

Roman Jakubčák, Ľubomír Beňa, Matúš Katin

Možnosti regulácie výkonových tokov na medzištátnych vedeniach SR-ČR

Článok je venovaný popisu možností využitia špecializovaného transformátora PST (Phase Shift Transformer) na regulovanie tokov činných výkonov v elektrizačných sústavách (ES). V nasledujúcom texte je popísaný základný princíp tohto zariadenia, a taktiež je posudzovaný jeho vplyv na medzištátne vedenia SR s ČR. Okrem toho bolo sledované, aký vplyv má regulácia toku činného výkonu na tomto profile na ďalšie medzištátne vedenia ES SR. Simulácie boli vykonávané v programe GLF.

Kľúčové slová: PST transformátor, liberalizácia trhu, regulácia toku výkonu,

I. ÚVOD

Elektrizačná sústava Slovenskej republiky je súčasťou asociácie Európskej siete prevádzkovateľov prenosových sústav (ENTSO-E). Cieľom tohto združenia je dobudovanie vnútorného trhu s elektrinou, optimálne riadenie a koordinovaný dlhodobý udržateľný rozvoj európskej prenosovej sústavy. Nástupom liberalizácie trhu s elektrinou sa regulácia tokov dostáva čoraz viac do povedomia. Jedným z najväčších problémov európskej prenosovej sústavy je vznik úzkych miest v elektrizačnej sústave, a teda výrazné preťažovanie niektorých prenosových vedení. Je to v dôsledku toho, že elektrická energia sa šíri podľa fyzikálnych zákonov a nie podľa vopred dohodnutých kontraktov. S týmto problémom taktiež súvisí bezpečnosť a stabilita elektrizačnej sústavy.

Riešení, ako odstrániť úzke miesta z elektrizačnej sústavy je niekoľko. Jedným z nich je výstavba nových vedení, ktorá je však finančne a časovo veľmi náročná. K značne finančne náročným patrí ďalší spôsob zvyšovania prenosových schopností, a to použitie zariadení na báze výkonovej elektroniky, tzv. FACTS (Flexible Alternating Current Transmission System - pružný striedavý prenosový systém).

Ako najvhodnejšie riešenie sa javí použitie PST transformátorov z dôvodu dostatočnej technickej účinnosti a priaznivejšej cenovej dostupnosti oproti vyššie spomenutým systémom.

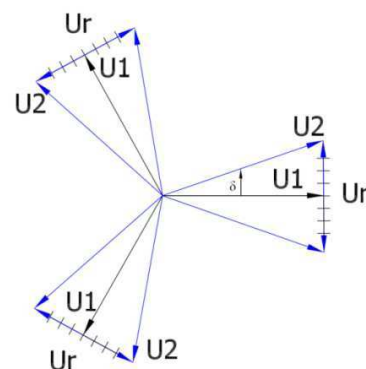
II. SÚČASNÝ STAV V ES SR

V minulosti bola ES SR centrálna riadená a väčšia potreba regulovať toky činných výkonov nebola. V súčasnosti je trend opačný a rastie potreba aktívne riadiť toky výkonov v ES. Prostriedky ktoré sa využívajú v ES SR za týmto účelom je viacero, či už je to zmena topológie siete, riadenie spotreby, ovplyvňovanie prevádzky zdrojov až po vyčlenené oblasti zásobovania alebo vyčlenené prevádzky zdrojov. Všetky tieto spôsoby nie sú v súčasnosti dostatočne účinné, a preto je potrebné využívať efektívnejšie spôsoby. Medzi tieto spôsoby patrí aj použitie PST transformátora [4].

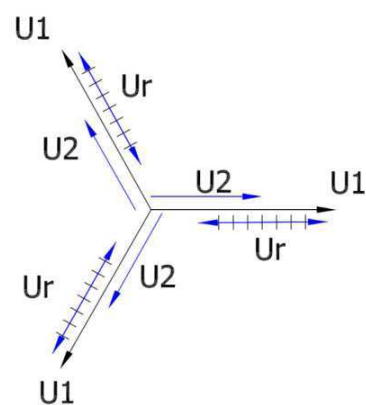
III. PST TRANSFORMÁTOR

Ide o transformátory, ktoré sú svojou konštrukciou prispôbené na reguláciu toku činných výkonov v ES. Pracujú na princípe uhlovej regulácie prevodu na transformátoroch. U týchto transformátorov dochádza už v stave naprázdno k fázovému posunu, teda vstupné a výstupné napätie sú voči sebe uhlovo natočené. Regulačný uhol

u týchto transformátorov je do $\pm 40^\circ$. U transformátorov bez uhlovej regulácie v stave naprázdno a taktiež pre všetky odbočky je vstupné napätie vo fáze s výstupným napätím, a teda bez uhloveho posunu [2].



Obr. 1. Fázorový diagram PST transformátora



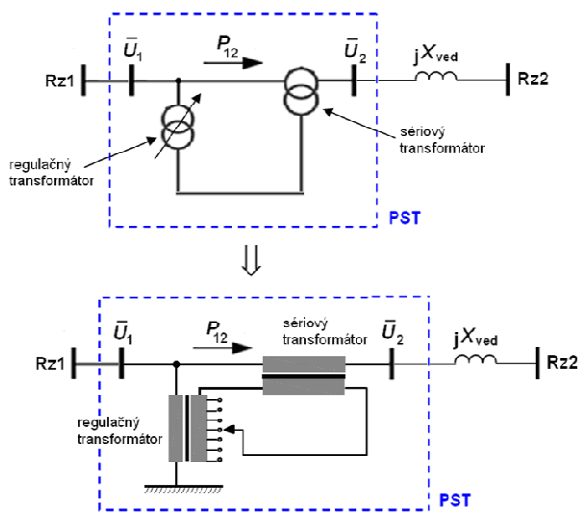
Obr. 2. Fázorový diagram transformátora s pozdĺžnou reguláciou

Na obr. 1 a obr. 2 sú zobrazené vstupné a výstupné napätia oboch typov transformátorov. U_1 je vstupné napätie, U_2 výstupné napätie, U_r predstavuje regulačné napätie a uhol δ regulačný uhol PST.

IV. PRINCÍP ČINNOSTI PST

PST transformátor je zložený zo sériovej a regulačnej jednotky. Vinutie sériového sa nachádza priamo na napätí siete a na tomto vinutí dochádza k výslednému fázovému posunu.

K vstupnému/výstupnému napätiu sa pridáva regulačné napätie, ktoré je fázovo posunuté. Regulačný transformátor s prepínačom odbočiek umožňuje reguláciu a je napájaný z odbočky sériového vinutia [3].



Obr. 3. Zloženie PST

Veľkosť prenášaného činného výkonu vedením závisí od veľkosti napätia na začiatku a konci vedenia U_1 a U_2 , od reaktancie vedenia X_{ved} a rozdielu záťažných uhlov δ_1 a δ_2 .

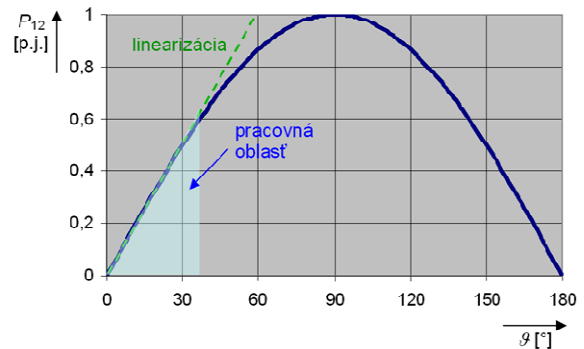
$$P_{12} = \frac{U_1 \cdot U_2}{X_{ved}} \cdot \sin(\delta_1 - \delta_2) \quad (1)$$

$$P_{12} = \frac{U_1 \cdot U_2}{X_{ved} + X_{PST}} \cdot \sin(\delta_1 - \delta_2 + \Delta\delta) \quad (2)$$

Je zrejmé, že regulovať tok činného výkonu je možné zmenou napätia, zmenou reaktancie X_{ved} a zmenou záťažného uhla δ . PST transformátor využíva k riadeniu toku činného výkonu zmenu záťažného uhla δ . Ak je transformátor nainštalovaný na vedení, potom rovnica (1) zmení svoj tvar na rovnicu (2), kde X_{PST} je reaktancia PST transformátora a $\Delta\delta$ je regulačný uhol transformátora PST. Práve touto zmenou uhla sme schopní regulovať tok činného výkonu [1].

Pokiaľ na PST nie je nastavený žiadny fázový posun medzi vstupným a výstupným napätím (t.j. $\Delta\delta=0$), vo vývode s PST dochádza k obmedzeniu prenášaného výkonu vplyvom jeho reaktancie X_{PST} .

V reálnych prevádzkach (bez nasadenia PST) je veľkosť záťažného uhla (t.j. rozdiel medzi uhlom fázora napätia na začiatku a konci vedenia) cca 5° až 10° . Maximálny regulačný rozsah PST je 30° až 40° , regulácia tohto uhla je teda rozhodujúca pre ovplyvňovanie tokov výkonov použitím PST.



Obr. 4. Závislosť prenášaného výkonu od prenosového uhla s vyznačením linearizácie v pracovnej oblasti

Funkciu $\sin(\delta_1 - \delta_2 + \Delta\delta)$ možno v pracovnej oblasti (obr. 4) považovať za takmer lineárnu. Keďže u bežných PST je regulačný uhol priamo úmerný nastaveniu odbočiek, potom výsledný tok činného výkonu ovplyvnený reguláciou odbočiek bude takmer priamo úmerný nastaveniu príslušnej odbočky prepínača PST [2], [5].

V. APLIKÁCIA PST TRANSFORMÁTOROV NA MEDZIŠTÁTNYCH VEDENIACH SR ČR

Analýza riadenia tokov činných výkonov s využitím PST transformátora bola robená v simulačnom programe GLF. PST transformátor bol postupne umiestnený na všetkých troch 400 kV vedeniach s Českou republikou. Na obr. 5 je zobrazené jednotlivé umiestnenie PST transformátorov na medzištátnych vedeniach ES SR a ČR. Všetky PST transformátory mali rovnaké parametre, ktoré sú:

Tab. 1 Parametre použitého PST

S_n [MVA]:	600
Prevod [kV]:	400/400
E_k [%]:	10
dP_k [kW]:	615
dP_0 [kW]:	160
I_0 [%]:	0,06
I_N [%]:	866
U_{N1} [kV]:	400
U_{N2} [kV]:	400
Krok U [%]:	0,2
Odb. max U :	16
Odb. min U :	-16
Krok P [%]:	2,1
Odb. max P [-]:	16
Odb. min P [-]:	-16

VI. ZÁVER

Článok sa zaoberal analýzou možností regulácie tokov činných výkonov na spoločných medzištátnych vedeniach ES SR a ČR s využitím PST transformátora, ako regulačného prostriedku. Ako je vidieť z uvedených grafov, regulácia tokov výkonov na medzištátnych vedeniach s ČR najviac ovplyvňuje medzištátny profil SK-HU a to vo všetkých troch prípadoch. Profil SK-PL je najviac ovplyvnený v prípade umiestnenia PST transformátora na vedenie V404. Profil SK-UK nevykazuje v žiadnom z troch prípadov analýzy výraznejšie zmeny toku výkonov, a preto regulácia tokov činných výkonov na profile SK-ČR nemá žiadny výrazný vplyv na profil SK-UK.

POĎAKOVANIE

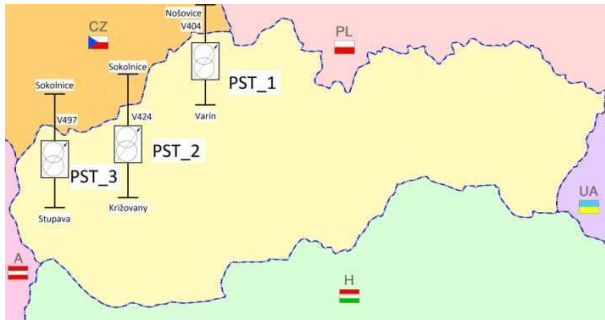
Táto práca vznikla za podpory Agentúry na podporu výskumu a vývoja v rámci projektu APVV-0385-07 a SK-BG- 0010-08, a taktiež Vedeckej grantovej agentúry Ministerstva školstva Slovenskej republiky a Slovenskej akadémie vied v rámci projektu VEGA-1/0166/10.

LITERATÚRA

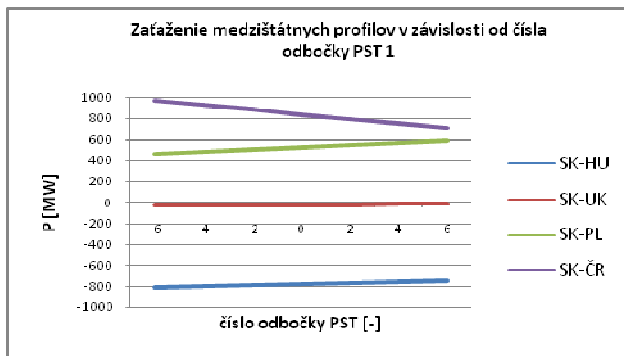
- [1] VERBOOMEN J. – HERTEM D.V. – SCHAVEMAKER P. H. – KLING W.L. – BELMANS R.: Phase shifting transformers: Principles and applications. Dostupné na internete: <http://www.esat.kuleuven.be/electa/publications/fulltexts/pub_1502.pdf>
- [2] PTÁČEK J.: Regulace toku výkonu v propojených elektrizačných soustavách, Dizertačná práca. Brno: FEKT VUT v Brne, 2004. 201 s.
- [3] KUŠNÍR S.: Možnosti regulácie tokov výkonov v elektrizačných sústavách, Diplomová práca. Košice: FEI TU v Košiciach, 2009. 82 s.
- [4] JAKUBČÁK, R.: Možnosti regulácie tokov výkonov v ES SR. Diplomová práca. Košice: FEI TU v Košiciach, 2011. 71 s.
- [5] 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.

ADRESY AUTOROV

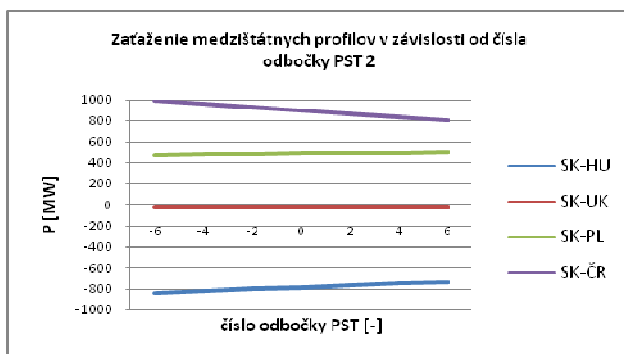
Ing. Roman Jakubčák, Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, Roman.Jakubcak@tuke.sk
 doc. Ing. Ľubomír Beňa, PhD., Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, Lubomir.Bena@tuke.sk
 Ing. Matúš Katin, Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, Matus.Katin@tuke.sk



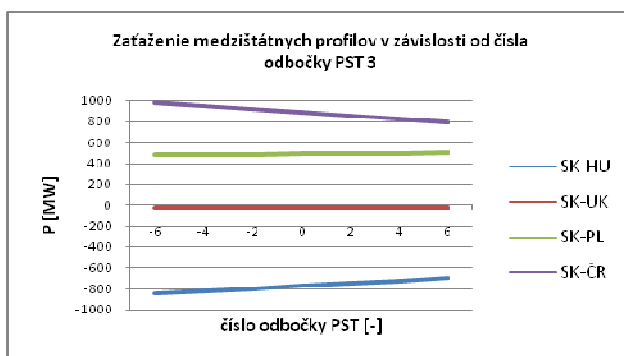
Obr. 5. Umiestnenie PST transformátorov na medzištátnych vedeniach ES SR a ČR



Obr. 6. Zaťaženie medzištátnych profilov ES SR pri použití PST_1



Obr. 7. Zaťaženie medzištátnych profilov ES SR pri použití PST_2



Obr. 8. Zaťaženie medzištátnych profilov ES SR pri použití PST_3