

Stanislav Kušník, Vladimír Krištof, Ľubomír Beňa, Michal Kolcun

## Regulácia tokov výkonov s využitím špeciálnych zariadení

Článok sa zoberá špeciálnymi zariadeniami, určenými k regulácii tokov výkonov v elektrizačných sústavách. V práci je analyzovaná jednoduchá sieť, na ktorej je ukázaná regulácia tokov výkonov, s využitím programu NEPLAN. S neustálym nárastom v spotrebe elektrickej energie, sa prevádzkovatelia prenosových sústav stretávajú s novými výzvami a problémami. Jedným z vážnych problémov súčasnej elektroenergetiky je výrazné aťaženie, prípadne preťaženie, niektorých prenosových vedení. Riešenie väčšiny týchto problémov by prinieslo vybudovanie nových vedení, ale to je zdĺhavý a takmer neriešiteľný proces, a tak sa ponúka riešenie v podobe špeciálnych zariadení, určených k regulácii tokov výkonov, ako sú FACTS zariadenia, HVDC zariadenia, prípadne PST transformátory.

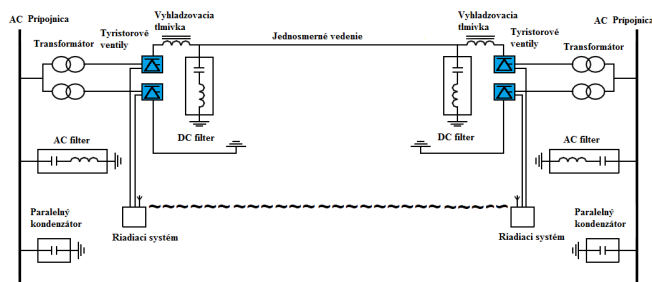
Kľúčové slová: regulácia tokov výkonov, elektrizačná sústava, FACTS, HVDC, PST

### I. 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. 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.

### II. HVDC

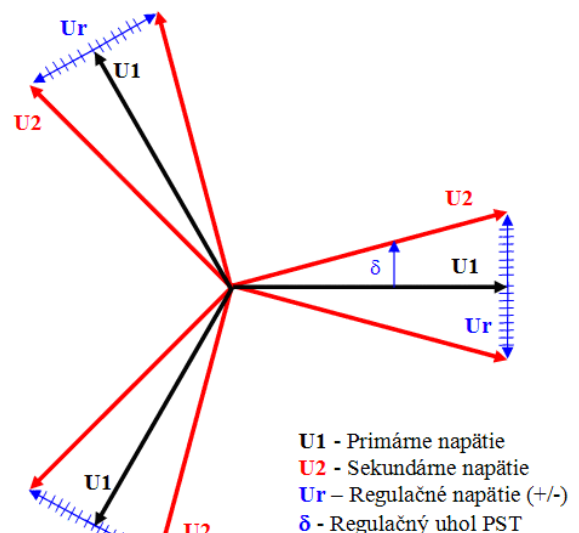
HVDC - High Voltage Direct Current predstavuje medzičlánok v striedavej sústave, zložený z usmerňovača, jednosmerného vedenia, striedača a celého radu príslušenstiev, hlavne filtrov na potlačenie vplyvu vyšších harmonických na striedavú sieť. Používanie technológie HVDC je cenovo výhodnejšie, ale vyžaduje 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.



Obr. 1. Schéma jednosmerného prenosu.

### III. PST

Transformátory PST sa používajú v prenosových sústavách na riadenie tokov výkonu a strát na vedeniach. 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. [2]



Obr. 2. Fázorový diagram PST transformátora.

### IV. FACTS

Flexible electric transmission systems 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.

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

- Thyristor Controlled Series Capacitor (TCSC)
- Thyristor Switched Series Capacitor (TSSC)
- Static Synchronous Series Capacitor (SSSC)
- Unified Power Flow Controller (UPFC)

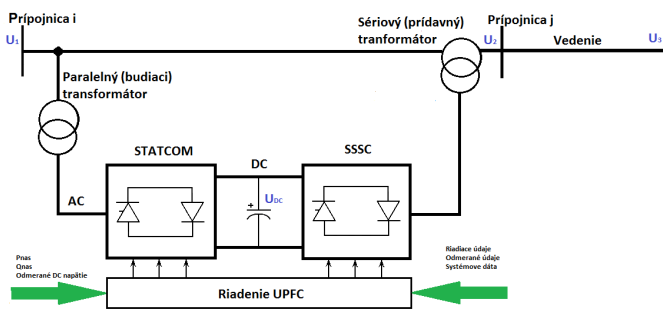
Článok sa ďalej zaoberá reguláciu tokov výkonov použitím UPFC.

**V. UPFC**

UPFC predstavuje kombináciu statického synchronného kompenzátora (STATCOM) a statického sériového synchronného kompenzátora (SSSC). Tieto kompenzátory sú navzájom prepojené jednosmernou linkou, za účelom obojsmerného prenosu činného výkonu medzi nimi.

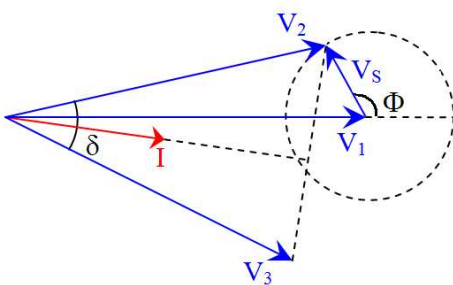
Pomocou tohto regulátora je možné vykonať:

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



Obr. 3. 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. 4. Fázorový diagram UPFC.

**VI. JEDENÁŠŤ UZLOVÁ SIŤ**

Daná sieť bola modelovaná v programe NEPLAN. Parametre jednotlivých prvkov sústavy sú nasledovné:

**Generátory:**

$U_r = 20 \text{ kV}, P_r = 900 \text{ MW}$

Kde:

$U_r$  – Menovité napätie

$P_r$  – Menovitý výkon

**Transformátory:**

$U_{r1} = 20 \text{ kV}, U_{r2} = 230 \text{ kV}, S_n = 1200 \text{ MVA}$

Kde:

$U_{r1}$  – Menovité napätie primárneho vinutia

$U_{r2}$  – Menovité napätie sekundárneho vinutia

$S_n$  – Menovitý výkon transformátora

**Vedenia:**

$W1, W6: R = 0.002 \text{ p.j.}, X = 0.025 \text{ p.j.},$

$B = 0.0043 \text{ p.j.}$

$W2, W5: R = 0.001 \text{ p.j.}, X = 0.010 \text{ p.j.},$

$B = 0.0017 \text{ p.j.}$

$W3, W4: R = 0.022 \text{ p.j.}, X = 0.220 \text{ p.j.},$

$B = 0.385 \text{ p.j.}$

Kde:

$R$  – Rezistancia vedenia

$X$  – Reaktancia vedenia

$B$  – Susceptancia vedenia

**Záťaže:**

$S_{B1} = 967 + j100 \text{ MVA}$

$S_{B2} = 1767 + j100 \text{ MVA}$

Kde:

$S_{B1}$  – Spotrebovaný výkon záťaže  $B_1$

$S_{B2}$  – Spotrebovaný výkon záťaže  $B_2$

**Kondenzátory:**

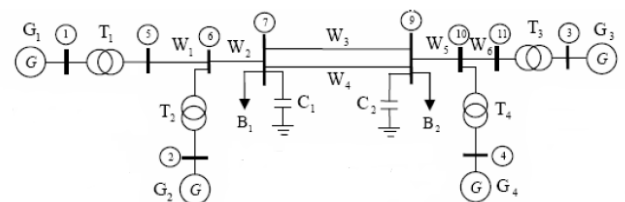
$Q_{c1} = 114 \text{ MVA}$

$Q_{c2} = 196 \text{ MVA}$

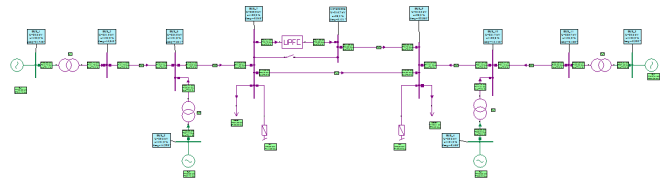
Kde:

$Q_{c1}$  – Jalový výkon kondenzátora  $C_1$

$Q_{c2}$  – Jalový výkon kondenzátora  $C_2$



Obr. 5. Model jedenášt' uzlovej siete.

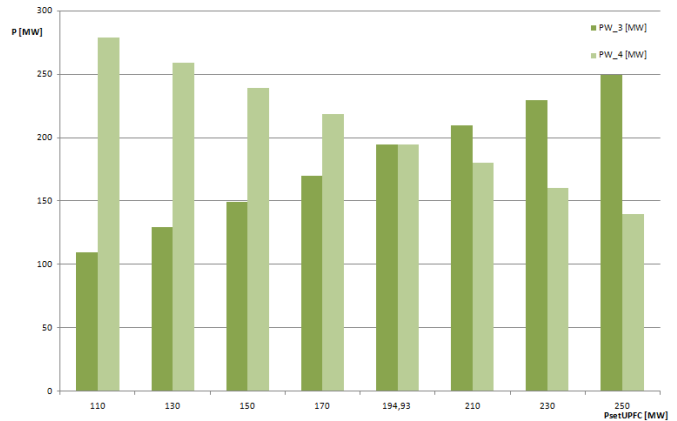


Obr. 6. Model jedenásť uzlovej sietev programe NEPLAN.

Na predchádzajúcom obrázku je vidieť model danej sústavy. Na začiatku vedenia W3 je zaradené zariadenie UPFC, určené k regulácii toku výkonu daným vedením.

V prípade, že je rôzna impedancia dvoch paralelných vedení, môže nastať prípad, kedy jedno z vedení bude preťažené a druhé nebude plne využité. Pri preťažení vedenia pôsobia ochrany, ktoré dané vedenie odpoja a výkon bude prenášaný vedením, ktoré nebolo doposiaľ plne využité. Prenos celého výkonu len jedným vedením spôsobí preťaženie a odpojenie aj tohto vedenia. V konečnom dôsledku, zásobovaný uzol bude odpojený od elektrizačnej sústavy.

Pomocou regulovania impedancie alebo fázového uhla, môže FACTS regulátor (UPFC) ovládať tok výkonu vedeniami podľa požiadaviek.



Obr. 8. Priebeh tokov výkonov v závislosti na P<sub>setUPFC</sub>.

Z predchádzajúceho obrázku môžeme vidieť, ako sa menia toky výkonov na vedení W3 a na vedení W4.

Z Obr. 8 je vidieť, že pomocou UPFC zariadenia je možné ovplyvňovať toky vedeniami, na požadovanú úroveň. Pri simulácií v programe NEPLAN, je tok výkonu obmedzený hodnotou V<sub>sermax</sub> a P<sub>max</sub>.

V<sub>sermax</sub> – Maximálna veľkosť sériového napätia v % z nominálneho napätia.

P<sub>max</sub> – Maximálny výkon cez DC vedenie v MW.

### VII. ZÁVER

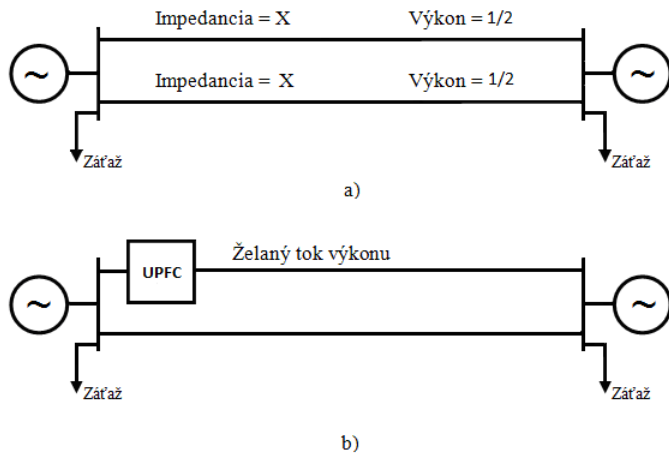
Článok sa zaoberal analýzou možností regulácie tokov činných výkonov v jedenásť uzlovej sieti. Predmetom analýzy bolo poukázať na možnosti regulácie tokov v prípade dvoch paralelných vedení. Na základe simulácie, ktorá potvrdila schopnosť UPFC zariadenia meniť toky výkonov, je možné konštatovať vhodnosť 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.

### 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] Hingorani, G. N., Gyugyi, L.: *Understanding FACTS. Concepts and Technology of Flexible AC Transmission Systems*. New York : IEEE Press, 2000. 432 s. ISBN 0-7803-3455-8.
- [2] Hlubeň, D.: Využitie transformátorov PST na riadenie tokov výkonov v ES SR. Dizertačná práca. Košice: FEI TU v Košiciach, 2009.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] Arrillaga, J., Liu, Y.H., Watson, N.R.: *Flexible Power Transmission The HVDC Options*. England: John Wiley & Sons Ltd, 362 s. ISBN 978-0-470-05688-2.



Obr. 7. Model jednoduchej sústavy a) bez UPFC b) s UPFC.

Ak impedancia dvoch, paralelne zapojených vedení je X, potom výkony danými vedeniami sú rovnaké. Zaradením UPFC zariadenia do jedného z vedení, umožní meniť tok výkonov danými vedeniami na nami požadovanú úroveň. Pri takejto zmene tokov výkonov, sa výkon len prerozdelení v inom pomere, ale výsledný tok výkonu ostáva nezmenený.

TABUĽKA I

Toky výkonov danými vedeniami a straty v sústave

	Bez UPFC	P <sub>setUPFC</sub> [MW]								
		110	130	150	170	194,93	210	230	250	
P <sub>W_3</sub> [MW]	194,93	110	130	150	170	194,93	210	230	250	
P <sub>W_4</sub> [MW]	194,93	279,51	259,35	239,81	219,15	194,85	180,29	160,43	140,26	
P <sub>sum</sub> [MW]	389,86	389,51	389,35	389,81	389,15	389,78	390,29	390,43	390,26	
P <sub>loss</sub> [MW]	105	114,4437	110,3417	108,0172	106,3374	105,18	105,2	105,75	108,08	

**ADRESY AUTOROV**

Stanislav Kušnír, 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)

Lubomír 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)