

Zsolt Čonka, Matúš Novák, Miroslav Kmec, Michal Kolcun

## Vplyv UPFC na dynamickú stabilitu sústavy

Tento článok opisuje vplyv UPFC na dynamickú stabilitu prenosu elektrickej energie. UPFC je považované za najinovatívnejšie FACTS zariadenie. UPFC 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 vplyvom UPFC na dynamickú stabilitu elektrizačnej sústavy.

Kľúčové slová: Dynamická stabilita, UPFC, elektrizačná sústava.

### I. ÚVOD

Synchrónne stroje sú jedným z najdôležitejších článkov elektrizačnej sústavy. Tieto zariadenia sú navzájom poprepájané prostredníctvom transformátorov, vedení a sú v synchrónnom 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]

K udržaniu stability sa v posledných rokoch začali využívať nové zariadenia na báze výkonovej elektroniky a to FACTS zariadenia. Mnoho krajín už tieto zariadenia využívajú pre ich výborné vlastnosti, hlavne pre reguláciu tokov výkonov. Tieto zariadenia však majú aj mnoho iných výhodných vlastností, ktoré sa môžu využiť pre zvýšenie spoľahlivosti dodávky elektrickej energie. [2] [7]

### II. ZACHOVANIE DYNAMICKEJ STABILITY

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 ploška spomalenia rotujúcich mäs vzhľadom k ploške zrýchlenia je v pomere koeficienta  $k_e$ .

Koeficient  $k_e$  je potrebné skontrolovať v troch prípadoch:

- kontroluje sa, či je v rozmedzí zmeny uhla  $\delta$  pri počiatočnom stave  $\delta_0$  a pri maximálnej odchýlke  $\delta_{\max} < 180^\circ$  a vtedy by bol:
- kontroluje sa pri porušení stability následkom vzrastu a to pri postupnom skúmaní zaťaženia elektrických výkonov:

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

Pri výkone  $P_1$  sa musí dodržať synchrónny chod a vtedy platí:

- 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:

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

Pri napätí  $U_1$  ešte nedôjde k narušeniu stability. Z poklesu napätia sa koeficient z podmienky zistí takto:

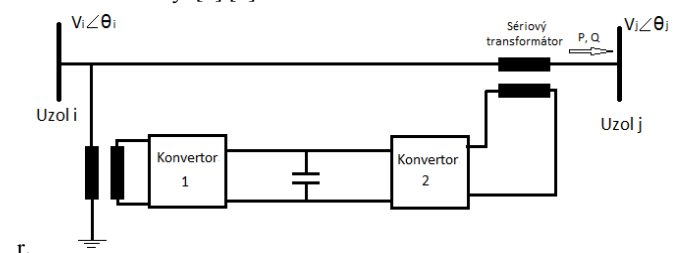
Vzhľadom k tomu, že tieto pravidlá nie sú všeobecné, existuje niekoľko prípadov, keď stačí dynamickú stabilitu zabezpečovať pri poruchách, ktoré majú vážnejšiu odozvu na systém [2] [7]

### III. UPFC

UPFC (*Unified Power Flow Controller*) pozostáva z dvoch konvertorov ktoré sú riadené zo spoločným riadiacim medzi obvodom.

Princíp činnosti UPFC spočíva v tom, že konvertor č. 2 je prostredníctvom sériového transformátora pripojený sériovo k vedeniu a umožňuje tak plynulo regulovať napätie a fázový posun. Úlohou konvertora č.1 je dodávať alebo absorbovať skutočný výkon, ktorý konvertor č.2 k svojej činnosti potrebuje. UPFC ďalej poskytuje možnosť dodávať alebo spotrebovať jalový výkon a tým zabezpečiť nezávislú paralelnú kompenzáciu na vedení. UPFC môže súčasne dodávať, alebo spotrebovať potrebný činný a jalový výkon ktorý je potrebný pre zvládnutie prechodných javov, alebo pre reguláciu tokov výkonov. [1] [5]

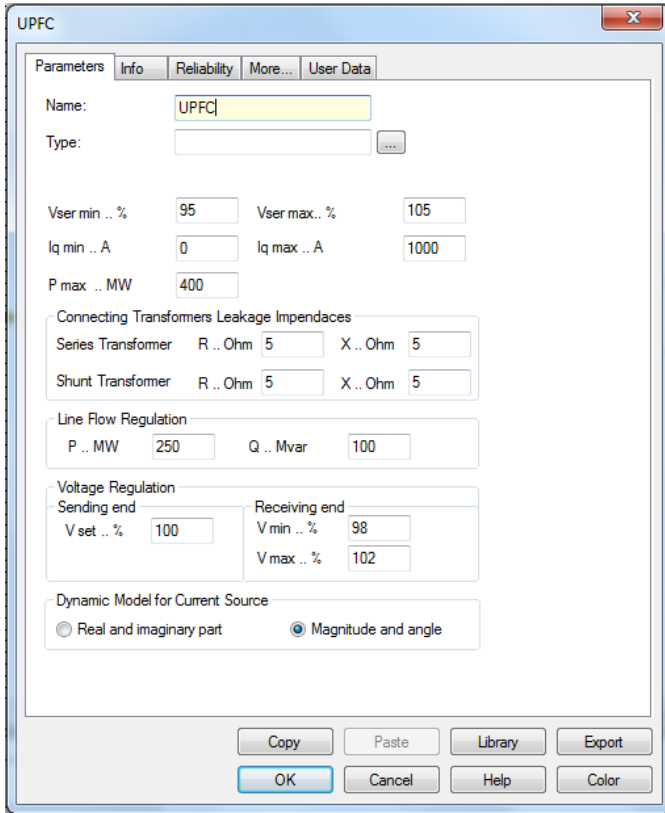
UPFC dokáže regulovať tri veličiny a môže byť prevádzkovaná v rôznych režimoch. Vďaka paralelnému pripojeniu konvertora môžeme meniť napätie na potrebné hodnoty, a sériovo pripojeným konvertorom môžeme plynule ovládať potrebný činný a jalový výkon. V zásade UPFC dokáže vykonať funkcie viacerých FACTS zariadení. [1] [5]



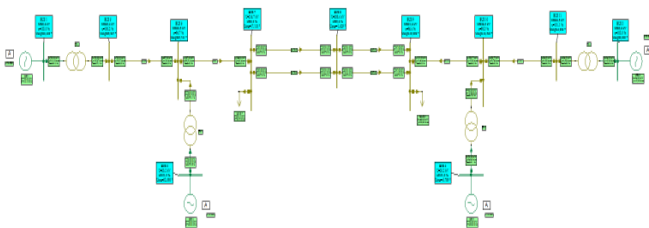
Obr. 1 Typické zapojenie UPFC do sústavy. [1] [5]

IV. SIMULÁCIA

Vplyv UPFC na dynamickú stabilitu si ukážeme na 4 generátorovej sieti. V čase  $t = 1s$  dôjde vplyvom skratu k výpadku jedného z paralelných vedení. Vplyvom výpadku dochádza ku kyvom generátorov s rizikom výpadku zo synchronizmu. Príklad je simulovaný v simulačnom programe NEPLAN. Na obr. 2 sú zobrazené nastavenia UPFC.



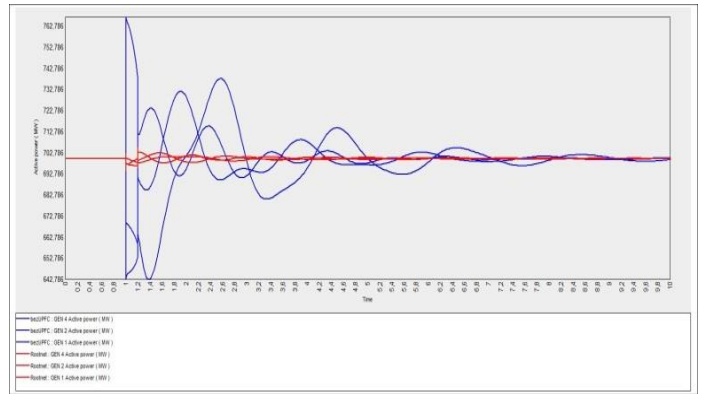
Obr. 2 Nastavenie UPFC



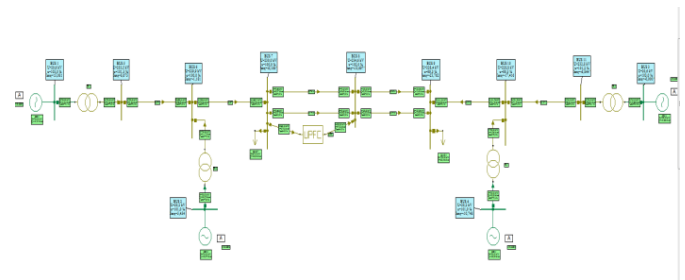
Obr. 3 Zapojenie siete bez UPFC

Vplyvom skratu dôjde k výpadku jedného z paralelných vedení. Tento výpadok vyvolá kyv generátorov.

Kyvy činných výkonov generátorov bez UPFC sú zobrazené na (obr.4) modrou farbou. Pripojením UPFC do siete sa kyvy generátorov výrazne zmenšili (červená farba obr.4)

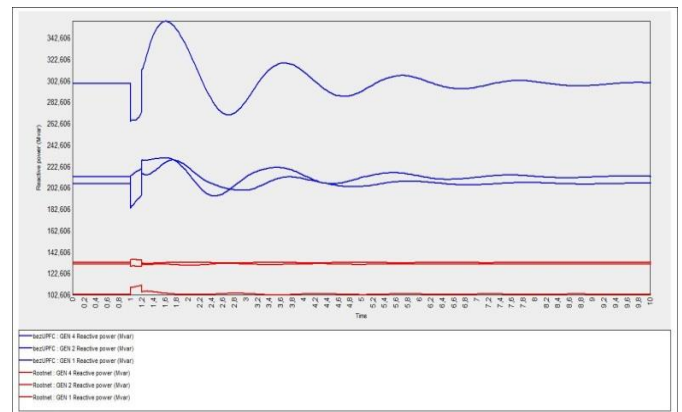


Obr. 4 Kyv činných výkonov generátorov



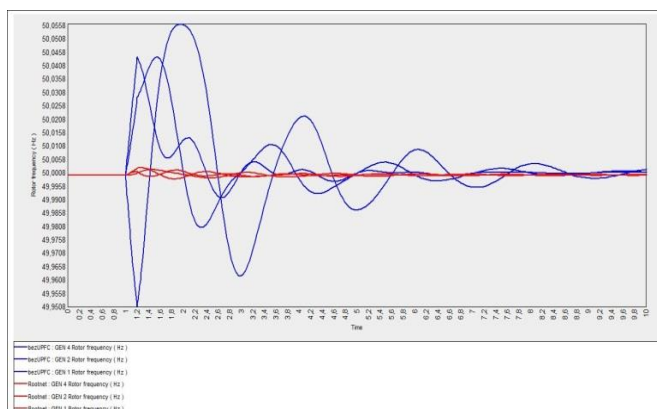
Obr. 5 Zapojenie s UPFC

Na obr.6 sú znázornené kyvy jalových výkonov generátorov. Po pripojení UPFC do siete (červená farba) sa jalové zaťaženie generátorov zmenšilo o výkon, ktorý do siete dodáva UPFC. Z obr.6 je zrejмый aj výrazný vplyv UPFC na kyv jalový výkon v sieti.



Obr. 6 Kyv jalových výkonov generátorov

Ďalšou ukázkou markantného vplyvu UPFC na dynamickú stabilitu je zmena frekvencie generátorov po výpadku (obr.7). Modrou farbou je znázornený kyv bez UPFC a červenou farbou kyv s UPFC. Z (obr.7) je zrejмый výrazný vplyv na sústavu.



Obr. 7 Zmena frekvencie rotorov generátorov

## ADRESY AUTOROV

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

Ing. Matúš Novák, Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, [Matus.Novak@tuke.sk](mailto:Matus.Novak@tuke.sk)

Ing. Miroslav Kmec, Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, [Miroslav.Kmec@tuke.sk](mailto:Miroslav.Kmec@tuke.sk)

Dr.h.c. prof. Ing. Michal Kolcun, PhD., Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, [Michal.Kolcun@tuke.sk](mailto:Michal.Kolcun@tuke.sk)

## V. ZÁVER

Tieto príklady sú názornou ukážkou priaznivého vplyvu UPFC na dynamickú stabilitu sústavy. UPFC výraznou mierou prispelo k zabezpečeniu dodávky elektrickej energie vplyvom kratšej doby ustálenia kyvov generátorov. Inštaláciou týchto moderných zariadení môžeme zabrániť obrovským hospodárskym škodám, ktoré by prípadný výpadok dodávky elektrickej energie mohol spôsobiť.

## POĎAKOVANIE

Túto prácu podporila Vedecká grantová agentúra Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky a Slovenskej akadémie vied grantom VEGA č. 1/0388/13.

## LITERATÚRA

- [1] ABIDO M. A. 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] TROJÁNEK Z. – HÁJEK J. – KVASNICA P.: Prěchodné jevy v elektrizačních soustavách. STNL, 1987. 202 – 231 s.
- [3] REISS, L., MALÝ, K., PAVLÍČEK, Z., BÍZIK, J.: 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]. <[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] NARAIN, G. HINGORANI, LASZLO, GYUGYI,: Understanding FACTS. ISBN: 0-7803-3455-8, IEEE Order No. PC5713
- [7] REVÁKOVA, D., ELESCHOVÁ, Ž., BELÁŇ, A.: Prechodné javy v elektrizačných sústavách. ISBN, 978-80-227-2868-3