

doc. Ing. Alexander Mészáros, PhD.

Modelovanie riadenia toku výkonu s využitím PST transformátora

Liberalizácia trhu s elektrinou znamená nielen zásadnú zmenu v obchodovaní s touto komoditou, ale zároveň výrazne ovplyvňuje samotnú prevádzku elektrizačnej sústavy. Spotrebiteľ, na základe ponúkanej ceny, si môže zakúpiť elektrinu v princípe od ľubovoľného dodávateľa v EÚ, čo môže zapríčiniť zvýšený cezhraničný prenos výkonu s hrozbou preťaženia určitých vedení až nad hranicu ich fyzikálnych možností a následnej havárie ich prevádzky. Nepredikovateľnosť dodávok elektriny zo solárnych či veterných elektrární ďalej komplikuje túto situáciu, čo prevádzkovateľ sústavy musí neodkladne riešiť.

Kľúčové slová: liberalizovaný trh; obchodovanie s elektrinou; obnoviteľné zdroje energie; transformátor s priečnou reguláciou; PST transformátor

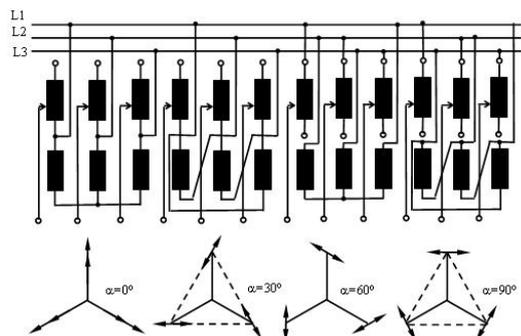
I. ÚVOD

Rozdelenie prúdov v jednotlivých častiach zložitej prepojenej sústavy závisí od ich impedancie ako aj od rozmiestnenia a veľkosti napájacích zdrojov a spotrebičov [3, 6]. V určitých prípadoch sa môže rozloženie prúdov, vyplývajúce z týchto podmienok byť nežiaduce, napr. preťažením niektorých vedení príslušnej sústavy, nevyhovujúcim pomerom reaktančného a činného výkonu a pod. Aby sa zabránilo týmto nebezpečným stavom a zabezpečilo požadované rozdelenie prúdov pre dané prevádzkové podmienky, do uzavretého obvodu treba príviesť prídavné napätie spôsobujúce vyrovnávací prúd. Pri správnej voľbe tohto napätia, čo do veľkosti a fázy, možno získať taký vyrovnávací prúd, ktorý po sčítaní s pôvodnými prúdmi v jednotlivých častiach sústavy priblíži výsledné rozloženie prúdov k rozloženiu požadovanému.

II. TRANSFORMÁTORY S UHLOVOU REGULÁCIOU

Uhlová regulácia napätia transformátora je regulácia napätia transformátora z hľadiska veľkosti a fázy, pri ktorej fázor prídavného napätia zvierá s fázorom základného napätia určitý uhol. Takéto riadenie sa vyžaduje pri spájaní dvoch rôznych sústav zvn, vvn a pri regulácii činného a reaktančného výkonu v prepojených elektrizačných sústavách.

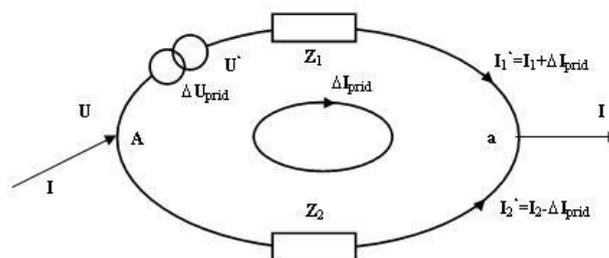
Prídavné napätie má fázový posun vzhľadom na základné napätie všeobecne rôzny od nuly a získava sa z vinutí iných fáz alebo z regulovateľných transformátorov, prípadne autotransformátorov napájaných z vhodných fáz. Na jednom transformátore sa to dosiahne tak, že k základnému vinutiu každej fázy sa pripojí prídavné napätie susednej fázy. Veľkosť prídavných napätí fázovo natočených sa vzhľadom na základné napätie mení vhodným prepínaním zariadením.



Obr. 1 Rôzne možnosti uhlovej regulácie transformátora [2].

Uhlovou reguláciou, pri ktorej je fázor prídavného napätia rovnobežný s fázorom základného napätia (uhol 0°) sa získa pozdĺžna regulácia (prvý prípad na obr.1). Regulácia, pri ktorej je fázor prídavného napätia kolmý k fázorom základného napätia (uhol 90°), sa nazýva priečna (posledný prípad na obr. 1).

Princíp činnosti transformátora s uhlovou reguláciou možno vysvetliť na jednoduchšej sústave pozostávajúcej z dvoch paralelných vetiev medzi bodmi A-a, podľa obr. 2.



Obr. 2 Zapojenie regulačného transformátora do siete.

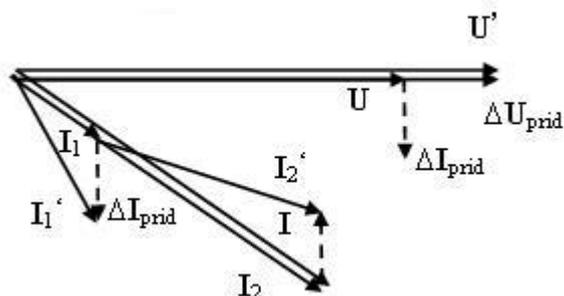
Pri uvažovaní jednoduchšej siete podľa obr. 2, bez prídavného regulačného transformátora a jeho napätia ΔU_{prid} , celkový odber I v napájacom bode A sa rozdelí v pomere impedancií príslušných paralelných vetiev $I_1 : I_2 = Z_2 : Z_1$, pričom jedno z vedení za určitých podmienok môže byť preťažené. Pri zanedbaní rezistancie a priečnej admitancie vedení budú prúdy I_1 a I_2 vo fáze.

Po pridaní regulačného transformátora podľa obr. 2 možno generovať prídavné napätie požadovanej veľkosti, ktoré vyvolá v sieti prídavný (vyrovnávací) prúd ΔI_{prid} , ktorý sa pripočíta k pôvodným prúdom v súlade s jeho orientáciou:

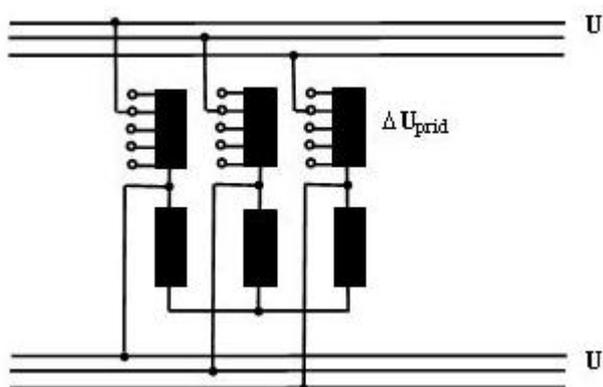
$$\begin{aligned} I_1' &= I_1 + \Delta I_{\text{prid}} \\ I_2' &= I_2 - \Delta I_{\text{prid}} \end{aligned} \quad (1)$$

V prípade klasického transformátora s pozdĺžnou reguláciou prídavné napätie zvierá so základným napätím nulový fázový uhol. Ak sa uvažuje iba s reaktanciou siete, prídavný prúd je oneskorený o 90° za prídavným napätím a má čisto reaktančný charakter (obr. 3). Pozdĺžna regulácia napätia transformátora umožňuje riadiť napätie v smere (pozdĺž) fázora napätia siete, pričom sa takto ovplyvňuje hlavne reaktančná zložka výkonu. Principiálna schéma zapojenia transformátora je na obr. 4.

Rozdelenie činných prúdov a výkonov možno regulovať transformátorom s priečnou reguláciou. Princíp funkcie a vzniku prídavného napätia je zjavné z fázového diagramu na obr. 5a, výsledné rozdelenie prúdu v sieti je na obr. 5b.

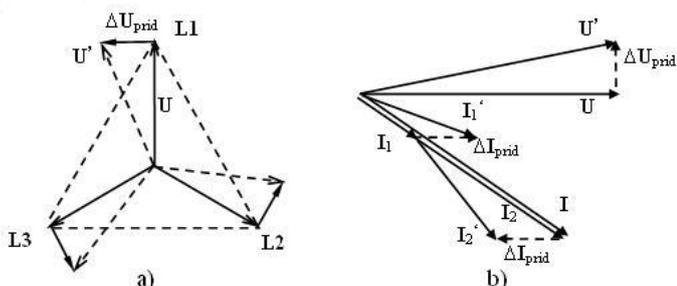


Obr. 3 Fázorový diagram obvodu s transformátorom s pozdĺžnou reguláciou.



Obr. 4 Schéma zapojenia regulačného autotransformátora s pozdĺžnou reguláciou [4].

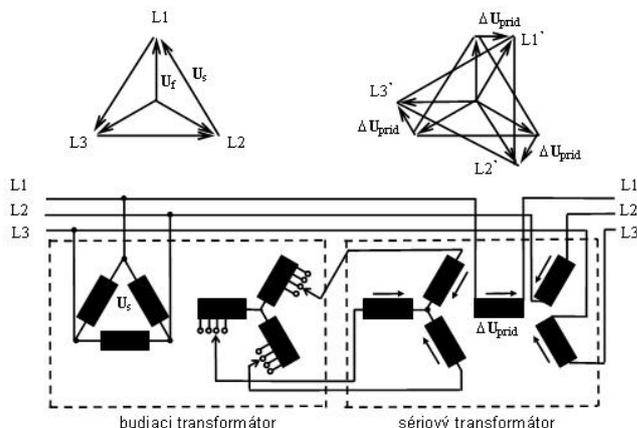
Priečna regulácia napätia umožňuje riadiť napätie kolmo (naprieč) na fázor napätia siete, pričom sa riadi hlavne činná zložka výkonu.



Obr. 5 Fázorový diagram obvodu s transformátorom s priečnou reguláciou [4].

Regulácia napätia transformátora v danom rozsahu sa rieši buď ako priama, alebo nepriama. Pri priamej regulácii napätia transformátora sa riadenie uskutočňuje na tom istom vinutí, pre ktoré sa vyžaduje zmena napätia. Ak riadenie sa neuskutočňuje na tom istom vinutí, kde je zmena napätia, ide o nepriamu reguláciu napätia transformátora. Používa sa zvyčajne vtedy, keď na tej strane, kde sa má riadiť napätie, sú veľké prúdy. Nepriama regulácia sa môže uskutočniť na samotnom transformátore, alebo pomocou sériového transformátora a pomocného riadiaceho transformátora. V takom prípade je riadiace zariadenie zapojené do pomocného obvodu a príslušné zmeny napätia sa dosahujú prostredníctvom sériového transformátora zaradeného do obvodu, ktorého regulácia sa požaduje (obr.6).

Často sa priečna regulácia zlučuje s pozdĺžnou, vinutie I. budiaceho transformátora býva zapojené do D, II. do Y, na priečnu reguláciu slúži sériový transformátor zapojený do Y, na reguláciu pozdĺžnu druhý sériový transformátor zapojený do D.

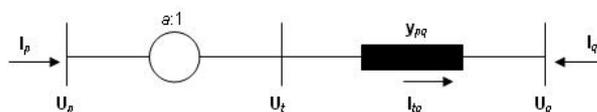


Obr. 6 Fázorový diagram a zapojenie nepriamej priečnej regulácie [2].

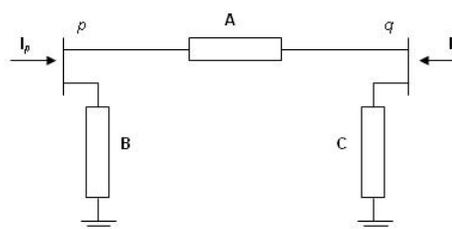
Transformátor umožňujúci priečnu reguláciu napätia sa v praxi označuje aj ako transformátor s fázovou reguláciou (reguláciou fázy), skratkou PST (Phase Shift Transformer) [1, 5].

III. MATEMATICKÝ MODEL TROJFÁZOVÉHO TRANSFORMÁTORA

Pri modelovaní transformátora možno vychádzať z predpokladu, že transformátor je pripojený medzi dva uzly $p-q$ sústavy. Každý transformátor možno nahradiť impedanciami resp. admitanciami zapojenými do série s ideálnym autotransformátorom podľa obr. 7.



Obr. 7 Náhradná schéma transformátora.



Obr. 8 Náhradný Π – článok transformátora s pevne nastavenou odbočkou.

Parametre náhradného Π – článku zobrazeného na obr. 8 možno odvodiť z rovnosti svorkových prúdov skutočného transformátora a príslušných prúdov náhradného článku. Pomer napätí na primárnej a sekundárnej strane transformátora udáva jeho napäťový prevod:

$$\frac{U_p}{U_t} = a \tag{2}$$

Pre prúdy na oboch stranách transformátora platí $\frac{I_{tq}}{I_p} = a$, z čoho

$$I_p = \frac{I_{tq}}{a} = (U_t - U_q) \frac{Y_{pq}}{a} \tag{3}$$

Dosadením z (2) za $U_t = \frac{U_p}{a}$ do (3) vychádza pre

$$I_p = (U_p - aU_q) \frac{y_{pq}}{a^2} \quad (4)$$

a podobne $I_q = (U_q - U_t) y_{pq} = (aU_q - U_p) \frac{y_{pq}}{a}$ (5)

Matematický model náhradného Π - článku vo všeobecnosti možno opísať rovnicami:

$$\begin{aligned} I_p &= (U_p - U_q)A + U_p B \\ I_q &= (U_q - U_p)A + U_q C \end{aligned} \quad (6a,b)$$

Za predpokladu $U_p = 0$ a $U_q = 1$ z rovnice (4) vychádza

$$I_p = -\frac{y_{pq}}{a}, \text{ čiže podľa (6a) bude koeficient}$$

$$A = \frac{y_{pq}}{a} \quad (7)$$

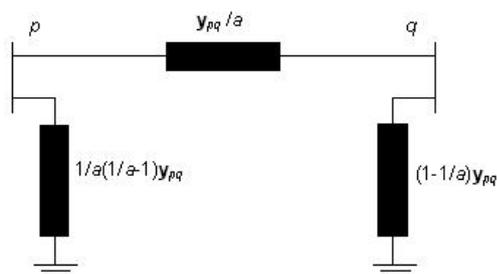
Podobne z rovnice (5) platí $I_q = y_{pq}$, potom podľa (6b) bude $I_q = A + C$, z čoho je zrejme, že koeficient C sa určí ako

$$C = y_{pq} - \frac{y_{pq}}{a} = \left(1 - \frac{1}{a}\right) y_{pq} \quad (8)$$

Za predpokladu $U_p = 1$ a $U_q = 0$ z rovníc (4) a (6a) zostáva vyjadriť koeficient B:

$$\begin{aligned} \frac{y_{pq}}{a^2} &= \frac{y_{pq}}{a} + B, \text{ z čoho} \\ B &= \frac{y_{pq}}{a^2} - \frac{y_{pq}}{a} = \frac{1}{a} \left(\frac{1}{a} - 1\right) y_{pq} \end{aligned} \quad (9)$$

Po určení koeficientov A, B, C možno nakresliť ekvivalentný Π -článok transformátora (obr. 9).



Obr. 9 Ekvivalentný Π - článok s parametrami transformátora.

Vlastnú admitanciu transformátora podľa obr. 9 na prípojnici p možno vyjadriť zápisom

$$Y_{pp} = y_{p1} + \lambda + \frac{y_{pq}}{a} + \lambda + y_{pn} + \frac{1}{a} \left(\frac{1}{a} - 1\right) y_{pq} = y_{p1} + y_{p2} + \lambda + \frac{y_{pq}}{a^2} + \lambda + y_{pn} \quad (10)$$

vzájomná admitancia medzi p a q je

$$Y_{pq} = -\frac{y_{pq}}{a} \quad (11)$$

a vlastná admitancia na prípojnici q je

$$Y_{qq} = y_{q1} + \lambda + \frac{y_{qp}}{a} + \lambda + y_{qn} + \left(1 - \frac{1}{a}\right) y_{qp} = y_{q1} + y_{q2} + \lambda + y_{qp} + \lambda + y_{qn} \quad (12)$$

V prípade transformátora s odbočkami prepínateľnými pod zaťažením dochádza k nastavovaniu prevodu transformátora v záujme udržania amplitúdy napätia v rámci požadovanej tolerancie ρ . Postupne sa nastavujú odbočky transformátora dovtedy, kým nie je splnený vzťah:

$$|U_p^k - U_p| < \rho \quad (13)$$

U_p^k - je napätie nastavené odbočkami transformátora v k-tej iterácii,

U_p - je požadované napätie v uzle p.

V záujme vyhnúť sa rozsiahlym výpočtom, pri určovaní prvkov Y_{pp} , Y_{pq} a Y_{qq} uzlovej admitančnej matice sa predpokladá rovnosť sériovej impedancie skutočného transformátora a sériovej impedancie v náhradnom Π článku transformátora. Potom zmenu odbočiek transformátora odrážajú len koeficienty B a C, resp. prvky Y_{pp} a Y_{qq} . Platí nasledovný vzťah:

$$(U_p - U_q)A + U_p B = (U_p - aU_q) \frac{y_{pq}}{a^2} \quad (14)$$

Pre $A = y_{pq}$ nadobúda rovnica (14) tvar:

$$(U_p - U_q)y_{pq} + U_p B = (U_p - aU_q) \frac{y_{pq}}{a^2}$$

z čoho možno vyjadriť koeficient B:

$$B = \left(\frac{1}{a} - 1\right) \left[\left(\frac{1}{a} + 1\right) - \frac{U_p}{U_q}\right] y_{pq} \quad (15)$$

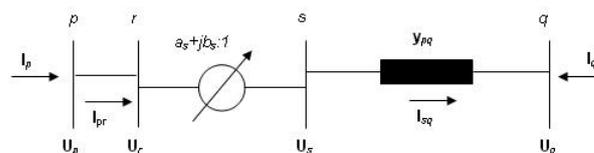
Podobne pre prúd I_q pri substitúcii $A = y_{pq}$, platí:

$$[U_q - U_p] y_{pq} + U_p C = (aU_q - U_p) \frac{y_{pq}}{a} \quad (16)$$

z čoho koeficient C je:

$$C = \left(1 - \frac{1}{a}\right) y_{pq} \frac{U_p}{U_q} \quad (17)$$

Transformátor s priečnou reguláciou možno ekvivalentne nahradiť ideálnym transformátorom s komplexným transformátorovým prevodom $(a + jb)$ v sérii s impedanciou alebo admitanciou y_{pq} ako je to uvedené na obr. 10.



Obr. 10 Náhradná schéma transformátora s priečnou reguláciou [7].

Keďže $U_p = U_r$, pre napäťový prevod transformátora platí:

$$\frac{U_p}{U_s} = \frac{U_r}{U_s} = a_s + jb_s \quad (18)$$

Činné výkonové straty ideálneho transformátora sú zanedbateľné, preto $U_p I_{pr}^* = U_s I_{sq}^*$, a prúdový prevod transformátora je:

$$\frac{I_{sq}}{I_{pr}} = a_s - jb_s \quad (19)$$

Podľa obr. 10 platí:

$$I_{sq} = (U_s - U_q) Y_{pq}$$

z čoho

$$I_{pr} = \frac{I_{sq}}{a_s - jb_s} = \frac{(U_s - U_q) Y_{pq}}{(a_s - jb_s)} \quad (20)$$

Dosadením za $U_s = \frac{U_p}{a_s + jb_s}$ do (20) po úprave pre I_{pr} vychádza

$$I_{pr} = [U_p - (a_s + jb_s)U_q] \frac{Y_{pq}}{a_s^2 + b_s^2} \quad (21)$$

a pre prúd I_{qs}

$$I_{qs} = (U_q - U_s) Y_{pq} = [(a_s + jb_s)U_q - U_s] \frac{Y_{pq}}{a_s + jb_s} \quad (22)$$

Prvky uzlovej admitančnej matice možno vypočítať postupom ako v predchádzajúcom prípade. Y_{pp} sa určí uvažovaním pripojenia jednotkového napäťového zdroja na p-tý uzol a skratovaním zvyšných uzlov. Z toho vyplývajú nasledovné vzťahy:

$$I_p = Y_{pp} = I_{p1} + I_{p2} + \dots + I_{pr} = [U_p - U_1] Y_{p1} + [U_p - U_2] Y_{p2} + \dots + I_{pr} = y_{p1} + y_{p2} + \dots + \frac{[U_p - (a_s + jb_s)U_q] Y_{pq}}{a_s^2 + b_s^2} \quad (23)$$

Podľa dosadení $U_p = 1$ a $U_i = 0$ pre $i = 1, \dots, n, i \neq q$, platí:

$$I_p = Y_{pp} = y_{p1} + y_{p2} + \dots + \left(\frac{Y_{pq}}{a_s^2 + b_s^2} \right) + \dots \quad (24)$$

Podobne pri určovaní prvku Y_{qq} platia nasledovné vzťahy:

$$I_q = Y_{qq} = I_{q1} + I_{q2} + \dots + I_{qs} = [U_q - U_1] Y_{q1} + [U_q - U_2] Y_{q2} + \dots + \frac{[(a_s + jb_s)U_q - U_p] Y_{pq}}{a_s + jb_s} \quad (25)$$

Ak $U_q = 1$ a $U_i = 0$ pre $i = 1, \dots, n, i \neq q$, platí:

$$I_q = Y_{qq} = y_{q1} + y_{q2} + \dots + y_{pq} \quad (26)$$

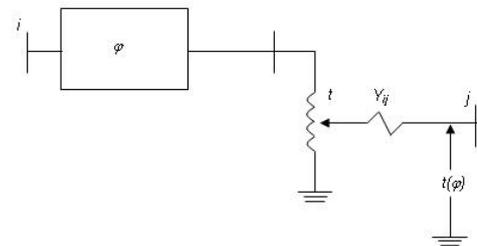
Pri určovaní prvku Y_{pp} je $U_p = 1$ a ďalšie napätia sú rovné nule. Vychádzajúc z rovnice pre určenie I_{qs} pre prúd I_q potom platí:

$$I_q = Y_{qp} = -\frac{Y_{pq}}{a_s + jb_s} \quad (27)$$

Podobne pri určovaní Y_{pq} je dosadzované $U_q = 1$ a zvyšok napätí sa rovná nule. Potom z rovnice pre prúd I_{pr} vyplýva:

$$I_p = Y_{pq} = -\frac{Y_{pq}}{a_s - jb_s} \quad (28)$$

Obr. 11 zobrazuje zovšeobecnený model transformátora s priečnou reguláciou, v ktorom sa mení amplitúda aj fáza napätia. Ekvivalentná pozícia odbočky je $t(\varphi)$, ktorá je funkciou nastavenej fázy φ napätia [7]. Ak sa napätie nemení, tak $t=1$. Na obrázku je admitancia transformátora označená Y_{ij} .

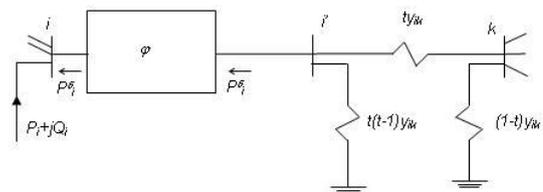


Obr. 11 Zovšeobecnený model transformátora s priečnou reguláciou.

Obr. 12 znázorňuje ekvivalentný obvod s transformátorom s priečnou reguláciou, v ktorom sa uvažuje:

$$|U_i| = |U_i'| \\ \delta_i = \delta_i + \varphi$$

a komplexný výkon vstupujúci do uzla i je prenášaný do uzla i' . Pre všetky uzly, okrem prvého, sa uvažuje vektor fáz a napätí $[\delta U]^T$.

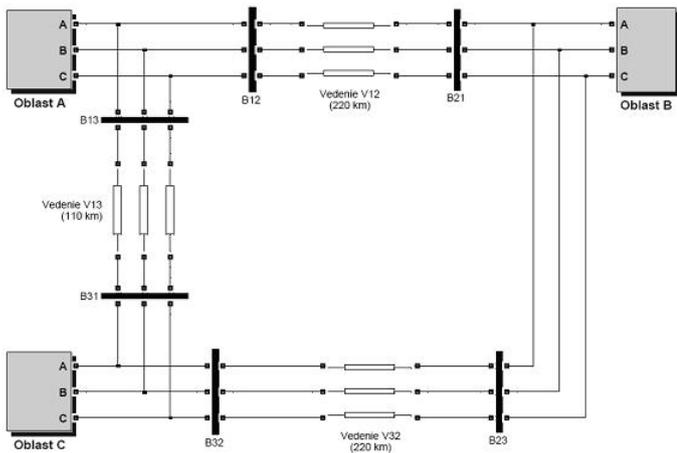


Obr. 12 Náhradný obvod s transformátorom s priečnou reguláciou [7].

IV. POUŽITIE PST V SIMULÁCII V PROSTREDÍ SIMPOWER SYSTEMS

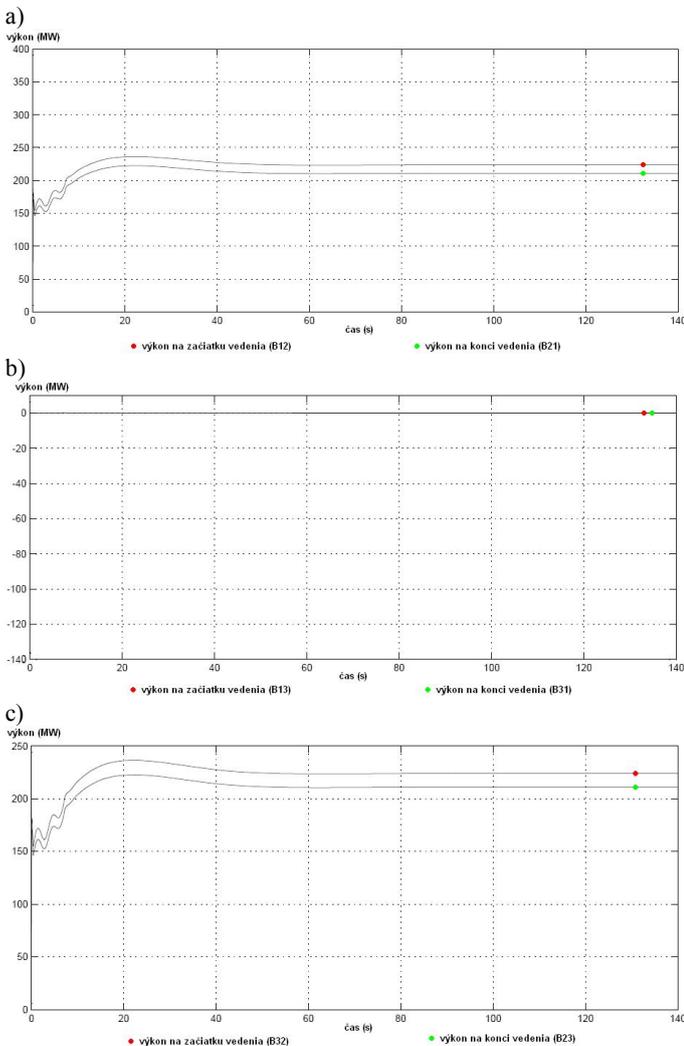
SimPowerSystems je moderný dizajnerský nástroj, ktorý umožňuje vytvárať modely simulujúce správanie elektrizačnej sústavy. Nakreslenie topológie obvodov je rýchle, ich analýzy sa môžu týkať problémov aj z oblasti mechaniky, tepla či riadenia a pod. Je to zabezpečené využitím rozsiahlych knižníc, ktoré sú k dispozícii. Tieto knižnice obsahujú modely typických elektroenergetických zariadení ako sú transformátory, vedenia, motory, zariadenia výkonovej elektroniky a ďalšie [8].

Na vysvetlenie účinkov PST transformátora na reguláciu toku činného výkonu je potrebné najprv analyzovať vybranú modelovú sústavu bez jeho použitia. Na analýzu boli použité tri sústavy prepojené prenosovými vedeniami podľa obr. 13.



Obr. 13 Sústavy prepojené bez použitia PST.

Oblasti A a C pracujú s prebytkom výkonu, zatiaľ čo oblasť B má deficit výkonu. Oblasť A a B dodávajú rovnaký výkon a pri zadaných parametroch vedením V13 nepotečie žiadny výkon. Na obr. 14.a), b), c) sú znázornené výkony prenášané medzi jednotlivými oblasťami.

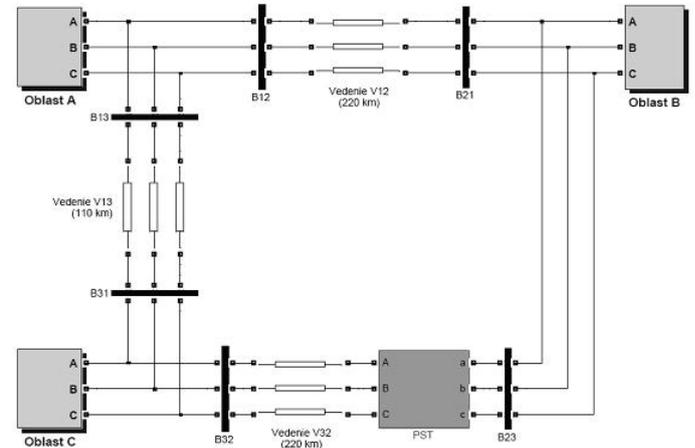


Obr. 14 Tok výkonu vedením V12 (a), V13 (b) a V32 (c).

Bez použitia PST transformátora sa z oblasti A do oblasti B prenášal výkon 230MW so stratami 20MW na vedení V12. Z oblasti

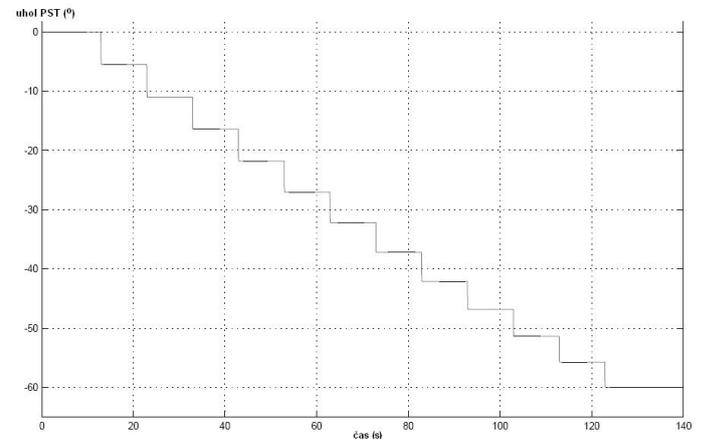
C do oblasti B sa prenášal rovnaký výkon 230MW so stratami 20MW na vedení V32.

Na účely ďalšej analýzy bol do vývodu vedenia V32 z oblasti B do oblasti C nasadený PST transformátor (obr. 15). Vzhľadom na predpokladané zaťaženie profilu bol vybraný PST transformátor o výkone 700MVA s 25 odbočkami, z ktorých jedna je v základnej nulovej polohe, 12 odbočiek je v kladnom smere a 12 v zápornom.



Obr. 15 Sústavy prepojené s použitím PST.

V modelovom príklade je využité prepínanie dvanástich odbočiek v kladnom smere v 10 sekundových intervaloch. Jeden posun odbočky znamená zmenu fázového uhla transformátora približne o 5,5° (obr. 16).



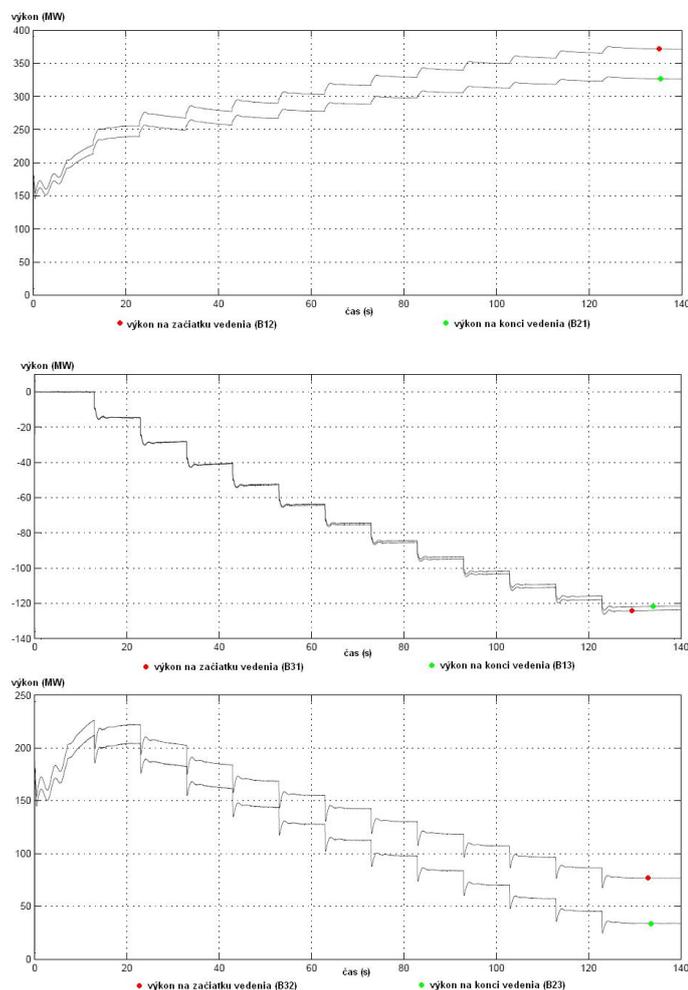
Obr. 16 Priebeh zmeny fázového uhla PST v závislosti od nastavenia odbočiek.

Obr. 17.a), b), c) znázorňujú prenášané výkony s využitím PST a taktiež zmenu prenášaného výkonu v závislosti od zmeny fázového uhla transformátora. Na jednotlivých obrázkoch sú znázornené dve krivky, pričom jedna udáva činný výkon na začiatku a druhá na konci vedenia. Takto je možné z grafických priebehov odčítať straty spôsobené prevádzkou PST transformátora.

Po nasadení PST transformátora sa prerozdelení činné výkony na vedeniach takým spôsobom, že vedením V32 v bode B23 sa prenášal výkon 35MW. Straty na tomto vedení s využitím PST vzrástli na hodnotu 35MW. Zvýšenie strát v prevádzke s PST v porovnaní s prevádzkou bez PST činí 15MW na príslušnom vedení. Zaťaženie vedenia V12 sa samozrejme zvýšilo adekvátne, aby bol pokrytý odber

v oblasti B, tok výkonu z oblasti C do oblasti B bol vlastne presmerovaný z vedenia V32 na V12 cez V31.

V prípade regulácie fázy s PST do záporného smeru by sa odľahčilo vedenie V12, a tok výkonu by sa presmeroval z oblasti A cez V13 na V32 do oblasti B.



Obr. 17 Tok výkonu vedením V12 (a), V13 (b) a V32 (c).

V. ZÁVER

Výkonovú bilanciu elektrizačnej sústavy je potrebné regulovať tak, aby bola v každom okamžiku zachovaná rovnováha medzi výrobou a spotrebou elektrickej energie. Za vyrovnanú výkonovú bilanciu elektrickej energie v každej krajine je zodpovedný prevádzkovateľ prenosovej sústavy, v prípade SR je to spoločnosť SEPS. Vyrovnaná výkonová bilancia znamená, že v každom okamžiku je výroba elektrickej energie na elektrárenských blokoch regulovaná tak, aby odpovedala okamžitej spotrebe, iba tak možno udržať chod sústavy v bezpečných a spoľahlivých limitoch.

Na reguláciu výkonu sa používajú hlavne konvenčné zdroje elektrickej energie - bloky uhoľných, vodných a plynových elektrární. SEPS nakupuje záložné výkony, tzv. podporné služby, od výrobcov - poskytovateľov na trhu, pretože zo zákona nesmie vlastniť žiadne zdroje elektrickej energie. Liberalizácia trhu s elektrinou oddelila výrobu a dodávku od prenosu a distribúcie do samostatných spoločností s jednoznačne vymedzenými právami a povinnosťami danými licenciami.

Výroba elektrickej energie vo veterných a fotovoltaických elektrárnach je v dôsledku ich silnej závislosti na klimatických podmienkach na rozdiel od ostatných zdrojov len ťažko predvídateľná, napriek tomu, že kvalita predikčných modelov sa stále zlepšuje. Nekontrolovateľný tok výkonov z veterných či slnečných elektrární na Slovensku, alebo dokonca zo zahraničia, môže ohroziť prevádzkovú bezpečnosť a spoľahlivosť elektrizačnej prenosovej sústavy SR.

Cieľom predkladaného príspevku bolo poukázať na možnosť presmerovania neočakávaných tokov výkonov hlavne z veterných a slnečných elektrární prostredníctvom PST. Odľahčením príslušného vedenia tak možno zabrániť jeho prípadnému preťaženiu a následnému vypínaniu, čo v krajnom prípade by mohlo viesť až k dominovému efektu a rozpadu sústavy s následkom veľkých hospodárskych škôd. Vďaka svojim vhodným regulačným schopnostiam a cenovej dostupnosti sa ako perspektívne riešenie javí umiestnenie PST do najviac ohrozených vedení.

POĎAKOVANIE

Tento príspevok vznikol vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt: Centrum výskumu účinnosti integrácie kombinovaných systémov obnoviteľných zdrojov energií, s kódom ITMS: 26220220064, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.



Podporujeme výskumné aktivity na Slovensku/Projekt je spolufinancovaný zo zdrojov EÚ.

LITERATÚRA

- [1] Hingorani, N. G., Gyugyi, L.: *Understanding FACTS*. New York: IEEE Press, 2000, 432 s.
- [2] Hora, O. – Navrátil, S. et al.: *Regulace elektrických strojů*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1976.
- [3] Chemišinec, I. et al.: *Obchod s elektrinou*. 1. vyd. Praha: CONTE spol. s r.o., 2010. ISBN 978-80-254-6695-7. 201 s.
- [4] Jezierski, E.: *Transformátory*. 1. vyd. Praha: Academia, 1973.
- [5] Johansson, N.: *Control of Dynamically Assisted Phase-shifting Transformers*. Stockholm: Royal Institute of Technology, 2008. ISBN 978-91-7178-879-5. 184 s.
- [6] Kubín, M.: *Energetika, Perspektivy-strategie-inovace*, JME, 2002, 544 s.
- [7] Momoh, J.A.: *Electric Power System Applications of Optimization*. 1. vyd. New York: Marcel Dekker, 2001. ISBN 0-8247-9105-3. 478 s.
- [8] *SimPowerSystems: for Use with Simulink*. User's Guide, Version 3. The MathWorks., Hydro-Québec: TransÉnergie Technologies, 2003. 620 s.

ADRESY AUTOROV

Alexander Mészáros, Technická univerzita v Košiciach, Katedra elektroenergetiky, Másiarska 74, Košice, SK 04120, Slovenská republika, Alexander.Meszaros@tuke.sk

