúre na podporu výskumu a vývoja za podporenie tejto práce v rámci projektu APVV-20-006005 a Vedeckej grantovej agentúry Ministerstva školstva Slovenskej republiky a Slovenskej akadémie vied v rámci projektu VEGA-1/0368/09.*

**Autori:** 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)

Ján Štefančík, Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky Technickej univerzity v Košiciach, Letná 9, 042 00 Košice, E-mail: [jan.stefancik@student.tuke.sk](mailto:jan.stefancik@student.tuke.sk)