

Stanislav Kušník, Vladimír Krištof, Ľubomír Beňa, Michal Kolcun

## Využitie špecializovaných zariadení na reguláciu tokov výkonov

Článok sa zoberá špeciálnymi zariadeniami, ktoré sa využívajú k regulácii tokov výkonov v elektrizačných sústavách. V predkladanom článku je analyzovaná jednoduchá štrnásť uzlová sieť. Daná analýza bola vykonaná za použitia programu NEPLAN.

Každým dňom dochádza k čoraz väčšej spotrebe elektrickej energie, tento rastúci trend má za následok vznik problémov, ktoré musia prevádzkovatelia elektrizačných sústav riešiť čoraz častejšie a vynakladať do ich riešenia nemalé finančné prostriedky. Jedným z vážnych problémov súčasnej elektroenergetiky je výrazné zaťaženie, prípadne preťaženie niektorých prenosových vedení. Toto preťaženie môže mať za následok vypnutie daného vedenia. Práve pri vypnutí vedenia, sa situácia môže ešte viac skomplikovať, keďže vypnutie preťaženého vedenia môže spôsobiť preťaženie a následné vypnutie ďalších vedení (tzv. dominový efekt). Jedným z riešení daného problému je použitie špeciálnych zariadení určených k regulácii tokov výkonov, ako sú FACTS zariadenia, HVDC zariadenia, prípadne PST transformátory. Rozsah použitia FACTS zariadení je ďaleko rozsiahlejší a práve to ich predurčuje k čoraz častejšiemu použitiu v elektrizačných sústavách

Kľúčové slová: elektrizačná sústava, regulácia tokov výkonov, FACTS, HVDC, PST, UPFC

### ÚVOD

Rýchlo sa meniaci trh s elektrinou priniesol prevádzkovateľom prenosových sústav nové problémy a nové výzvy. Dopyt po elektrickej energii rastie každým dňom a je obzvlášť silný v krajinách s rozvinutým priemyslom. Nárast spotreby elektrickej energie sa každoročne zvyšuje a je spôsobený čoraz väčšou náročnosťou obyvateľstva na technológie a zvyšujúci sa životný štandard. Neustále sa zvyšujúca spotreba elektrickej energie núti prevádzkovateľov budovať nové vedenia a zavádzať progresívne technológie. Budovanie vedení je z pohľadu dodržania všetkých právnych náležitostí obzvlášť náročný a zdĺhavý proces, hlavne vo vyspelých krajinách. Vzhľadom k týmto okolnostiam odborníci hľadajú spôsoby ako využiť už existujúce vedenia čo najefektívnejšie. Práve k tomuto účelu slúžia zariadenia FACTS, HVDC a PST.

Jedným z vážnych problémov súčasnej elektroenergetiky je zvyšujúci sa počet úzkych miest t.j. výkony prenášané medzištátnymi vedeniami sa približujú k maximálnym výkonom, ktoré je možné preniesť danými vedeniami. Týmto dochádza k nebezpečnej situácii, kedy môže dôjsť k preťaženiu daného vedenia a následne k jeho odpojeniu, v dôsledku čoho dôjde k preťaženiu ďalších vedení a následne aj k ich odpojeniu. Problém úzkych miest sa týka aj elektrizačnej sústavy Slovenskej republiky. V prípade určitých režimových stavov (pri vypínaní profilu medzi Českou elektrizačnou sústavou a Rakúskou elektrizačnou sústavou) môže dôjsť k úzkemu miestu na profile medzi Slovenskom a Maďarskom.



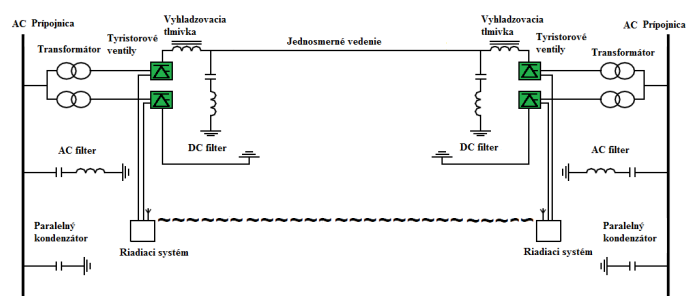
Obr. 1. Namerané cezhraničné prenosy elektriny v GWh za rok 2009.

Z predchádzajúceho obrázku je zrejmé, že siete elektrizačnej sústavy Slovenskej republiky sú zaťažované medzinárodnými tranzitmi hlavne v smere zo severu na juh. A práve na týchto vedeniach by malo zmysel uvažovať o použití špeciálnych zariadení určených k regulácii tokov výkonov [1, 2].

### I. HVDC

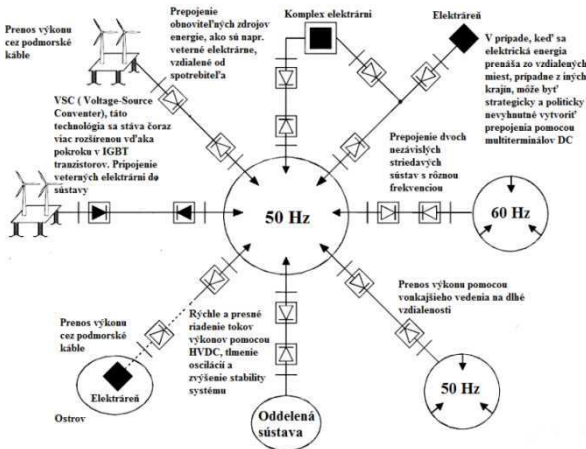
HVDC - High Voltage Direct Current predstavuje medzičlánok v striedavej sústave, zložený z usmerňovača, jednosmerného vedenia, striadača a celého radu príslušenstiev, hlavne filtrov na potlačenie vplyvu vyšších harmonických na striedavú sieť. Používanie technológie HVDC na dlhé vzdialenosti je cenovo výhodnejšie, ale vyžaduje komplikovanejšie a drahšie zariadenia na oboch koncoch vedenia. Preto technológia HVDC našla svoje uplatnenie v menej bežných prípadoch, ako je prenos elektriny na dlhšie vzdialenosti alebo prepojenie oddelených elektrizačných sústav, ktoré nie je možné prevádzkovať na základe tradičných striedavých princípov. Stanice HVDC sú veľmi dobre regulovateľné a umožňujú podľa potrieb rýchlo meniť veľkosti a smery prenášaných výkonov [1, 7].

V dôsledku odstavenia jadrovej elektrárne V1 Jaslovské Bohunice, a do vybudovania 3. a 4. bloku jadrovej Elektrárne Mochovce, Slovenská vláda upozornila na potrebu dovozu elektriny. Jednou z ponúkaných možností bol dovoz elektriny z Ukrajiny, a práve prepojenie týchto sústav sa malo realizovať pomocou jednosmernej spojky.



Obr. 2. Schéma jednosmerného prenosu.

Technológia HVDC našla svoje uplatnenie v rôznych oblastiach elektroenergetiky. Oblasti použitia môžeme vidieť na nasledujúcom obrázku.

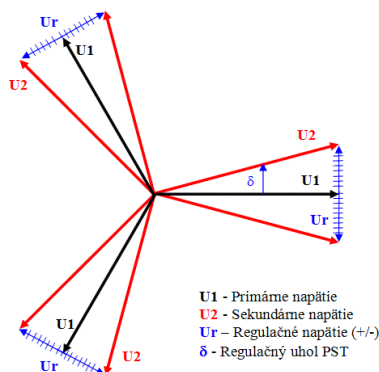


Obr. 3. Využitie HVDC [7].

**PST**

Transformátory PST sa používajú v prenosových sústavách na riadenie tokov výkonu. Posúvajú uhly vstupného fázora napätia a fázora prúdu o uhol, ktorý je možné zmeniť prepínačom odbočiek. Pracujú tak, že k vstupnému fázoru napätia sa pridá fázor napätia, najčastejšie s uhlom  $\pm 90^\circ$  vzhľadom na vstupné napätie. Priečne napätie pridávané k fázovému napätiu v trojfázových transformátoroch je možné získať z ostatných fáz. Vzhľadom na to, že existuje mnoho spôsobov, ako to dosiahnuť, existuje množstvo konfigurácií pre tieto transformátory [3]. Rozvoj výkonovej polovodičovej elektroniky a jej aplikácia v riadení transformátorov rozšírila oblasti použitia transformátorov s uhlovou reguláciou. Moderný, tyristorovo riadený transformátor s uhlovou reguláciou TCPST, je možné využiť na zlepšenie dynamickej stability sústavy, tlmenie výkonových oscilácií.

Regulácia tokov výkonov u PST transformátorov je skoková, na rozdiel od FACTS zariadení, kde je regulácia pomerne rýchla a spojitá.



Obr. 4. Fázorový diagram PST transformátora.

**FACTS**

Flexible electric transmission systems (striedavé prenosové systémy na báze výkonovej elektroniky) patria k progresívnym

technológiám v elektroenergetike. FACTS zariadenia sa využívajú na optimalizáciu už existujúcich prenosových vedení. Medzi regulovateľné parametre týchto zariadení patrí napr.: napätie, prúd, impedancia, fázový uhol [6].

Skupina týchto zariadení je pomerne široká, ako aj oblasť ich použitia. Medzi zariadenia FACTS na reguláciu tokov činných výkonov patria:

- Tyristorovo riadený sériový kondenzátor (TCSC)
- Tyristorovo spínaný sériový kondenzátor (TSSC)
- Statický synchronný sériový kompenzátor (SSSC)
- Unifikovaný regulátor toku výkonu (UPFC)

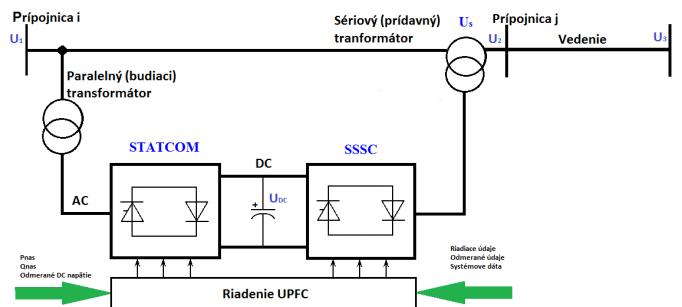
Článok sa ďalej zaoberá reguláciou tokov výkonov použitím UPFC.

**UPFC**

UPFC je jedno z najkomplexnejších zariadení zo skupiny FACTS, toto zariadenie je schopné vykonávať funkcie iných FACTS zariadení. UPFC predstavuje kombináciu statického synchronného kompenzátoru (STATCOM) a statického sériového synchronného kompenzátoru (SSSC). Tieto kompenzátory sú navzájom prepojené jednosmernou linkou, za účelom obojsmerného prenosu činného výkonu medzi nimi. [4]

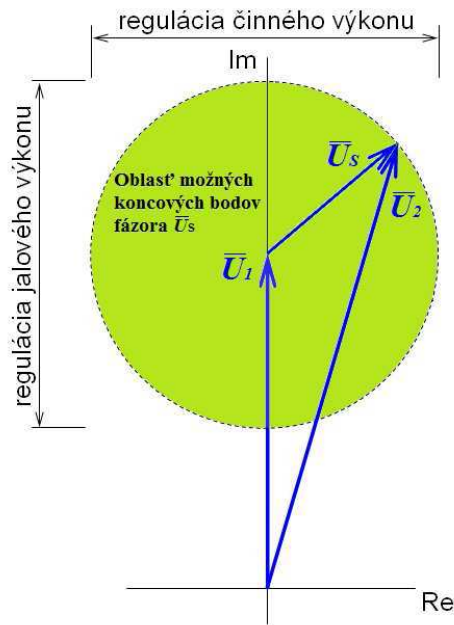
Pomocou tohto regulátora je možné vykonať:

- reguláciu napätia,
- sériovú kapacitnú kompenzáciu,
- reguláciu fázového uhla,
- nezávislé regulovanie toku činného výkonu a jalového výkonu.



Obr. 5. Principiálna schéma UPFC.

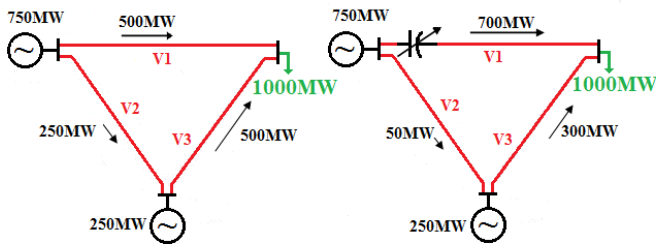
Sériový menič injektuje striedavé napätie  $U_s$ , ktoré vzhľadom k vstupnému napätiu  $U_1$  môže byť ľubovoľne natočené a môže mať ľubovoľnú amplitúdu v rozsahu  $0 \leq U_s \leq U_{s, \max}$ . Sériový menič teda môže pracovať v štyroch kvadrantoch a riadiť nezávisle činný a jalový výkon prenosového vedenia.



Obr. 6. Fázorový diagram UPFC.

**JEDNODUCHÁ TROJUZLOVÁ SIĚŤ**

Daná sieť bola modelovaná v programe NEPLAN.



Obr. 7. Model jednoduchej trojuzlovej siete.

Predpokladajme jednoduchú trojuzlovú sieť. Toky činných výkonov danými vedeniami sa prerozdedia podľa parametrov danej siete, resp. podľa nasledujúceho vzťahu:

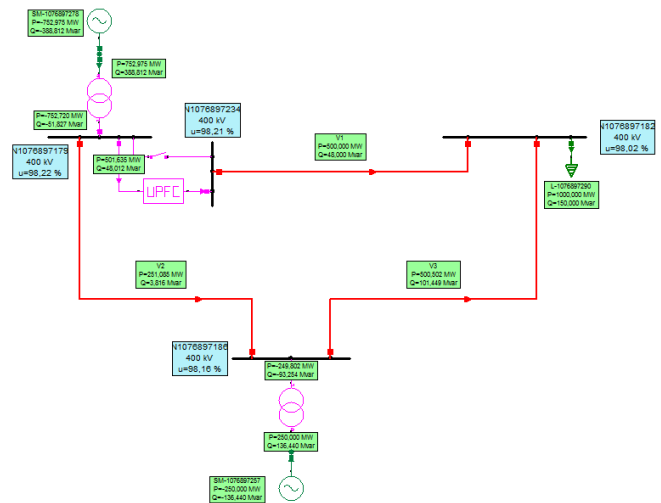
$$P_1 = \frac{U_1 \cdot U_2}{X} \cdot \sin \vartheta \quad (1)$$

Kde:

- $P_1$  – tok činného výkonu
- $U_1$  – napätie na začiatku vedenia
- $U_2$  – napätie na konci vedenia
- $X$  – reaktancia prenosovej cesty
- $\vartheta$  - prenosový uhol

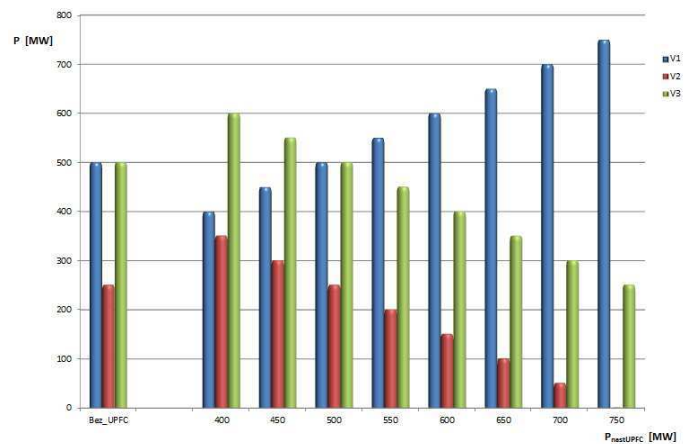
V prípade, že je potrebné znížiť tok výkonu vedením V2 (v určitých prevádzkových podmienkach, môže nastať prípad, kedy jedno z vedení bude preťažené a druhé nebude plne využité), dosiahneme to vložením variabilnej impedancie (reaktancie) do vedenia V1. Touto zmenou parametrov siete vieme dosiahnuť požadovanú zmenu tokov výkonov. Zmenu impedancie (reaktancie) dosiahneme napríklad použitím špeciálnych zariadení, určených

k regulácii tokov výkonov. V tomto prípade, bola zmena tokov výkonov dosiahnutá použitím zariadenia UPFC.



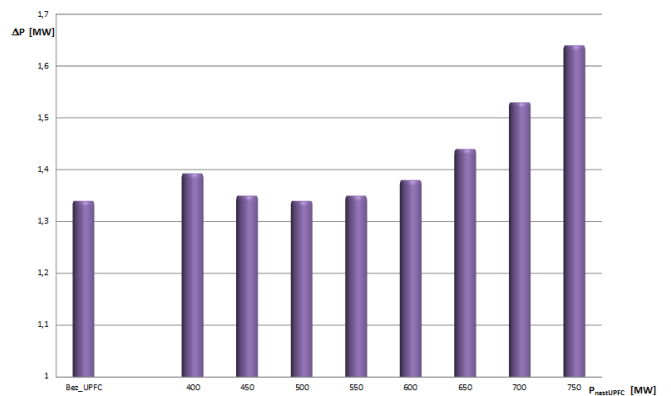
Obr. 8. Model trojuzlovej siete v programe NEPLAN.

Použitím zariadenia UPFC, je možné dosiahnuť požadovaný tok výkonu jednotlivými vedeniami.



Obr. 9. Toky výkonov jednotlivými vedeniami v závislosti na  $P_{nastUPFC}$ .

Vložením zariadenia UPFC dôjde k zmene strát v danej sústave. Už len vložením tohto špeciálneho zariadenia sa zvýšia straty, keďže samotné zariadenie má určitú impedanciu.



Obr. 10. Straty výkonu v závislosti na  $P_{nastUPFC}$ .

## ZÁVER

Článok sa zaoberal analýzou možností regulácie tokov činných výkonov v trojfázovej sieti. Predmetom analýzy bolo poukázať na možnosti regulácie tokov. Pomocou regulovania impedancie (reaktancie), môže FACTS regulátor (UPFC) ovládať tok výkonu vedeniami podľa požiadaviek, a tým prerozdeliť tok výkonu danými vedeniami podľa potreby.

Na základe simulácie, ktorá potvrdila schopnosť UPFC zariadenia meniť toky výkonov, je možné konštatovať vhodnosť tohto zariadenia. UPFC patrí k najkomplexnejším zariadeniam z kategórie FACTS, a je schopné vykonávať funkcie iných FACTS systémov. UPFC zariadenie má širokú oblasť použitia a dokáže meniť toky výkonov, regulovať napätie, kompenzovať jalový výkon, tlmiť oscilácie, zlepšovať pomery statickej a dynamickej stability a obmedzovať skratové prúdy. Práve táto široká oblasť použitia ho predurčuje k čoraz častejšiemu nasadzovaniu v elektrizačných sústavách. O inštalácii zariadenia UPFC by bolo možné uvažovať na už vyššie spomínanom medzištátnom profile medzi Slovenskou republikou a Maďarskom.

## 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 a SK-BG-0010-08.

## LITERATÚRA

- [1] Kušnir, S.: Možnosti regulácie tokov výkonov v elektrizačných sústavách. Diplomová práca. Košice: Technická univerzita v Košiciach, Fakulta elektrotechniky a informatiky, 2009. 81 s.
- [2] Ptáček, J.: Regulace výkonů v propojených elektrizačních soustavách. [Dizertačná práca]. Brno : FEKT VUT v Brne. 201 s. 2004.
- [3] Hlubeň, D.: Využitie transformátorov PST na riadenie tokov výkonov v ES SR. Dizertačná práca. Košice: FEI TU v Košiciach, 2009.
- [4] Beňa, L.: Využitie špecializovaných zariadení na reguláciu tokov činných výkonov v elektrizačných sústavách. Habilitačná práca. Košice: Technická univerzita v Košiciach, Fakulta elektrotechniky a informatiky, 2009. 84 s.
- [5] Rusnák, J.: Použitie nových prostriedkov v riadení prevádzky elektrizačnej sústavy. In: *Elektroenergetika 2003* – zborník prednášok II. medzinárodného vedeckého sympózia, Vydavateľstvo: Smékal Publishing house, 2003, ISBN 80-89061-80-X.
- [6] Mathur, M. R., Varma, K. R.: Thyristor – Based FACTS controllers for electrical transmission systems. New York: IEEE Press, 2002. 461s. ISBN 978-0-471-20643-9.
- [7] Development of HVDC Technology, [14.8.2010]. Dostupné na internete:  
[http://media.wiley.com/product\\_data/excerpt/53/04708229/04708229\\_953.pdf](http://media.wiley.com/product_data/excerpt/53/04708229/04708229_953.pdf)

## ADRESY AUTOROV

Stanislav Kušnir, Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská republika, [stanislav.kusnir@tuke.sk](mailto:stanislav.kusnir@tuke.sk)  
Vladimír Krištof, Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská republika, [vladimir.kristof@tuke.sk](mailto:vladimir.kristof@tuke.sk)  
Ľubomír Beňa, Technická Univerzita Košice, elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská republika, [lubomir.bena@tuke.sk](mailto:lubomir.bena@tuke.sk)  
Michal Kolcun, Technická Univerzita Košice, elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská republika, [michal.kolcun@tuke.sk](mailto:michal.kolcun@tuke.sk)