

Dušan Medved'

Modelovanie prechodných dejov pri pripojovaní rozptýlených zdrojov energie v prostredí EMTP ATP

Jednou z aktuálnych úloh v oblasti elektroenergetiky je zabezpečenie stálej dodávky a kvality elektrickej energie. Z toho dôvodu je potrebné sledovať a merať elektrické veličiny, ako napr. fluktuácie prúdov a napätí, prepätia, úbytky napätí, vyššie harmonické, asymetriu napätí vo fázach, zmenu a kolísanie frekvencie napätia a ďalšie, ktoré zapríčiňujú generovanie elektrických strát, poruchy zariadení a pod.

Tento článok sa zaoberá niektorými poruchami, ktoré majú vplyv na vznik nežiaducich elektrických strát. Predchádzanie potenciálnym poruchám vedie k zníženiu strát. Toho je možné dosiahnuť riešením dejov elektrickej siete vo vhodnom počítačovom modelovacom nástroji. Jedným z vhodných nástrojov je softvér Electromagnetic Transient Program (EMTP ATP). Tento softvér je určený hlavne na riešenie a modelovanie prechodných javov a táto jeho vlastnosť bola využitá pri modelovaní. V tomto programe boli modelované pripojenia distribuovaných zdrojov energie a bol zistený maximálny výkon, ktorý je možné v danom momente pripojiť do daného uzla. V tomto príspevku boli ďalej uvedené výsledky pri iných poruchách, ktoré spôsobujú nemalé straty v sústave (skraty, prepätia pri pripojení a odpojení časti sústavy, atmosférické prepätia).

Kľúčové slová: elektrické straty, počítačové modelovanie, EMTP ATP, decentralizované zdroje

I. PROBLÉMY SPÔSOBENÉ PRIPOJOVANÍM DISTRIBUOVANÝCH ZDROJOV ENERGIE

Problémy pripojovania decentralizovaných zdrojov energie do distribučnej siete

Problémy pripojovania veterných elektrární:

- konvenčné zdroje musia byť v stave pohotovosti a pripravené, v prípade náhlej zmeny vetra;
- závislosť od aktuálnej meteorologickej situácie;
- relatívne malý výkon na jednu veternú elektrárňu;
- nie sú schopné prevádzky v prípade, ak rýchlosť vetra je nad 30 m/s alebo pod 3 m/s.

Problémy pripojovania slnečných elektrární:

- konvenčné zdroje musia byť v stave pohotovosti a pripravené, v prípade výpadku slnečnej elektrárne;
- problémy s premenlivým denným svitom v rôznych ročných obdobiach (v decembri je 7-krát menší ako v júli);
- značný rozdiel medzi dňom a nocou.

Problémy pri pripojovaní vodných elektrární:

- generujú elektrinu len v prípade, že je dostatok vody pre daný typ vodnej elektrárne.

EMTP ATP (Electromagnetic Transient Program)

- všeobecne, je možné v tomto programe modelovať elektrickú sieť s 250 uzlami, 300 lineárnymi/nelineárnymi prvkami, 40 prepínačmi, 50 zdrojmi, ...
- obvody môžu byť zostavené z rôznych elektrických prvkov elektrizačnej sústavy, ako napr.:
 - prvky so sústredenými parametrami R, L, C ;
 - prvky so vzájomnými väzbami (transformátory, prenosové vedenia, ...);
 - viacfázové prenosové vedenia so sústredenými alebo rozloženými parametrami, ktoré môžu byť frekvenčne závislé;
 - nelineárne prvky R, L, C ;

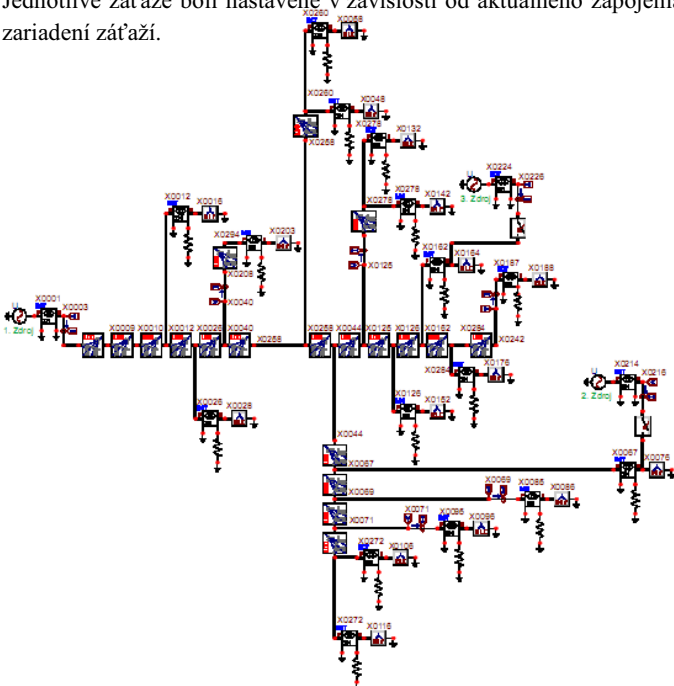
- prepínače s nastavením rôznych spínacích podmienok, ktorými je možné simulovať ochranné prvky, iskrištia, diódy, tyristory a iné zmeny v usporiadaní siete;
- napäťové a prúdové zdroje o rôznych frekvenciách. Taktiež je možné definovať zdroje ako časovo závislé a dané rôznymi matematickými funkciami;
- model trojfázového synchronného stroja s rotorom, budiacim vinutím, tlmiacim vinutím;
- modely univerzálneho motora pre simulovanie trojfázového indukčného motora, jednofázového striedavého a jednosmerného motora;
- riadiace a snímacie prvky.
- Tento program EMTP ATP nie je len výpočtovým. Kvôli lepšej názornosti zobrazenia výsledkov a vkladanie dát, bol tento program rozšírený o ďalšie podprogramy, napr.:
 - ATPDraw – grafický preprocesor;
 - PCPlot, PlotXY, GTPPlot – grafický export dát z ATP;
 - Programmer's File Editor (PFE) – textový editor pre vytváranie a editáciu výstupných súborov;
 - ATP Control Center – program, ktorý sústreďuje všetky riadiace podprogramy do jedného všeobecného riadiaceho okna.

II. VÝBER VHODNÉHO MODELU ČASTI ELEKTRIZAČNEJ SÚSTAVY PRE MODELOVANIE PRIPOJOVANIA DECENTRALIZOVANÝCH ZDROJOV ENERGIE

Pre určenie elektrických strát pri pripojovaní zdrojov energie bola vybraná časť lúčovej siete na východnom Slovensku. Sústava je na napäťovej úrovni 22 kV a je napájaná zo 110 kV uzla cez transformátor. V programe EMTP ATP bola namodelovaná časť tejto sústavy.

Parametre elektrizačnej sústavy

Vstupné parametre zariadení boli vložené podľa získaných údajov (dĺžka, priemer, materiál vedení, parametre transformátorov, atď.). Jednotlivé záťaže boli nastavené v závislosti od aktuálneho zapojenia zariadení záťaží.



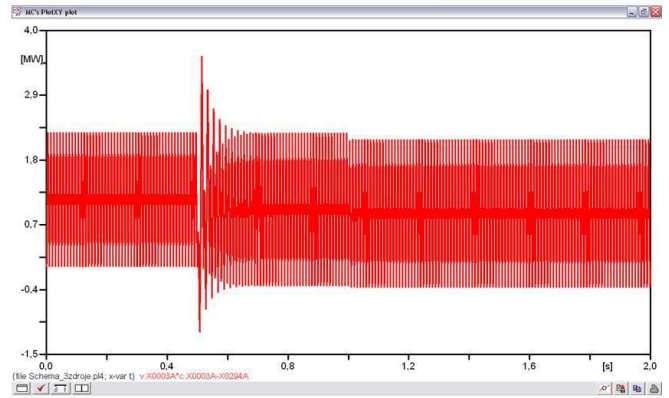
Obr. 1 Schéma časti elektrizačnej sústavy pre simulovanie v EMT-P-ATP

Postup pri pripojovaní zdrojov

- v rôznych miestach siete boli pripojené rôzne zdroje;
- prvý zdroj bol pripojený hneď od začiatku simulácie, druhý bol pripojený v čase 0,5 s a tretí v čase 1 s;
- všetky parametre prvkov siete boli vložené ako štítkové údaje daných prvkov;
- následne, po pripojení sa zmenili napätia a výkony pripojených zdrojov;
- v rôznych miestach siete boli snímané údaje v uzloch siete (napätia, prúdy, ...) a následne zaznamenané a vyhodnotené;
- vypočítal sa maximálny možný pripojený výkon v danom uzle a otestovala sa dovolená odchýlka napätia (napätie v uzle musí po pripojení zdroja splniť podmienku $\pm 2\%$ nominálnej hodnoty v uzle) (pozri podmienky v odkaze [3]);
- výsledky boli vyhodnotené pre fázu L1 (A), nakoľko záťaž je takmer symetrické.

Tab. 1 – Simulácia pripojenia dvoch zdrojov s rôznymi parametrami a maximálnym napätím druhého zdroja 391 V a 333 V tretieho zdroja (zelená farba písma značí maximálne napätie v danom uzle pri pripojení zdrojov, ktoré spĺňa podmienku $\pm 2\%$ nominálnej hodnoty napätia v uzle)

	uzol	uzol	uzol	uzol	uzol	uzol	uzol	uzol
VN	X0003	X0040	X0125	X0069	X0071	X0067	X0162	–
1 [V]	17933	17815	17723	17709	17703	17744	17710	–
1+2 [V]	18090	18105	18089	18094	18088	18129	18075	–
1+2+3[V]	18092	18115	18111	18110	18104	18145	18102	–
NN	X0016	X0058	X0132	X0164	X0188	X0076	X0096	X0116
1 [V]	319,48	317,91	317,95	317,75	318,51	322,7	318,81	318,49
1+2 [V]	322,9	323,98	324,55	324,35	325,13	332,85	325,78	325,45
1+2+3[V]	322,96	324,23	324,92	332,04	325,58	333,12	326,05	325,71



Obr. 2 Výkon prvého zdroja, keď bol prevádzkovaný samostatne (0 – 0,5 s), s druhým zdrojom (0,5 – 1 s) a následne s tretím zdrojom (1 – 2 s)

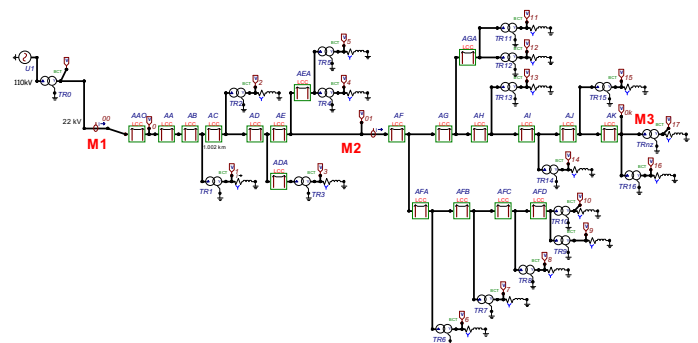
Maximálne napätia, ktoré je možné zvoliť pre jednotlivé zdroje, pri dodržaní podmienky zmeny napätia v každom uzle o max. $\pm 2\%$:

- zdroj 1: $U_{m1} = 89815$ V
- zdroj 2: $U_{m2} = 391$ V
- zdroj 3: $U_{m3} = 333$ V

Maximálny okamžitý výkon meraný v blízkosti pripojených zdrojov:

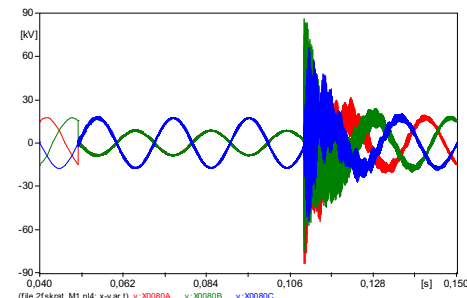
- výkon zdroja 1 (samostatne) = **2,2643 MW**
- výkon zdrojov 1 a 2 = **3,5280 MW** = 2,2541 MW + 1,2739 MW
- výkon zdrojov 1, 2 a 3 = **3,5653 MW** = 2,1458 MW + 1,2621 MW + 0,1574 MW

III. SIMULÁCIA PRECHODNÝCH DEJOV NA ČASTI



ELEKTRIČAČNEJ SÚSTAVY V PROSTREDÍ EMT-P-ATP

Obr. 3 Náhradná schéma pre simuláciu prechodných dejov v miestach



porúch a snímania M1, M2, M3

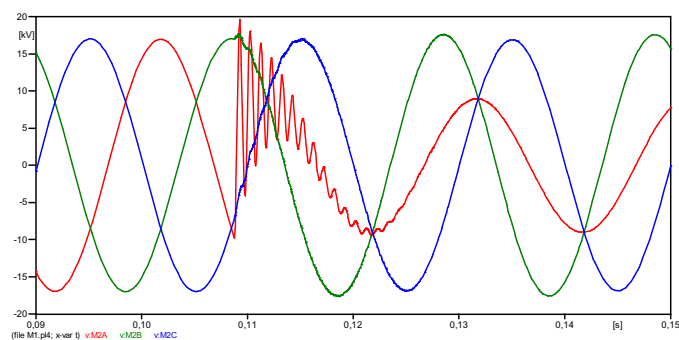
Obr. 4 Priebeh napätia pred (do 0,05 s) a počas 2-fázového skratu (0,05 až 0,11 s), ktorý vznikol v mieste M1 a bol snímaný v mieste M1 (vznik prepätia po odstránení skratu v čase 0,11 s) (pozri Obr. 3)

Tab. 2 – Dvojfázový skrat – namerané údaje

Miesto merania	Miesto M1	Ustálený stav	Prepätie pri vypnutí skratu	Prúd pri vzniku skratu
	Vzájomná vzdialenosť [km]	U [V]	U [V]	i_p [A]
M1	0	17309	88722	3124,1
M2	4,110	16969	71133	197,08
M3	8,121	16701	69032	36,975

Miesto merania	Miesto M2	Ustálený stav	Prepätie pri vypnutí skratu	Prúd pri vzniku skratu
	Vzájomná vzdialenosť [km]	U [V]	U [V]	i_p [A]
M1	-4,110	17309	167630	2536,6
M2	0	16969	178690	2697,5
M3	4,011	16701	163660	36,975

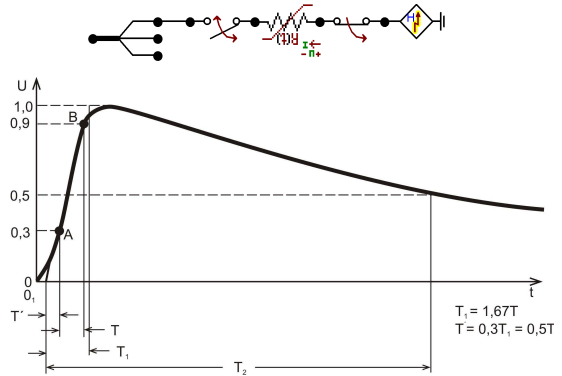
Miesto merania	Miesto M3	Ustálený stav	Prepätie pri vypnutí skratu	Prúd pri vzniku skratu
	Vzájomná vzdialenosť [km]	U [V]	U [V]	i_p [A]
M1	7,466	17309	69409	1881,2
M2	4,011	16969	67746	1854
M3	0	16701	98249	1938



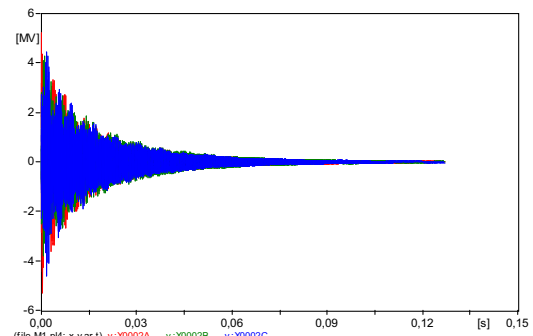
Obr. 5 Priebeh napätia počas prerušenia fázy v mieste M1, merané v mieste M2 (pozri Obr. 3)

Atmosférické prepätie

Počas priameho zásahu blesku do vedenia vn, bola impedancia vedenia $Z_0 = 300 \div 500 \Omega$ a veľkosť prúdu $I = 20 \text{ kA}$, potom teoretická špičková hodnota prepät'ovej vlny je v rozsahu $3 \div 5 \text{ MV}$.



Obr. 6 Náhradná schéma pre simulovanie bleskov a priebeh normalizovaného prepät'ového impulzu



Obr. 7 Simulácia priameho zásahu blesku do prípojnice 22 kV v mieste M1 (pozri Obr. 3)

Tab. 3 Atmosférické prepätie – namerané hodnoty

Miesto merania	Miesto M1	Ustálený stav	Prepätie
	Vzájomná vzdialenosť [km]	U [V]	U [V]
M1	0	17309	5,304
M2	4,110	16969	4,96
M3	8,121	16701	2,832

Miesto merania	Miesto M2	Ustálený stav	Prepätie
	Vzájomná vzdialenosť [km]	U [V]	U [V]
M1	-4,110	17309	2,65
M2	0	16969	4,01
M3	4,011	16701	4,28

Miesto merania	Miesto M3	Ustálený stav	Prepätie
	Vzájomná vzdialenosť [km]	U [V]	U [V]
M1	4,011	16969	6,23
M3	-	16701	10,43
M2	4,011	16969	6,23

IV. ZÁVER

- využitím nástroja EMTP-ATP je možné relatívne rýchlo zistiť veličiny potrebné pri pripojení nového zdroja energie (zmenu napätia, skratové pomery, prepätia, ...) a určiť veľkosť elektrických strát na jednotlivých zariadeniach;
- boli potvrdené teoretické predpoklady, že najdôležitejšie miesta s najvyššou zmenou danej veličiny sú najbližšie vetvy k danému uzlu pripojeného zdroja, ako napr.:
 - najvyšší rast napätia bol zaznamenaný v uzle, do ktorého bol pripojený zdroj;
 - najvyšší skratový prúd bol zaznamenaný rovnako v uzle, do ktorého bol pripojený nový zdroj;
- aby bolo možno do daných uzlov pripojiť nové zdroje, vypočítal a odsimuloval sa maximálny výkon s príslušným napätím v danom uzle, ktorý je možné pripojiť tak, aby sa dodržala napäťová odchýlka daná distribučnou spoločnosťou;
- podobný algoritmus výpočtu je možné použiť aj pre podobné siete pre otestovanie vplyvu nových zdrojov na napájajúcu sieť.

POĎAKOVANIE

Táto práca vznikla za podpory Agentúry na podporu výskumu a vývoja v rámci projektu APVV-0385-07 a Vedeckej grantovej agentúry Ministerstva školstva Slovenskej republiky a Slovenskej akadémie vied v rámci projektu VEGA-1/0166/10.

LITERATÚRA

- [1] Szathmáry, P., Kanálik, M., Rusnák, J., Hvizdoš, M.: *Nepriaznivé vplyvy nesymetrie napätia na elektrické zariadenia a možnosti ich eliminácie*. In: AT&P journal. Č. 2 (2010), s. 51-53. ISSN 1336-233X.
- [2] Kolcun, M.: *Electric power system operation control*. In: Efektynosc w sektorze dystrybucji energii elektrycznej: aspekty techniczne. – Bydgoszcz: Wydawnictwo Tekst, 2009. pp. 113-134. ISBN 978-83-7208-022-6.
- [3] Východoslovenská distribučná a.s.: *Postup pripájania zdroja na výrobu elektriny do distribučnej sústavy Východoslovenskej distribučnej, a.s.* [online]. Košice, jún 2008, [cit 2010-04-05]. Dostupné na internete: <http://www.vsds.sk/wps/PA_1_EMLKAB1A00E440ISIH6LI70040/content/b2c-vsds.C1300.A/doc/20090921_PostupPripajaniaZdroja.pdf>.
- [4] Kolcun, M., Hlubeň, D., Mészáros, A., Beňa, E.: *Využitie špecializovaného transformátora na reguláciu tokov činných výkonov v elektrizačnej sústave*. In: Elektroenergetika 2009: proceedings of the fifth international scientific symposium: September 23 - 25, 2009, Stará Lesná, Slovakia. Košice: TU, 2009. pp. 459-464. ISBN 978-80-553-0237-9.

ADRESY AUTOROV

Dušan Medved', Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská republika, Dusan.Medved@tuke.sk