

Bystrík Dolník, Dominik Smolko

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

## Prenos prepätí do rozvodov nízkeho napätia v rozličných prevádzkach vn elektrických sietí

**Abstrakt.** Článok je zameraný na problematiku zavlčenia prepätí do rozvodov nízkeho napätia a na simuláciu prechodných javov v elektrizačnej sústave vysokého a nízkeho napätia. Porovnávajú sa možnosti prenosu prepätia do rozvodov nízkeho napätia z hľadiska typu prevádzky vn siete a miesta úderu blesku do vedenia.

**Abstract.** The article is focused on the issue of overvoltages transfer to low voltage distribution and the simulation of transient phenomena in HV and LV power system. Possibilities of transmission of overvoltages into low voltage distribution systems in terms of type of high voltage network and place of lightning strike to power lines are compared. (Contribution to Transfer of Overvoltages in Low Voltage Distribution Systems in Various Operations of High Voltage Electricity Networks)

**Kľúčové slová:** EMTP-ATP, simulácia, prepätie, izolácia.

**Keywords:** EMTP-ATP, simulation, overvoltage, insulation.

### Úvod

Technický pokrok v priemysle a vývoj nových technológií má dopad na rozvoj elektroniky. Elektronika používaná v priemysle ako aj v domácnostiach musí byť chránená pred účinkami prepätí, lebo je čoraz viac aplikovaných integrovaných obvodov a iných elektronických prvkov na báze polovodičov, ktoré sú citlivé na vonkajšie i vnútorné elektromagnetické vplyvy spôsobujúce degradáciu. Dôvod na zabezpečenie ochrany zariadení pred prepätiami je v prvom rade kvôli ochrane ľudských životov a kvôli bezpečnosti. Nie menej dôležitá je ochrana informačných zariadení, keď strata zariadenia by bola z finančného hľadiska malá v porovnaní so stratou cenných informácií.

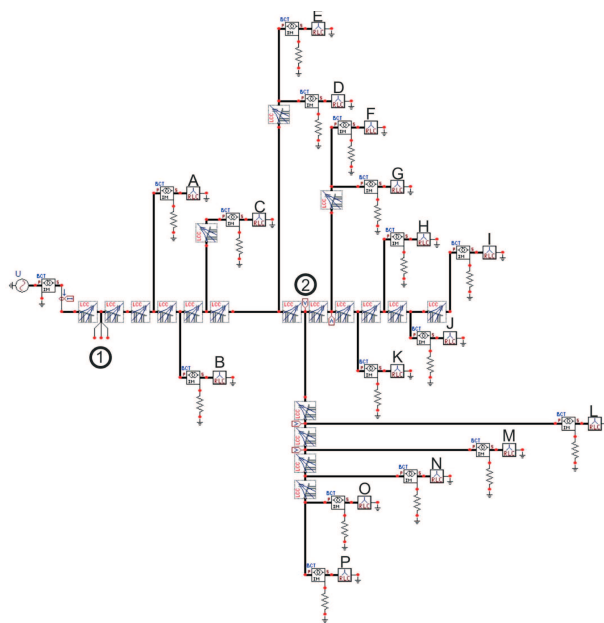
Okrem priamych účinkov prepätí existujú ešte prepätia, ktoré vznikajú napr. ako sekundárna odozva na javy v prírode [1, 2]. Účinnými opatreniami pred účinkami prepätí sa obmedzí ich deštruktívny účinok na elektrické a elektronické zariadenia. Účinná ochrana pred prepätím elektronických rozvodov a zariadení je komplexný systém, ktorého súčasťou je zachytávacie zariadenie, zvody, uzemňovacia sústava, vyrovnanie potenciálov, prepäťové ochrany v kaskádovom zapojení a ekvipotenciálne spájanie. Nie je vhodné čakať na vznik prepätí a až potom ich obmedzovať, ale je lepšie urobiť opatrenia proti ich deštruktívnemu účinku.

Vonkajšie elektrické siete vysokého napätia (vn) a nízkeho napätia (nn) sú charakteristické tým, že môže dôjsť k prepätiu dôsledkom úderu blesku s čím sú spojené následné poruchy a problémy s kvalitou siete. Blesk môže udrieť priamo do stavby, v blízkosti stavby, do inžinierskej siete pripojenej ku stavbe a v blízkosti inžinierskej siete pripojenej ku stavbe. Okrem toho možno očakávať ešte prenesené prepätia. Tie sú spôsobené napr. atmosférickým (spinacím) prepätím na vn vedení a cez distribučný vn/nn transformátor prenesené na stranu nn. Keďže výška vn a nn vonkajších vedení je obmedzená (v porovnaní s ostatnými blízkymi stavbami) nepriame účinky atmosférickej elektriny sú častejšie než priame účinky (úder) [3].

### Model elektrizačnej sústavy

Na simuláciu zavlčenia prepätí z vn siete do nn siete bola použitá časť elektrizačnej sústavy na Slovensku. Uvažované boli impulzy prúdu atmosférického pôvodu s rôznou amplitúdou a s rôznym tvarom s cieľom zistiť, ako uvažované parametre vplyvajú na veľkosť vzniknutého prepätia v elektrizačnej sústave. V náhradnej schéme boli použité tieto časti: elektráreň (zdroj napätia a prúdu), ktorá vyvádza výkon do 110 kV vedenia. Elektrická energia sa pomocou transformátora 110/22 kV transformuje na napätie 22 kV.

Napokon z napäťovej hladiny 22 kV je elektrická energia distribučnými transformátormi 22/0,4 kV privedená k spotrebiteľom do rozvodov nízkeho napätia. Na obr. 1 je znázornený model 22 kV vn siete s izolovaným uzlom transformátora, ktorý bol počas simulácií modifikovaný podľa požiadaviek, napr.: zmena typu vn siete (spôsob uzemnenia uzla transformátora), použitie obmedzovačov prepätia na vn strane, použitie SPD na strane nn.

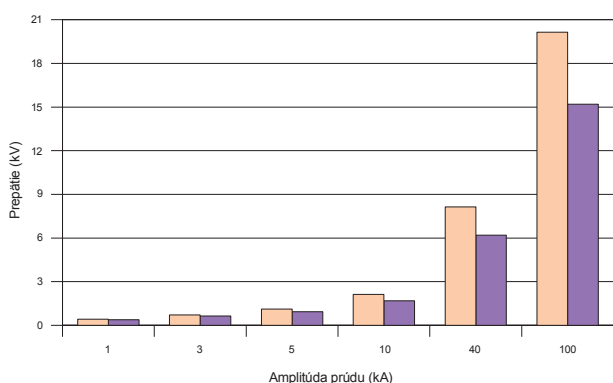


Obr. 1. Model časti elektrizačnej sústavy vn/nn v programe ATP.

Pre lepšie pochopenie jednotlivé vetvy v modeli sú označené písmenami A až P. Číslicami je zasa označené miesto úderu blesku. Body 1 a 2 predstavujú úder blesku do vedenia vn, bod 3 (miesto záťaž I) predstavuje úder blesku do vedenia nn (za transformátorom 22/0,4 kV). Úder blesku bol simulovaný impulzmi prúdu s amplitúdami od 1 kA do 100 kA. V našich klimatických podmienkach sa hodnoty prúdu blesku pohybujú v rozsahu od 20 kA do 40 kA, preto bol dôkladnejšie preskúmaný vplyv prepätí spôsobený atmosférickým impulzom prúdu s amplitúdou 40 kA. Napájanie je modelované pomocou 3-fázového napäťového zdroja. V modeli sa uvažuje so zadávaním maximálneho napätia, preto bolo potrebné napätie prepočítať z efektívnej hodnoty na maximálnu (1).

$$U_m = \frac{110 \cdot \sqrt{2}}{\sqrt{3}} \quad (1)$$

Podobne boli prepočítané amplitúdy napätí pre siete vn a nn. Kontrola napätia a prípadná korekcia napätia sa robila porovnávaním napätí vo vetvách modelu. Ďalšie prvky, ktoré boli použité v modeli sú tieto: vonkajšie vedenie, transformátor, záťaž a zvodič prepätia. Vonkajšie vedenie bolo modelované pomocou článku  $\pi$ ; jedná sa o model so sústredenými parametrami. Model transformátora bol rozšírený o parazitné kapacity a vzájomné kapacity, ktoré treba uvažovať pre rýchle meniace sa deje s cieľom zvýšiť presnosť výpočtu prechodných dejov v obvode. Vzájomné porovnanie prepätí v mieste „A“ s uvažovaním a bez uvažovania parazitných kapacit a vzájomných kapacit je uvedené na obr. 2. Odborné miesta boli modelované ako RL záťaž zapojená do hviezdy s definovaným účinníkom. Zvodič prepätia bol modelovaný ako napätovo závislý rezistor, ktorého volt-ampérová charakteristika bola zadaná v definovaných bodoch, ktoré sú uvedené v katalógu výrobcu.



Obr. 2. Porovnanie amplitúdy prepätia v mieste A s uvažovaním (svetlooranžová) a bez uvažovania (purpurová) parazitných kapacit v modeli transformátora

**Výsledky simulácií**

V simuláciách boli porovnané dva druhy impulzov prúdu: 8/20 10/350. Impulz prúdu s tvarom 10/350 reprezentuje prírodný blesk (priamy účinok), impulz prúdu s tvarom 8/20 zasa nepriame účinky blesku. Výsledky simulácie pre úder blesku do bodu 1 s rozličnými parametrami je v tabuľke 1.

Tabuľka 1. Zavlečenie prepätia do odborných miest pre úder blesku do bodu 1 s rozličnými amplitúdami a tvarmi.

	8/20					10/350				
	1 kA	3 kA	5 kA	10 kA	40 kA	100 kA	1 kA	10 kA	40 kA	100 kA
A	388	836	936	1 686	6 190	15 197	388	2 086	7 970	20 024
B	522	1 211	1 899	3 622	13 958	34 627	500	3 405	13 980	35 226
C	487	1 098	1 708	3 235	12 397	30 720	503	3 830	15 911	37 102
D	471	1 083	1 695	3 226	12 413	33 154	558	4 385	17 934	45 084
E	474	1 098	1 722	3 283	12 642	33 876	565	4 454	18 227	45 837
F	522	1 207	1 894	3 608	13 896	34 472	505	3 874	15 710	39 531
G	522	1 207	1 894	3 608	13 896	34 472	505	3 874	15 710	39 531
H	945	2 542	3 866	8 132	32 089	80 235	1 013	8 943	35 376	88 240
I	615	1 527	2 443	4 733	18 473	45 953	597	4 804	19 827	49 859
J	607	1 488	2 369	4 580	17 862	38 386	590	4 725	19 485	48 993
K	529	1 253	1 979	3 792	14 669	37 729	552	4 350	17 820	44 812
L	540	1 214	1 919	3 681	14 251	37 205	591	4 503	17 939	44 910
M	540	1 257	1 976	3 799	14 783	36 753	547	4 294	16 785	44 101
N	556	1 304	2 053	3 940	15 343	38 153	556	4 388	17 150	45 132
O	553	1 299	2 044	3 919	13 083	37 953	554	4 366	17 073	44 908
P	559	1 316	2 073	3 967	13 764	38 376	559	4 412	17 256	45 409

Z tabuľky 1 je zjavné, že priamy úder blesku spôsobí väčšie prepätie v odborných miestach ako nepriamy účinok blesku. Ako bolo spomenuté, boli urobené simulácie pre rôzne typy prevádzky vn siete s cieľom zistiť, aký má prevádzka vn siete vplyv na veľkosť prepätí. V tabuľke 2 sú uvedené hodnoty prepätí v častiach označených písmenovým a číselným kódom pre rôzne typy prevádzky vn siete. IS je izolovaná sústava, O je sieť s uzemneným uzlom transformátora cez odporník, a PT je kompenzovaná sieť. Uvažuje sa tvar impulzu prúdu 8/20.

Tabuľka 2. Porovnanie prepätí v odborných miestach pre rôzne typy prevádzky vn siete

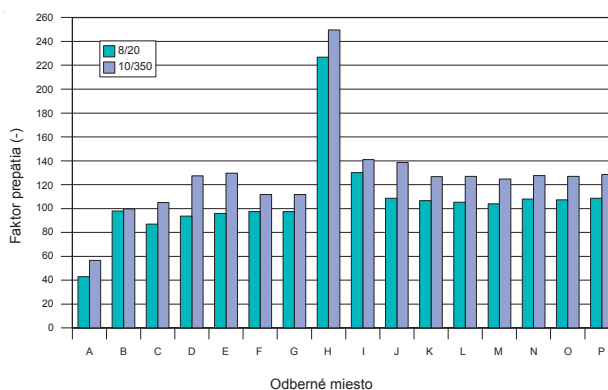
Miesto merania	Prepätie (kV)		
	IS	O	PT
1	23,34	15,99	23,34
1A	20,39	16,42	20,41
A	20,33	16,48	20,34
ED	13,61	10,64	13,58
2	12,27	9,81	12,21
FG	15,76	12,21	15,71
L	13,08	10,95	13,02
M	15,61	12,64	15,51

Porovnaním ľahko možno zistiť tú skutočnosť, že amplitúdy prepätí v izolovanej sieti a v kompenzovanej sieti sa líšia len veľmi málo. V sieti s uzemneným uzlom transformátora cez odporník sú amplitúdy prepätia menšie. Ďalší dôležitý poznatok získaný zo simulácií je ten, že typ vn siete nemá vplyv na amplitúdu zavlečených prepätí do siete nn keď sa neuvažujú zvodiče prepätia na strane vn distribučných transformátorov. V praxi sa inštalujú zvodiče prepätia na vn strane distribučných transformátorov, preto je amplitúda zavlečených prepätí do siete nn ešte menšia.

Na obr. 3 sú uvedené faktory prepätia prepočítané pre sieť nízkeho napätia a úder blesku do vn siete v mieste „1“ podľa obr. 1 bez inštalovaných zvodičov prepätia. Amplitúda prúdu blesku je 100 kA, uvažovaný je priamy a nepriamy účinok blesku (tvary 10/350 a 8/20). Porovnaním faktorov prepätia možno konštatovať, že:

1. priamy účinok blesku spôsobí väčšie prepätie v každom odbornom mieste;
2. prepätie zavlečené do nn siete je rádovo stonásobne väčšie ako menovité napätie.

Poznamenajme, že amplitúda prúdu blesku 100 kA je v našich zemepisných šírkach zriedkavá.

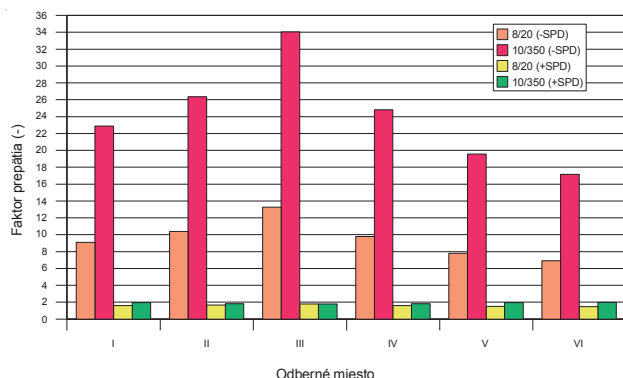


Obr. 3. Faktor prepätia v odborných miestach vypočítaný pre úder blesku v mieste „1“ (pozri obr. 1), amplitúdu prúdu blesku 100 kA a tvar prúdu blesku 10/350 a 8/20.

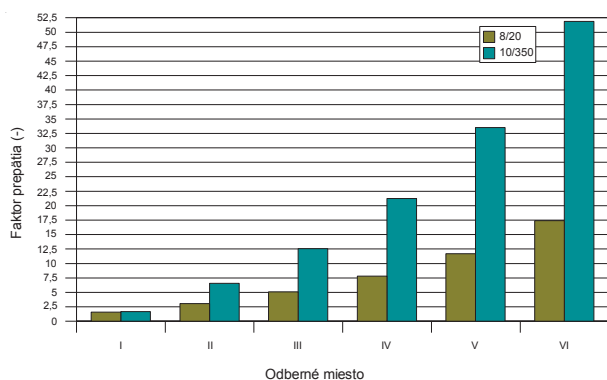
V praxi sú do vn sietí inštalované zvodiče prepätia, ktoré podstatne znížia prepätia zavlečené do nn siete. Za povšimnutie stojí faktor prepätia vypočítaný pre miesto „H“ ktorého hodnota je najväčšia a takmer dvojnásobná voči ostatným faktorom. Okrem úderu blesku do vn siete boli simulované údery blesku do siete nn. Jednotlivé odborné miesta boli nahradené viacerými menšími záťažami navzájom pospájané paralelne vodičmi s dĺžkou 50 metrov. Príklad modelu, ktorý je zobrazený na obr. 4, reprezentuje odborné miesto „E“. Je rozdelené na šesť menších záťaží označených rímskymi číslicami I–VI. Arabskými číslicami sú označené miesta úderu blesku do nn siete. Na porovnanie prípadov priamych a nepriamych účinkov blesku s inštalovanými a bez inštalovaných prepätových ochrán (SPD) uvádzame graf na obr. 5 v ktorom sú uvedené vymenované prípady pre každú záťaž v odbornom mieste „E“ ako je uvedené na obr. 4. Na porovnanie je použitý faktor prepätia vypočítaný pre nn sieť.



Obr. 4. Model časti nn siete (odberné miesto) použitý v programe ATP.



Obr. 5. Faktor prepätia v odbornom mieste „E“ na jednotlivých zátaziach podľa obr. 4; amplitúda prúdu blesku 1 kA, tvar prúdu blesku 10/350 a 8/20.



Obr. 6. Faktor prepätia v odbornom mieste „E“ na jednotlivých zátaziach podľa obr. 4; miesto úderu blesku: „IV“, amplitúda prúdu blesku 1 kA, tvar prúdu blesku 10/350 a 8/20, SPD inštalované v „I“.

Pomocou simulácií potvrdila sa známa skutočnosť, že inštalovaním SPD sa podstatne znížia prepätia na hodnotu, ktorá je pre izoláciu nn elektrických zariadení bezpečná. Bolo by však užitočné vypočítať absorbovanú energiu jednotlivých SPD s cieľom zistiť namáhanie prvkov SPD. Potom projektant môže lepšie navrhnúť menovitý prúd SPD. Simuláciami možno ďalej navrhnúť optimálne rozmiestnenie SPD aby ochrana pred účinkami blesku nebola zbytočne predimenzovaná. Pre lepšie pochopenie spomínaného prípadu boli urobené simulácie úderu blesku do rôznych miest nn siete s použitými SPD a bez nich. Na obr. 6 sú uvedené faktory prepätia pre prepätia spôsobené úderom blesku v mieste „IV“ a inštalovaným SPD v mieste „I“.

V mieste inštalovaného SPD je faktor prepätia najmenší. Jeho ochranný účinok pôsobí ešte v mieste „II“ a „III“. Elektrické zariadenia inštalované vo zvyšných miestach sú už ohrozené prepätiami. V modelovanom prípade boli dĺžky spájacích vedení rovnaké. V prípade použitia rozličných

dĺžok spájacích vedení je charakter rozloženia faktora prepätia odlišný.

### Záver

V elektrizačnej sústave ma najväčší vplyv na namáhanie izolácie elektrických zariadení a na degradáciu zariadení atmosférické prepätie. Škodám možno predchádzať iba pomocou komplexného systému ochrany pred prepätím, ktorý eliminuje nežiaduce účinky prepätí. Simuláciou časti ES (vn a nn siete) pomocou programu EMTP-ATP bolo skúmané zavlečenie (prenos) prepätí do rozvodov nízkeho napätia. Vzájomné porovnanie prepätí vo vn a nn sieti je založené na komparačnej metóde spočívajúcej v stanovení amplitúdy prepätia s inštalovanými a bez inštalovaných zvodíčov prepätia a ich následného zavlečenia do rozvodov nízkeho napätia. Výsledky simulácií potvrdzujú na nutnosť inštalovania zvodíčov prepätí na vn strane. Bez ich inštalácie by dochádzalo k značným škodám na majetku a na elektrických zariadeniach. Veľkým zavlečených prepätí je porovnávaná z pohľadu zapojenia uzla transformátora vo vn sieti. Zavlečenie prepätia na vn vedeniach bez inštalovaných obmedzovačov prepätia závisí od typu prevádzky uzla transformátora. Na zavlečenie prepätí do rozvodov nízkeho napätia nemá spôsob prevádzky uzla transformátora vplyv. Obmedzovače prepätia inštalované na distribučných transformátoroch obmedzia určitú časť prepätia.

Pomocou simulácií bolo taktiež poukázané na nutnosť inštalovania SPD v rozvodoch nízkeho napätia blízko jednotlivých spotrebiteľov, pretože blesk môže udrieť (i keď s oveľa menšou pravdepodobnosťou) do rozvodov nízkeho napätia a v takom prípade už zvodíčov prepätia inštalovaný v sieti vn nepomôže chrániť izoláciu nn elektrických zariadení. V nami urobených simuláciách je porovnávaný vplyv priamych a nepriamych účinkov blesku s rovnakou amplitúdou. Potvrdila sa známa skutočnosť, že priame účinky blesku (impulz prúdu s tvarom 10/350) sú pre izoláciu elektrických zariadení viac nebezpečné z dôvodu väčších prepätí a väčšej deštruktívnej energie.

### Literatúra

- [1] Burant, J.: Blesk a přepětí: Systémová řešení ochran. Praha: FCC Public, 2006. 252 s. ISBN 80-86534-10-3.
- [2] ABB HIGH VOLTAGE TECHNOLOGIES LTD, Division Surge Arresters. High Voltage Surge Arresters – Buyer's Guide. Wettingen, Switzerland: ABB, 08/2008. 51 strán. [online]. [cit. 2011-08-10]. Dostupné na internete: <<http://www.abb.com/product/cz/9AAC710009.aspx?country=00>>.
- [3] Costea, M.: The Effects of Lightning Induced Overvoltages on Low Voltage Power Networks. In *PowerTech, 2009 IEEE Bukurešť*. s. 1–6. [online]. [cit. 2012-01-02]. Dostupné na internete: <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5281814>>.
- [4] E. Kuffel, W. S. Zaengl, J. Kuffel, High Voltage Engineering: Fundamentals. 2<sup>nd</sup> edition, Oxford, UK: Newnes, 2000.
- [5] M. S. Naidu, V. Kamaraju, High Voltage Engineering. 4<sup>th</sup> edition, Tata McGraw-Hill, 2009.



Podporujeme výskumné aktivity na Slovensku / Projekt je spolufinancovaný zo zdrojov EÚ. Tento článok bol vypracovaný v rámci projektu „Centrum excelentnosti integrovaného výskumu a využitia progresívnych materiálov a technológií v oblasti automobilovej elektroniky“, ITMS 26220120055.

**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)

Dominik Smolko, Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky Technickej univerzity v Košiciach, Letná 9, 042 00 Košice, E-mail: [dominik.smolko@student.tuke.sk](mailto:dominik.smolko@student.tuke.sk)