

Michal Kolcun, Daniel Hlubeň, Alexander Mészáros, Ľubomír Beňa

Využitie PST na riadenie tokov činných výkonov v elektrizačnej sústave Slovenskej Republiky

Abstrakt

Článok sa zaoberá popisom možností regulácie tokov výkonov v elektrizačných sústavách použitím špecializovaných prostriedkov. Na základe výsledkov výpočtov na modeli UCTE v programe PSLF boli analyzované možnosti využitia PST transformátora v Prenosovej sústave Slovenskej republiky.

ÚVOD

Prenosová sústava Slovenskej republiky je súčasťou európskych prepojených sústav UCTE (Union for the Co-ordination of Transmission of Electricity). Jeden z vážnych problémov súčasnej európskej elektroenergetiky je problematika výrazného zaťaženia, prípadne preťaženia, niektorých prenosových vedení.

Vyššie využívanie prenosových prvkov v podmienkach obmedzeného investičného rozvoja sústav vedie k vzniku úzkych profilov a nebezpečných situácií v ich prevádzke. S rastúcimi prenosmi a výmenami tiež narastá nebezpečenstvo neriadených kruhových tokov, riziko preťažovania sietí a riziko zvýšenej pravdepodobnosti výpadkov. Potrebu regulovať toky výkonov v elektrizačných sústavách podčiarkuje aj výskyt posledných veľkých porúch, ku ktorým došlo v prepojených sústavách a mali za následok veľké obmedzenia v zásobovaní odberateľov s elektrinou.

Existujúce dispečerské prostriedky siete možno využiť na účely regulácie tokov výkonov, ale iba v obmedzenej miere. Z hľadiska dosiahnutia dostatočných a trvale udržateľných regulačných účinkov však treba uvažovať s použitím špecializovaných prostriedkov ako sú zariadenia HVDC (High Voltage Direct Current), zariadenia FACTS (Flexible Alternating Current Transmission System), resp. PST (Phase Shifting Transformers). Článok je zameraný na stručný popis týchto prostriedkov a analýzu technických možností zariadení PST z pohľadu regulácie tokov činných výkonov v UCTE a zmien činných strát vplyvom tejto regulácie. [3,5,6,11,12]

I. SÚČASNÝ STAV RIEŠENIA PROBLEMATIKY REGULÁCIE TOKOV VÝKONOV V ES SR

Prevádzka a dispečerské riadenie elektrizačnej sústavy (ES) na jednej strane síce vyžaduje možnosti riadenia tokov v sieťach, na druhej strane však trpí sústavným nedostatkom týchto prostriedkov. V ES krajín západnej Európy a v USA rozvoj sústav dospel k potrebe uplatňovania aktívnych prvkov na riadenie toku výkonov v sieťach už skôr.

V ES SR sa v minulosti vzhľadom na jej centrálné riadenie nevyskytovala väčšia potreba regulovať toky činných výkonov. V súčasnosti sa však tieto trendy výrazným spôsobom menia a narastá záujem a potreba o aktívne riešenie regulácie toku výkonov v sieťach aj v našich podmienkach.

Súčasný prostriedky na ovplyvňovanie tokov výkonov v sieťach ako sú:

- ovplyvnenie prevádzky zdrojov,
- riadenie spotreby,
- zmena topológie siete,
- vyčlenenie oblasti zásobovania,
- vydedená prevádzka zdrojov

sú z hľadiska svojich schopností a použitia v dnešných vzrastajúcich potrebách nedostatočné a prakticky málo použiteľné. Jediný efektívny spôsob je využitie nových špecializovaných prostriedkov, ku ktorým patria HVDC zariadenia, FACTS zariadenia a špecializované transformátory typu PST. [7]

II. ŠPECIALIZOVANÉ PROSTRIEDKY NA REGULÁCIU TOKOV VÝKONOV V ES

HVDC ZARIADENIA

Súčasný jednosmerný prenos (HVDC – High Voltage Direct Current) predstavuje medzičlánok v striedavej sústave, zložený z usmerňovača, jednosmerného vedenia (v prípade jednosmernej spojky vedenie nie je), striedača a celého radu príslušenstiev, hlavne filtrov na potlačenie spätného vplyvu vyšších harmonických na striedavé siete na vstupe a výstupe, zdrojov jalového výkonu (kondenzátory, synchronne kompenzátory) slúžiace na dodávku potrebného jalového výkonu v mieste jeho spotreby, vyhladzovacích tlmiviek a spínacích prvkov.

Na základe doterajších technických a ekonomických skúseností zo zahraničných sústav možno povedať, že jednosmerný prenos je účelne využiť na:

- prenos veľkých výkonov na veľké vzdialenosti,
- prepojenie elektrizačných sústav striedavého prenosu o rôznych frekvenciách, resp. asynchronných sústav,
- zvýšenie stability veľkých elektrizačných sústav - rozdelenie elektrizačnej sústavy na menšie časti a ich jednosmerné prepojenie.

Stanice HVDC sú veľmi dobre regulovateľné a umožňujú podľa potrieb rýchlo meniť veľkosť aj smer prenášaného výkonu (s dopadom na pripojenú striedavú sieť).

S prihliadnutím na spomenuté výhody jednosmerného prenosu by v našich podmienkach bolo možné s nimi uvažovať pri prepojení UCTE smerom na východ (Ukrajina, Rusko).

FACTS ZARIADENIA

FACTS (Flexible Alternating Current Transmission System - pružný striedavý prenosový systém) sú organizáciou IEEE (the Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.) definované ako striedavé prenosové systémy na báze výkonovej elektroniky a iných statických regulátorov (nie na báze výkonovej elektroniky) na zlepšenie regulovateľnosti a zvýšenie výkonovej prenosovej schopnosti vedení. Medzi regulovateľné parametre patrí napr. napätie, prúd, impedancia, fázový uhol.

Skupina FACTS zariadení je pomerne široká. Ich praktický rozvoj bol v ostatných rokoch umožnený pokrokom v rozvoji technológie výkonovej elektroniky v oblasti pre využitie na vvn a zvn. [2]

Medzi zariadenia FACTS na reguláciu tokov činných výkonov je možné zaradiť:

- Thyristor Controlled Series Capacitor (TCSC) – Tyristorovo riadený sériový kondenzátor
- Thyristor Switched Series Capacitor (TSSC) – Tyristorovo spínaný sériový kondenzátor
- Static Synchronous Series Compensator (SSSC) – Statický synchronný sériový kompenzátor

ŠPECIALIZOVANÉ TRANSFORMÁTORY

Jedným z prakticky využiteľných prostriedkov na reguláciu tokov činného výkonu s dostatočným regulačným vplyvom (a pritom aj ekonomicky dosiahnuteľným) sú špecializované transformátory. Konštrukčne sú usporiadané na reguláciu tokov výkonu v prepojených sústavách. Na svoju činnosť využívajú princíp uhlovej regulácie prevodu.

U transformátorov s uhlovou reguláciou prídavné napätie už nie je vo fáze so vstupným (alebo výstupným) napätím, ale je uholovo natočené o násobok hodinového uhla 30° (najčastejšie 90°). Pri regulácii odbočiek sa mení tak výsledný napäťový prevod, ako aj vzájomný výsledný uhol medzi primárnym a sekundárnym napätím. Tento výsledný rozdiel môže dosahovať značné hodnoty, až cca 40° .

Tieto transformátory sú konštruované hlavne na reguláciu toku činných výkonov a prípadná regulácia napätia je skôr doplnujúcou funkciou.

Uhlovú reguláciu je možné využiť aj pri transformátoroch spájajúcich dve rôzne napäťové úrovne.

Z hľadiska využitia teda prichádzajú do úvahy oblasti, kde treba regulovať vzájomné prietoky medzi dvomi napäťovými hladinami – najčastejšie medzi sústavami 400 a 220 kV. [1]

TRANSFORMÁTOR VFT

Jedným z možných technických prvkov, ktoré by v budúcnosti mohli byť ekvivalentným lacnejším riešením k HVDC je Variable Frequency Transformer. V porovnaní s HVDC však poskytuje neporovnateľnú flexibilitu, aby sa mohli vytvoriť uskutočniteľné obchodné modely tak, aby splnili požiadavky meniaceho sa trhu s elektrinou. VFT poskytuje jednoducho riadenú cestu medzi dvomi sieťami, zatiaľ čo zachováva mnohé z predností AC spojení. To umožňuje výmenu elektriny, ktorú pred tým nebolo možné uskutočniť kvôli technickým obmedzeniam, ako sú hranice asynchronnosti alebo preťažené systémy. Nízky vplyv VFT na sieť, či už z pohľadu vyšších

harmonických, interakcií riadení a vplyv na blízke generátory umožňuje inštaláciu a prevádzku oddeliť od iných problémov siete.

Systém VFT je založený na kombinácii hydrogenerátora a technológiách transformátora, pozostávajúc z rotačného transformátora pre trvale kontrolovateľný fázový posun pri akomkoľvek uhle. Toto spolu s pohonným systémom a riadením nastavuje uhol a rýchlosť rotačného transformátora pre reguláciu toku výkonu cez VFT. Hladké riadenie toku výkonu pochádza z regulácie krútiaceho momentu hnacieho systému. Rýchlosť otáčania je určená rozdielom vo frekvenciách sietí a obvykle bude nižšia ako 3 rpm (rotation per minute/otáčok za minútu).

Tok výkonu je úmerný uhlu a smeru momentu, ktorý pôsobí na rotor. Moment je spôsobený práve js pohonom, ktorý je riadený samostatným riadiacim systémom na riadenie rýchlosti. Ak moment pôsobí jedným smerom, potom tok tečie zo statorového vinutia do rotorového vinutia. Ak moment pôsobí opačným smerom, potom tok tečie z rotorového vinutia do statorového vinutia.

Bez ohľadu na tok výkonu, snaha rotora je sledovať rozdiel uhlov medzi dvomi asynchronnými systémami a pokračuje v rotácii, pokiaľ siete pracujú na rôznych frekvenciách. Pohon a hnací systém sú navrhnuté tak, aby vytvárali moment aj v pokojovom stave. Ak vznikne v jednej sieti rušenie, ktoré spôsobí zmenu frekvencie, VFT zmení rýchlosť otáčania opäť vzhľadom na rozdiel frekvencií v týchto dvoch sieťach. Počas takýchto rušení ale VFT bude aj naďalej prenášať výkon a to bez prerušenia. VFT je navrhnuté na trvalú reguláciu toku výkonu s kolísaním frekvencií na oboch stranách. Tok jalového výkonu cez VFT tečie podľa pravidiel striedavého obvodu. Je určený sériovou impedanciou rotačného transformátora a rozdielom v amplitúdach napätí na oboch stranách a na rozdiel od výkonových elektronických alternatív, VFT neprodukuje harmonické frekvencie a teda nemôže spôsobiť interakciu so susediacimi generátormi alebo zariadeniami v sieti. [9]

III. APLIKÁCIA REGULÁCIE TOKOV VÝKONOV NA MEDZIŠTÁTNYCH VEDENIACH PS SR NA MODELI UCTE

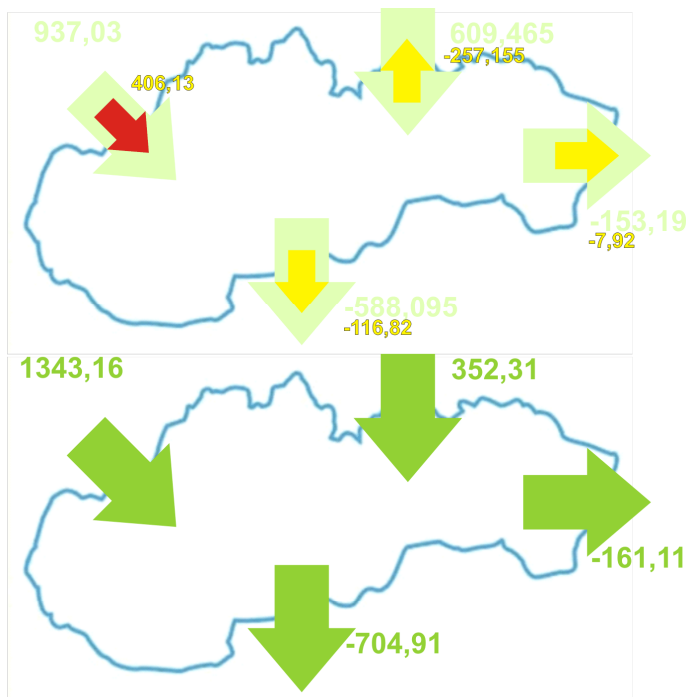
Schopnosť ovplyvňovania tokov činných výkonov využitím špecializovaných prostriedkov, konkrétne zariadenia PST bola analyzovaná na modeli prenosových sústav v rámci UCTE v programe PSLF pre stav ES dňa 29.11.2007 v čase 12.30 hod. Model obsahoval: 5784 uzlov (z toho 982 generatorických, 3262 záťažných), 7798 vedení, 1102 transformátorov. [4,8]

APLIKÁCIA PST ZARIADENÍ

PST bol nasadený postupne do všetkých medzištátnych vedení 400 kV v PS SR a následne bol vyhodnotený regulačný účinok PST na zaťaženie medzištátnych profilov, čo je znázornené na obr. 1 až obr. 8. [10]

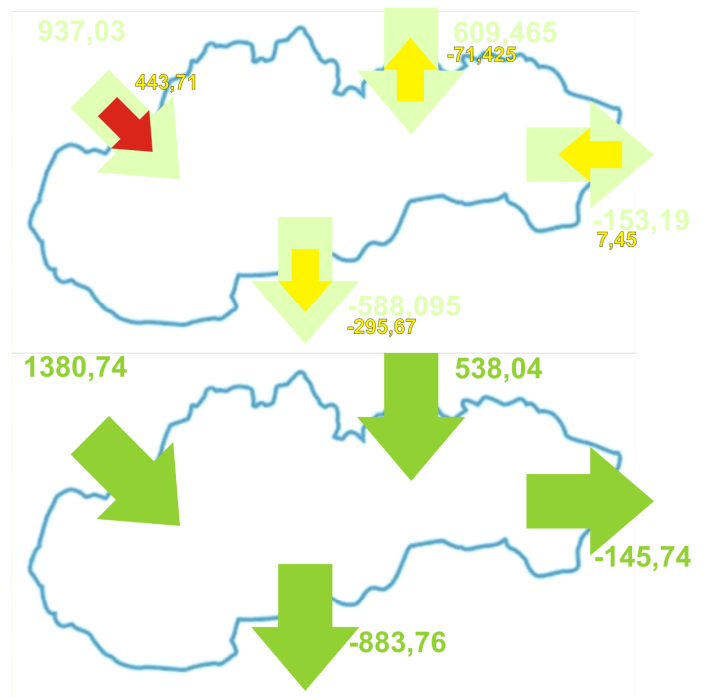
Pred výpočtom bol urobený výpočet, ktorý sumarizuje strany v PS SR.

- Celkové straty na vedeniach 220 kV: 2,731 MW
- Celkové straty na vedeniach 400 kV: 19,770 MW
- Celkové straty na transformátoroch: 0,724 MW
- Celkové straty: 23,225 MW



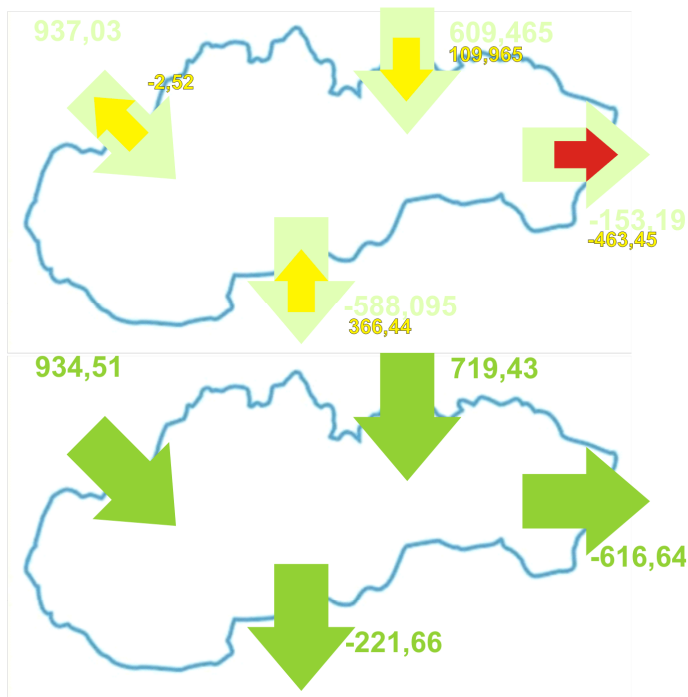
Profil	SK-CZ	SK-PL	SK-HU	SK-UA
Toky [MW] pôvodné	937,03	609,465	-588,095	-153,19
Toky [MW] pre Uhol PST= -25 °	1343,16	352,31	-704,91	-161,11
Rozdiel tokov pre uhol PST = -25 ° a pôvodných	406,13	-257,155	-116,02	-7,92
Saldo pôvodné [MW]				805,21
Saldo pre uhol PST= -25 °				829,45
Straty vplyvom PST pre uhol = -25 °				23,78
Rozdiel (Saldo pre uhol = -25 ° - Straty vplyvom PST)				781,71

Obr. 1 Regulačný vplyv PST na zaťaženie medzištátnych profilov pri umiestnení do V404



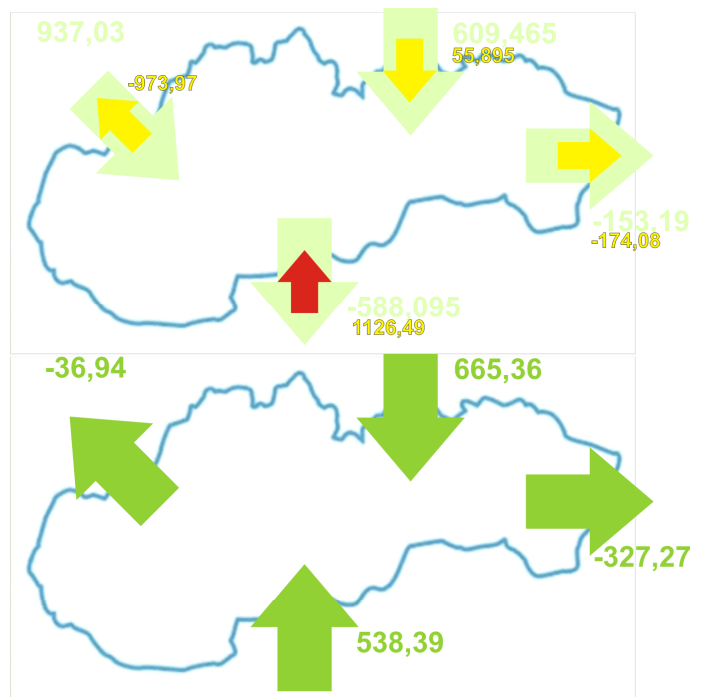
Profil	SK-CZ	SK-PL	SK-HU	SK-UA
Toky [MW] pôvodné	937,03	609,465	-588,095	-153,19
Toky [MW] pre Uhol PST= -40 °	1380,74	538,04	-883,76	-145,74
Rozdiel tokov pre uhol PST = -40 ° a pôvodných	443,71	-71,425	-295,67	7,45
Saldo pôvodné [MW]				805,21
Saldo pre uhol PST= -40 °				889,28
Straty vplyvom PST pre uhol = -40 °				83,78
Rozdiel (Saldo pre uhol = -40 ° - Straty vplyvom PST)				781,82

Obr. 2 Regulačný vplyv PST na zaťaženie medzištátnych profilov pri umiestnení do V424



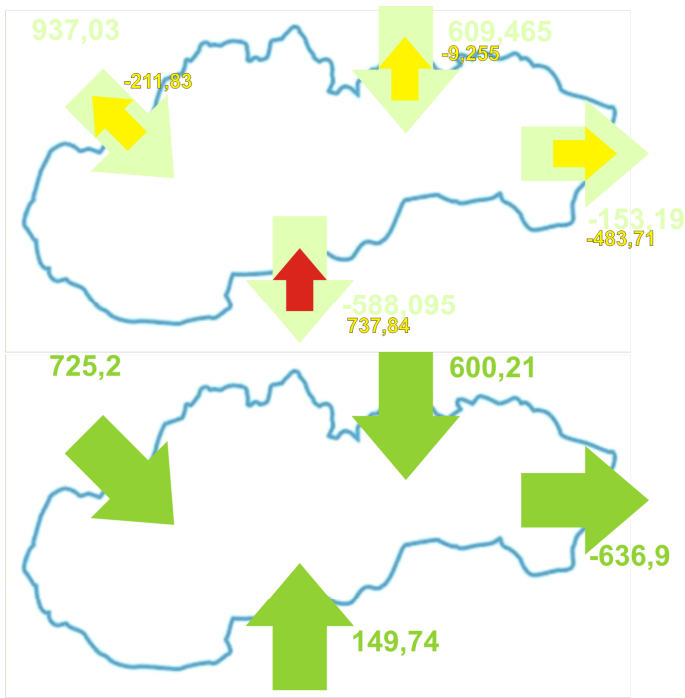
Profil	SK-CZ	SK-PL	SK-HU	SK-UA
Toky [MW] pôvodné	937,03	609,465	-588,095	-153,19
Toky [MW] pre Uhol PST = -20 °	934,51	719,43	-221,66	-616,64
Rozdiel tokov pre uhol PST = -20 ° a pôvodných	-2,52	109,965	366,44	-463,45
Saldo pôvodné [MW]	805,21			
Saldo pre uhol PST = -20 °	815,64			
Straty vplyvom PST pre uhol = -20 °	13,78			
Rozdiel (Saldo pre uhol = -20 ° - Straty vplyvom PST)	778,2			

Obr. 3 Regulačný vplyv PST na zaťaženie medzištátnych profilov pri umiestnení do V440



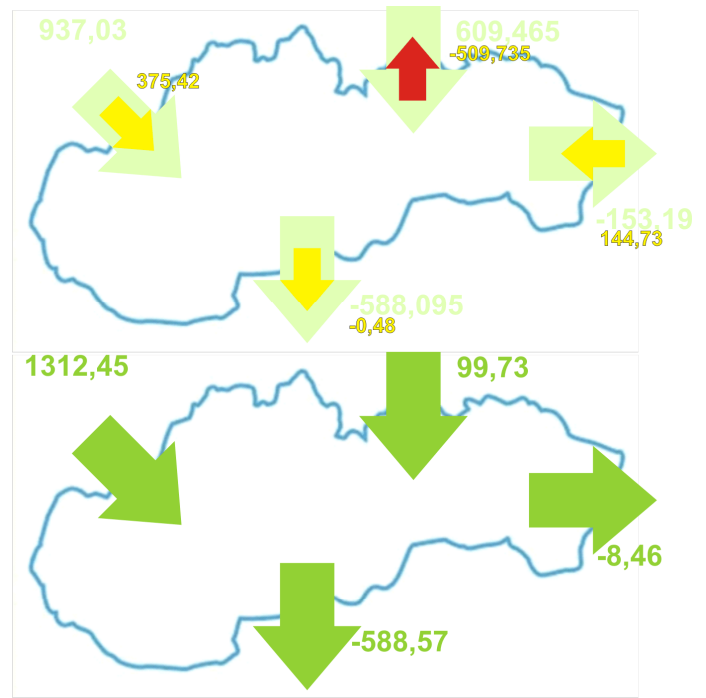
Profil	SK-CZ	SK-PL	SK-HU	SK-UA
Toky [MW] pôvodné	937,03	609,465	-588,095	-153,19
Toky [MW] pre Uhol PST = -40 °	-36,94	665,36	538,39	-327,27
Rozdiel tokov pre uhol PST = -40 ° a pôvodných	-973,97	55,895	1126,49	-174,08
Saldo pôvodné [MW]	805,21			
Saldo pre uhol PST = -40 °	839,54			
Straty vplyvom PST pre uhol = -40 °	34,78			
Rozdiel (Saldo pre uhol = -40 ° - Straty vplyvom PST)	780,93			

Obr. 4 Regulačný vplyv PST na zaťaženie medzištátnych profilov pri umiestnení do V448



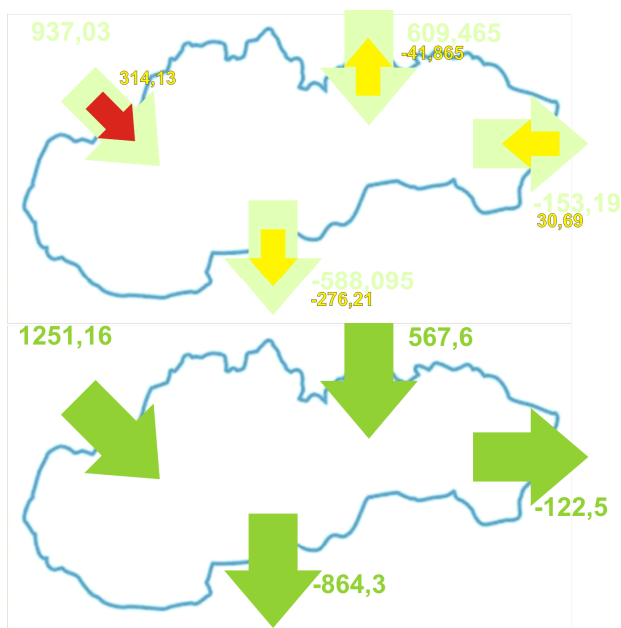
Profil	SK-CZ	SK-PL	SK-HU	SK-UA
Toky [MW] pôvodné	937,03	609,465	-588,095	-153,19
Toky [MW] pre Uhol PST= -35 °	725,2	600,21	149,74	-636,9
Rozdiel tokov pre uhol PST = -35 ° a pôvodných	-211,83	-9,255	737,84	-483,71
Saldo pôvodné [MW]	805,21			
Saldo pre uhol PST= -35 °	838,25			
Straty vplyvom PST pre uhol = -35 °	36,78			
Rozdiel (Saldo pre uhol = -35 ° - Straty vplyvom PST)	777,95			

Obr. 5 Regulačný vplyv PST na zaťaženie medzištátnych profilov pri umiestnení do V449



Profil	SK-CZ	SK-PL	SK-HU	SK-UA
Toky [MW] pôvodné	937,03	609,465	-588,095	-153,19
Toky [MW] pre Uhol PST= -20 °	1312,45	99,73	-588,57	-8,46
Rozdiel tokov pre uhol PST = -20 ° a pôvodných	375,42	-509,735	-0,48	144,73
Saldo pôvodné [MW]	805,21			
Saldo pre uhol PST= -20 °	815,15			
Straty vplyvom PST pre uhol = -20 °	9,78			
Rozdiel (Saldo pre uhol = -20 ° - Straty vplyvom PST)	781,91			

Obr. 6 Regulačný vplyv PST na zaťaženie medzištátnych profilov pri umiestnení do V477



Profil	SK-CZ	SK-PL	SK-HU	SK-UA
Toky [MW] pôvodné	937,03	609,465	-588,095	-153,19
Toky [MW] pre Uhol PST = -25 °	1251,16	567,6	-864,3	-122,5
Rozdiel tokov pre uhol PST = -25 ° a pôvodných	314,13	-41,065	-276,21	30,69
Saldo pôvodné [MW]				805,21
Saldo pre uhol PST = -25 °				831,96
Straty vplyvom PST pre uhol = -25 °				26,78
Rozdiel (Saldo pre uhol = -25 ° - Straty vplyvom PST)				781,79

Obr. 7 Regulačný vplyv PST na zaťaženie medzištátnych profilov pri umiestnení do V497

Konkrétne PST bol nasadený do vedení uvedených nižšie. Z vykonanej analýzy vyplýva, že:

- pri umiestnení PST do vedenia V404 je jeho regulácia najviac spätá s prenosmi na profile SK-PL,
- pri umiestnení PST do vedenia V424 je jeho regulácia najviac spätá s prenosmi na profile SK-HU.
- pri umiestnení PST do vedenia V440 je jeho regulácia najviac spätá s prenosmi na profile SK-HU,
- pri umiestnení PST do vedenia V448 je jeho regulácia najviac spätá s prenosmi na profile SK-CZ.
- pri umiestnení PST do vedenia V449 je jeho regulácia najviac spätá s prenosmi na profile SK-UA,
- pri umiestnení PST do vedenia V477, príp. V477 a V478 je jeho regulácia najviac spätá s prenosmi na profile SK-CZ.
- pri umiestnení PST do vedenia V497 je jeho regulácia najviac spätá s prenosmi na profile SK-HU.

Nasadením PST sa straty v celej prepojenej ES zvýšia oproti stavu bez nasadenia PST. Zväčšovaním uhla medzi primárnym a sekundárnym napätím PST dochádza k ďalšiemu zvyšovaniu strát v prepojenej ES. V niektorých regulačných oblastiach môže dôjsť k zníženiu strát, avšak celkové straty (v celej prepojenej ES) sú stále vyššie.

IV. ZÁVER

Článok sa zaoberal analýzou možností regulácie tokov činných výkonov v Prenosovej sústave Slovenskej republiky. Predmetom analýzy boli cezhraničné vedenia, t.j. profily so susednými prenosovými sústavami, s ktorými má PS SR priame prepojenie.

POĎAKOVANIE

Článok bol vypracovaný v rámci projektu VEGA - Vedeckej grantovej agentúry Ministerstva školstva SR a Slovenskej akadémie vied č. 1/4072/07 a Agentúry na podporu výskumu a vývoja prostredníctvom finančnej podpory č. APVV-0385-07 a č. 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] Ptáček, J.: Regulace výkonů v propojených elektrizačních soustavách: Dizertačná práca. Brno: FEKT VUT v Brne, 2004. 201 s.
- [3] Kolcun, M., Griger, V., Gramblička, M., Szathmáry, P., Jendryšík, V., Tomeček, J.: Riadenie prevádzky elektrizačnej sústavy. Košice: Mercury – Smékal, 2001. ISBN 80-89061-57-5
- [4] Adamec, P.: Možnosti regulácie tokov výkonov v elektrizačnej sústave. Dizertačná práca. Košice: FEI TU v Košiciach, 2009. 95 s.
- [5] Beňa, L. - Rusnák, J.: The solution of optimisation problems in the operation control of the electric power system. In: EPE 2006: Proceedings of the 7th International Scientific Conference Electric Power Engineering 2006 : Brno, May 16-18, 2006. Brno: Brno University of Technology, 2006. p. 37-43. ISBN 80-214-3180-6.
- [6] Rusnák, J.: Power flow control by use of phase-shifting transformer. In: 3. Doktorandská konferencia a ŠVOS TU v Košiciach FEI : Zborník z konferencie a súťaže, Košice, 23.4.2003. Košice : TU, 2003. s. 79-80. ISBN 80-968666-3-X.
- [7] Mešter, M. - Hvizdoš, M. - Rusnák, J. - Szathmáry, P. - Vargončík, M.: Analýza elektrizačnej sústavy pomocou programu Eurostag. In: Stabilita elektrizačnej sústavy: Zborník príspevkov. Košice: Equilibria, 2006. s. 29-34. ISBN 80-969224-9-1.
- [8] TKÁČ, Ján - RUSNÁK, Jozef - HVIZDOŠ, Marek: Modelovanie prevádzky veterných elektrární. In: EE časopis : Odborný časopis pre elektrotechniku a energetiku. roč. 15, č. 2 (2009), s. 29-31. ISSN 1335-2547
- [9] General Electric Company: Variable Frequency Transformer™ . Dostupné na internete http://www.gepower.com/prod_serv/products/transformers_vft/en/download/vft_factsheet.pdf
- [10] STEJSKAL, Tomáš - DANESHJO, Naqib: Mechanizmy náhodného rozdelenia porúch. In: Strojárstvo. roč. 8, č. 2 (2009), s. 78/4-79/5. Internet: <www.strojstvo.sk> ISSN 1335-2938.
- [11] Genčí Ján, Výrost Marek: Metodológia integrácie semi-formálnych a formálnych špecifikačných prostriedkov, Proceedings of the Annual Database Conference DATAKON 2003, Brno, October, 18-21, 2003, Brno, 2003, pp. 205-216, ISBN 80-210-3215-4
- [12] Genčí Ján: ADVANCED KNOWLEDGE ASSESSMENT SYSTEM, International Joint Conferences on Computer, Information, and Systems Sciences, and Engineering (CISSE 08), International Conference on Engineering Education, Instructional Technology, Assessment, and E-learning (EIAE 08), University of Bridgeport (USA), 5.-13.12. 2008, 2008

Michal Kolcun, Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, Michal.Kolcun@tuke.sk
 Daniel Hlubeň, Technická Univerzita Košice, elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, Daniel.Hluben@tuke.sk
 Alexander Mészáros, Technická Univerzita Košice, elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, Alexander.Meszaros@tuke.sk
 Ľubomír Beňa, Technická Univerzita Košice, elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, Lubomir.Bena@tuke.sk