

Zsolt Čonka

## Vplyv TCSC na dynamickú stabilitu sústavy

Tento článok opisuje vplyv TCSC na dynamickú stabilitu elektrizačnej sústavy. TCSC je považované za jedno z najlepších zariadení určených na reguláciu tokov výkonov. TCSC v sebe skrýva širokú škálu možností využitia v elektrizačnej sústave, či už na reguláciu tokov výkonov, zlepšenie dynamickej stability prenosu elektrickej energie alebo na mnoho ďalších. Tento článok sa zaoberá výskumom vplyvom TCSC na dynamickú stabilitu elektrizačnej sústavy.

Kľúčové slová: Dynamická stabilita, TCSC, elektrizačná sústava

This paper describes the impact of Thyristor controlled series capacitor controller on the transient stability of power transmission. TCSC is designed primary for power flow regulation and control. For demonstration of the impact of TCSC on transient stability of power system was used 14 node model with 4 generator. These devices with suitable controller can therefore also be used for many other purposes than those for which they were designed.

Keywords: Transient stability, TCSC, power system

### I. ÚVOD

Jedným z najdôležitejších zariadení pracujúcich v elektrizačnej sústave sú synchronné stroje. Tieto zariadenia sú navzájom poprepávané prostredníctvom transformátorov, vedení a sú v synchronnom chode. Prenosová schopnosť takejto sústavy je obmedzená dovolenými úbytkami napätí a prúdovou zaťažiteľnosťou vodičov. Pri prenose na veľké vzdialenosti pristupuje aj podmienka stability paralelného chodu. Predpokladom prevádzky a existencie veľkých, navzájom prepojených energetických sústav je udržanie stability paralelného chodu t.j. synchronizmu [2], [7].

V elektrizačných sústavách po celom svete sa v posledných rokoch začali využívať nové zariadenia na báze výkonovej elektroniky a to FACTS zariadenia. Mnoho FACTS zariadení bolo vo svete inštalovaných hlavne kvôli ich schopnosti regulovať rôzne veličiny v elektrizačných sústavách a tiež ako náhradu za výstavbu nových vedení. Inštalácia FACTS zariadenia, ktorá dokáže zvýšiť prenosovú schopnosť okolitých vedení je lacnejšia a omnoho rýchlejšia ako výstavba nových vedení a pritom ešte ponúkajú aj mnoho ďalších výhodných vlastností v jednom zariadení ako sú [1] [3], [2], [7]:

- Regulácia tokov výkonov
- Zvýšenie prenosovej schopnosti už existujúcich vedení
- Kontrola napätia
- Kompenzácia jalového výkonu
- Zvýšenie stability (statickej aj dynamickej)
- Zlepšenie kvality elektrickej energie
- Zmiernenie flika

### II. DYNAMICKÁ STABILITA

Stabilita elektrizačnej sústavy je schopnosť ES zotrvať v rovnovážnom prevádzkovom stave po poruche.

Elektrizačná sústava je neautonómny systém, v ktorom sa môžu vyskytnúť rôzne typy porúch (zmena zaťaženia, skraty, atď.). Elektrizačná sústava môže zostať v rovnovážnom stave po pôsobení

ľubovoľnej poruchy, avšak akákoľvek ďalšia porucha už môže viesť až k rozpadu sústavy. Takáto porucha môže viesť k vzniku tzv. ostrovných prevádzok.

Pre zachovanie dynamickej stability sa odporúča vykonať prieskum povahy dynamickeho prechodného javu z jedného do druhého prevádzkového stavu. Skúmaním zistíme, či pri tomto prechode nevypadne zo synchronizmu ani jedna elektrárňa. K tomu, aby prechodný jav nezavinil žiadnu stratu synchronizmu, ani vypnutie odberateľa je doporučené vykonať nasledujúce opatrenia:

Činnosť regulácie budenia treba zohľadňovať pri každom rozbere. Na základe skúmania „rovnosti plôch“ možno dynamickú stabilitu dodržať vtedy, ak plôška spomalenia rotujúcich máš vzhľadom k plôške zrýchlenia je v pomere koeficienta ke.

Koeficient ke je potrebné skontrolovať v troch prípadoch:

a) kontroluje sa, či je v rozmedzí zmeny uhla  $\delta$  pri počiatocnom stave  $\delta_0$  a pri maximálnej odchýlke  $\delta_{\max} < 180^\circ$  a vtedy by bol:

b) kontroluje sa pri porušení stability následkom vzrastu a to pri postupnom skúmaní zaťaženia elektrických výkonov:

$P = P_0, 1,05 \cdot P_0, 1,1 \cdot P_0, 1,15 \cdot P_0, 1,2 \cdot P_0 \dots$   
až do  $P_1$

Pri výkone  $P_1$  sa musí dodržať synchronný chod a vtedy platí  $P_1$  je maximálny dovolený prenášaný výkon vedením:

c) kontroluje sa pri spotrebiči, keď na kritickom mieste sústavy nastane pokles pôvodného napätia  $U_0$  pri odbere výkonu  $P_0$  a to pri stavoch kedy:

$U = U_0, 0,98 \cdot U_0, 0,96 \cdot U_0, 0,94 \cdot U_0, 0,92 \cdot U_0 \dots$   
až do  $U_1$

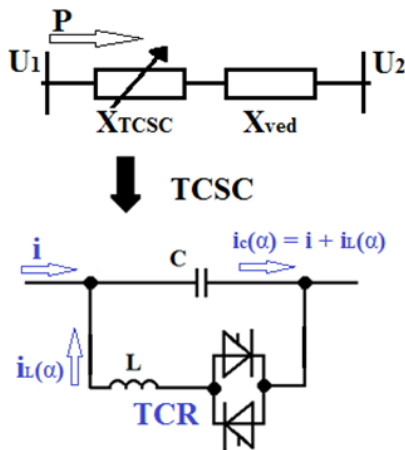
Pri napätí  $U_1$  ešte nedôjde k narušeniu stability  $U_1$  predstavuje najnižšiu prípustnú hodnotu napätia v kritickom mieste sústavy. Prekročením tejto hodnoty napätia dochádza k strate napäťovej stability a hrozí riziko vzniku napäťovej lavíny.

Vzhľadom k tomu, že tieto pravidlá nie sú všeobecné, existuje niekoľko prípadov, keď stačí dynamickú stabilitu zabezpečiť pri poruchách, ktoré majú vážnejšiu odozvu na systém [4], [5], [6] [8].

### III. TCSC

Tyristorom riadený sériový kondenzátor je určený na riešenie problémov dynamickej stability v prenosovej sústave. Po prvé sa zvyšuje tlmenie oscilácií pri vzájomne prepojených sústavách a ako ďalšie pomáha prekonať Sub-synchrónnu rezonanciu SSR, ktorý vzniká pri prepojení dvoch sériovo kompenzovaných systémov. Rýchle ovládanie TCSC umožňuje regulovať toky výkonov čo umožňuje zvyšovať prenosovú schopnosť vedení.

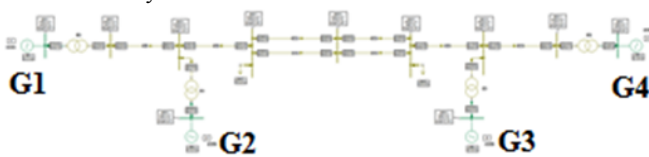
Sériové kompenzátory ponúkajú oproti paralelným kompenzátorom značné výhody. Pri využití sériových kompenzátorov na jalový výkon zvyšuje kvadraticky s prúdom tečúcim daným vedením, pričom pri využití paralelných kompenzátorov sa jalový výkon generuje adekvátne vzhľadom ku kvadrátu napätia v uzle. Ďalšou nevýhodou paralelných kompenzátorov je to, že by mali byť nainštalované v strede vedenia, avšak pri sériových kompenzátoroch tento problém odpadá.



Obr. 1. Základná schéma TCSC

### IV. VÝPOČET DYNAMICKEJ STABILITY V PROGRAME NEPLAN

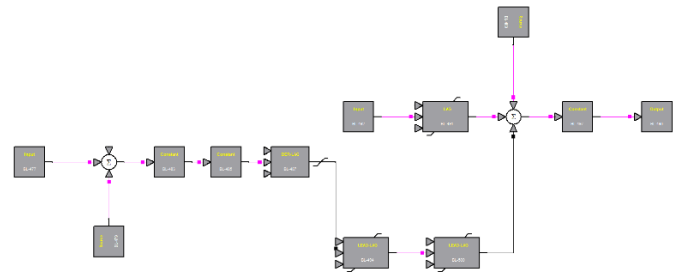
Pre výpočet dynamickej stability bola namodelovaná 4 generátorová sieť (IEEE 14) (obr. 2) v programe NEPLAN. Sieť pozostáva zo štyroch generátorov s blokovými transformátormi, 8 vedení a 2 odberných uzlov.



Obr. 2. Zapojenie siete

Každý generátor je regulovaný regulátorom, ktorý je kombináciou PSS (Power system stabilizer) a AVR (Automatic voltage regulator).

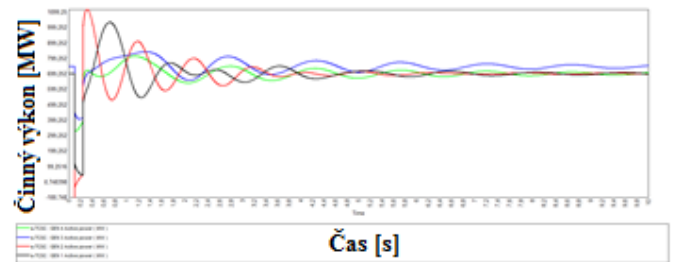
Na obrázku (obr.3) je znázornený regulátor, ktorý bol použitý na reguláciu generátorov. Tento regulátor má v sebe obsiahnutý PSS (Power system stabilizer) a AVR (Automatic voltage regulator).



Obr. 3. Regulátor AVR a PSS

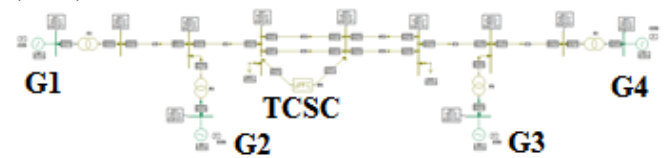
V danej sieti bol namodelovaný výpadok jedného z paralelných vedení. Tento výpadok vyvolá kvv generátorov.

Kyvvy činných výkonov generátorov bez TCSC sú zobrazené na (obr.4).



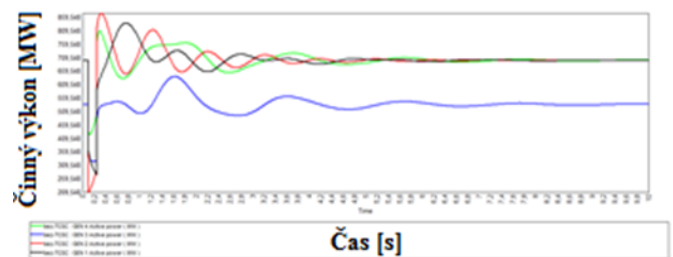
Obr. 4. Kyv činných výkonov generátorov

V programe NEPLAN bola zostrojená rovnaká sieť s TCSC (obr. 5).



Obr. 5. Zapojenie siete s TCSC

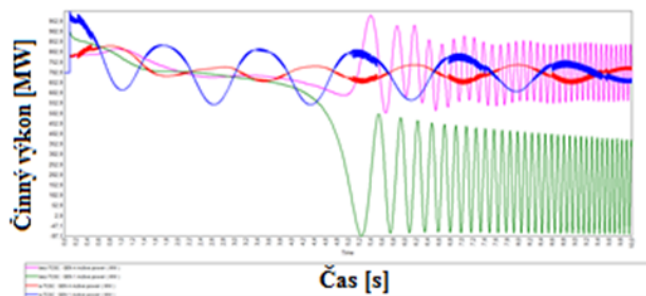
Na obr. 6 sú znázornené kyvvy činných výkonov generátorov. Po pripojení TCSC do siete sa kvv činných výkonov generátorov zmenšil a čas ustálenia kyvov sa skrátil.



Obr. 6. Kyv činných výkonov generátorov s TCSC

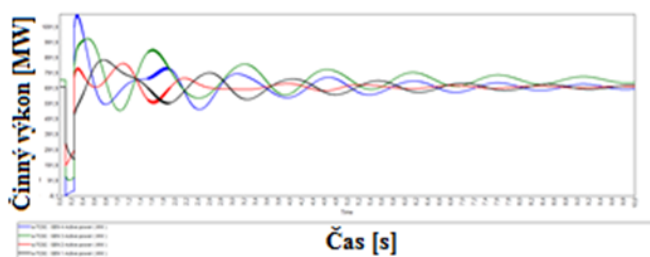
Ďalšou ukázkou vplyvu TCSC na dynamickú stabilitu je výpadok generátora č.2 ktorý dodával do siete 700MW. Fialovou a zelenou

farbou sú znázornené kyvy činných výkonov generátorov č. 1 a č.4 bez TCSC a modrou a červenou farbou kyvy týchto generátorov s TCSC. Obr. 7 znázorňuje výrazný vplyv TCSC na dynamickú stabilitu sústavy. Pri poruche v sieti bez TCSC sa činné výkony generátorov č.1 a č.4 (zelená, ružová) začnú kývať a generátory bez TCSC vypadnú zo synchronizmu. Inštaláciou TCSC do siete na kyv generátorov č.1 a č.4 znížil a po doznení prechodného deja sa kyv činných výkonov generátorov ustáli.



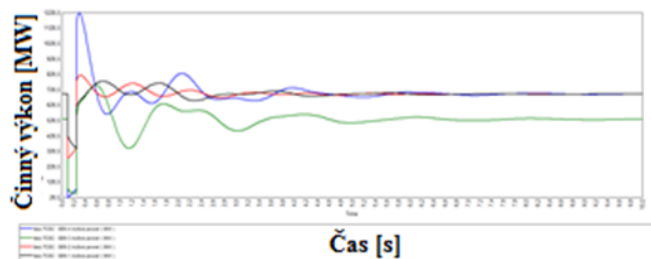
Obr. 7 Kyv činných výkonov generátorov.

Ďalším prípadom bola simulácia 3 fázového kovového skratu na vedení medzi uzlami 6-7. Kyv činných výkonov všetkých štyroch generátorov bez TCSC je znázornený na obr. 8.



Obr. 8 Kyv činných výkonov generátorov po 3f skrate na vedení.

Inštaláciou TCSC do siete sa kyvy činných výkonov generátorov zmenšili a čas ustálenia kyvov skrátil. Kyv činných výkonov generátorov je znázornený na obr. 9



Obr. 9 Kyv činných výkonov generátorov s TCSC po 3f skrate na vedení.

## V. ZÁVER

Tieto príklady sú názornou ukázkou priaznivého vplyvu TCSC na dynamickú stabilitu sústavy. Hlavnou úlohou TCSC v elektrizačnej sústave je regulácia tokov výkonov, avšak toto zariadenie svojou konštrukciou a s vhodným regulátorom dokáže aj zlepšiť dynamickú stabilitu sústavy. TCSC výraznou mierou prispelo k zabezpečeniu dodávky elektrickej energie vplyvom kratšej doby ustálenia kyvov generátorov. To znamená že sa generátory po poruche v elektrizačnej sústave dokážu rýchlejšie vrátiť do normálneho stabilného pracovného režimu a pre prípad ďalšej poruchy, dokážu túto poruchu lepšie zvládnuť. Tým dosiahneme zlepšenie dynamickej stability sústavy. Inštaláciou týchto moderných zariadení môžeme získať nielen možnosť regulácie tokov výkonov na danom profile, ale aj zvýšiť stabilitu sústavy a zabrániť obrovským hospodárskym škodám, ktoré by prípadný výpadok dodávky elektrickej energie mohol spôsobiť.

## LITERATÚRA

- [1] M. A. Abido, „Power system stability enhancement using FACTS controllers“ [online]. [cit. 2012-02-05]. Available on the Internet: <[http://ajse.kfupm.edu.sa/articles/341B\\_P.12.pdf](http://ajse.kfupm.edu.sa/articles/341B_P.12.pdf)>
- [2] Z. Trojáněk, J. Hájek, P. Kvasnica, „Přechodné jevy v elektrizačních soustavách“. STNL, 1987. 202 – 231 s.
- [3] L. Reiss, K. Malý, Z. Pavlíček, J. Bízík, „Teoretická elektroenergetika II“. STNL Praha, Alfa Bratislava 1978
- [4] CINTULA B. Analýza dynamickej stability synchronného generátora [online]. [cit. 2012-02-12]. Available on the Internet: <<http://www.posterus.sk/?p=11726>>
- [5] FACTS, „Powerful systems for flexible power transmission“. [online]. [cit. 2012-02-05]. Available on the Internet: <[http://www05.abb.com/global/scot/scot221.nsf/veritydisplay/b0f2c8c94b48a6bcc1256fda003b4d42/\\$file/facts\\_%20eng.%20abb%20review.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot221.nsf/veritydisplay/b0f2c8c94b48a6bcc1256fda003b4d42/$file/facts_%20eng.%20abb%20review.pdf)>
- [6] G. Narain, G. Hingorani, L., Gyugyi, „Understanding FACTS“ ISBN: 0-7803-3455-8, IEEE Order No. PC5713
- [7] D. Revákova, Ž. Eleschová, A. Belán, „Prechodné javy v elektrizačných sústavách“ ISBN, 978-80-227-2868-3
- [8] Z. Čonka, M. Kolcun, „Impact of TCSC on the Transient Stability“ Acta Electrotechnica et Informatica. Roč. 13, č. 2 (2013), s. 50-54. - ISSN 1335-8243 Available on internet :[www.versita.com/aei](http://www.versita.com/aei).

## ADRESY AUTOROV

Ing. Zsolt Čonka, PhD., Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Másiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, [Zsolt.Conka@tuke.sk](mailto:Zsolt.Conka@tuke.sk)