

# NOVÉ MOŽNOSTI RIADENIA TOKOV VÝKONOV V ELEKTRIZAČNÝCH SÚSTAVÁCH

## NEW POSSIBILITY OF LINES POWER FLOW CONTROL

Juraj Altus, Marek Novotný

*Katedra výkonových elektrotechnických systémov, Elektrotechnická fakulta, Žilinská univerzita, 010 26 Žilina*

Miroslav Rapšík

*Slovenské elektrárne, a.s. Hraničná 5, Bratislava*

**Abstrakt** Súčasná doba je charakteristická stúpajúcimi požiadavkami spotrebiteľov na kvalitu a množstvo dodanej energie. Vzhľadom na finančné a časové problémy so stavbou nových zdrojov energie a distribučných vedení, výrobcovia a distribútori musia nájsť spôsob efektívnejšieho využitia aktuálnych zdrojov a prenosových vedení. Toto je priestor pre inštalovanie nových systémov FACTS - zariadení na riadenie a reguláciu tokov činného a jalového výkonu.

**Summary** Present time is characteristic with increasing requests of consumers on the quality and quantity of delivered energy. In regard to financial and time difficulty of building up new power plants and distribution lines, producers and distributors must find out more a effective capacity utilization of the actual equipment. There is the place for installing the new systems FACTS – unit for the control and regulation of power flows in energetic lines, and also to limit the reactive flow in lines.

### 1. ÚVOD

Jednou zo základných povinností prevádzkovateľov elektrizačných sústav je povinnosť dopraviť elektrickú energiu k zákazníkom v požadovanom množstve a kvalite. Otázka množstva dodávanej elektrickej energie je otázka dostatočnej prenosovej schopnosti vedení prenosovej sústavy a dostatku zdrojov elektrickej energie. Otázka kvality dodávanej elektrickej energie je otázka sledovania a vyhodnocovania zadaných kvalitatívnych parametrov a aj regulačnej schopnosti prenosovej sústavy. Tieto otázky boli u nás riešené ešte donedávna výstavbou nových vedení a zdrojov. Zmena vlastníckych vzťahov ako prenosových vedení, pôdy a tlak zo strany životného prostredia núti prevádzkovateľov prenosových sústav hľadať riešenie v oblasti zvyšovania prenosových schopností existujúcich vedení a kvality dodávanej elektrickej energie nasadzovaním nových technológií. Jedna z nich známa pod skratkou FACTS. Pod touto skratkou nájdeme tzv. pružné striedavé prenosové systémy, ktoré sa začínajú vo veľkej miere nasadzovať do prenosových sústav.

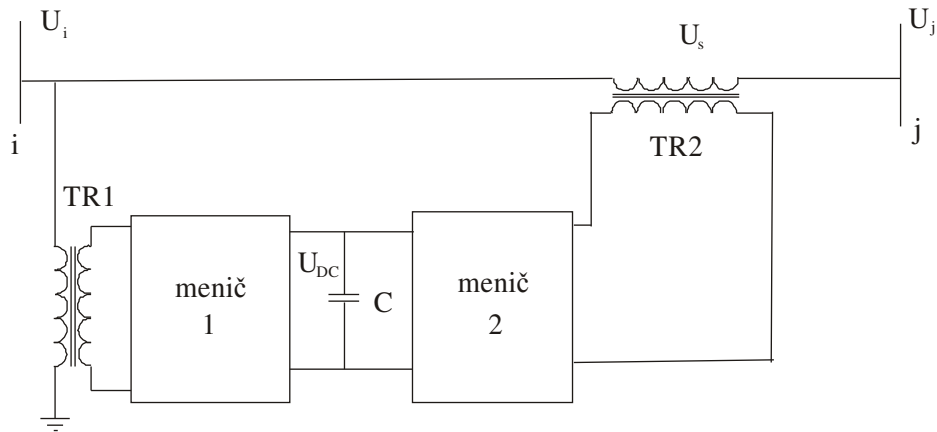
### 2. ZARIADENIA FACTS

Vývoj zariadení FACTS (Flexible AC Transmission Systems), je založený na prvkoch výkonovej elektroniky, ponúka nové možnosti na riešenie požiadavok regulácie napätia, činného a jalového výkonu a fázového uhla. Realizácia týchto flexibilných zariadení však bola možná až na určitom stupni vývoja technológií v oblasti výkonovej elektroniky, keď začali byť k dispozícii spoľahlivé výkonové spínacie prvky.

Medzi hlavné výhody, ktoré FACTS ako moderné kompenzačné zariadenia poskytujú, patria:

- kompenzácia je plynulo regulovateľná na rozdiel od pôvodného pripojenia a odpojenia kompenzátora pri klasickej kompenzácii,
- kompenzácia môže byť menená v reálnom čase, čo podstatne zlepšuje stabilitu sústavy,
- kapitálové náklady na výstavbu vedení prenosovej sústavy spôsobia, že cenový aspekt často preváži všetky ostatné potreby. Porovnávajúc varianty alternatívnych metód riešenia problémov prenosu výkonov sa technológia s použitím FACTS zariadení javí často ako najlacnejšia,
- všetky zariadenia FACTS je možné prispôbiť existujúcim prenosovým zariadeniam s rôznym stupňom komplikovanosti. Riešenia s FACTS je možné realizovať bez rozsiahleho prerušenia prenosových trás a veľmi rýchlo,
- v snahe poskytnúť nové prenosové trasy na uspokojenie vzrastajúceho celosvetového dopytu po elektrickej energii je nutné preniesť elektrickú energiu po súčasných prenosových cestách. Pre environmentálne organizácie je spoločná snaha zmarit pokusy o budovanie nových prenosových trás a práve technológie FACTS umožňujú zväčšiť prenosovú schopnosť už existujúcich vedení a uspokojiť dopyt odberateľov bez výstavby nových vedení.

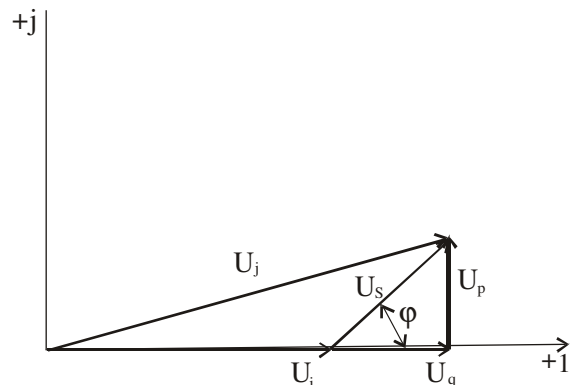
Zo známych zariadení FACTS sa pre použitie v prenosovej sústave javí ako najperspektívnejší univerzálny regulátor toku výkonu (UPFC). Tento môže súčasne meniť činný aj jalový výkon, veľkosť napätia a jeho fázu. Vo všeobecnosti má tri regulačné veličiny a môže byť prevádzkovaný v rôznych druhoch prevádzky. UPFC môže realizovať funkcie rôznych zariadení FACTS a to kompenzáciu harmonických, udržiavanie napätia, riadenie toku výkonu a zlepšovanie stability systému.



Obr. 1. Principiálna schéma UPFC.

### 3. UNIVERZÁLNY REGULÁTOR TOKU VÝKONU

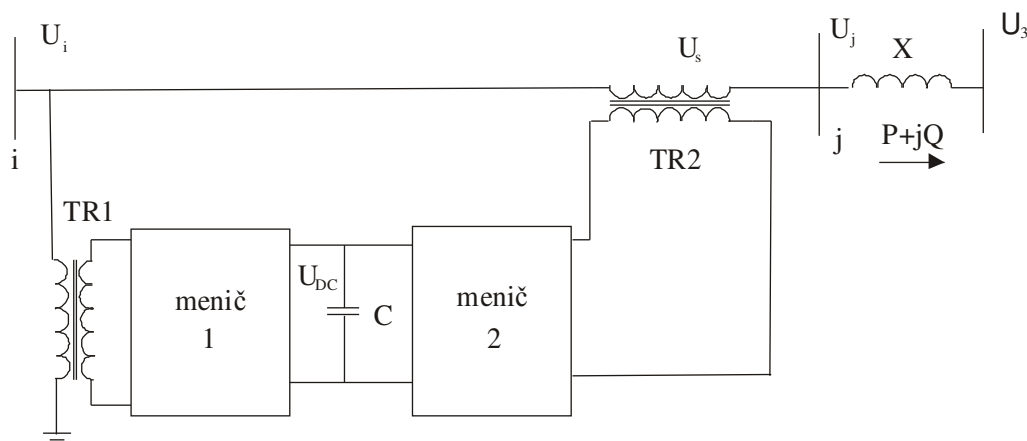
Univerzálny regulátor toku výkonu sa skladá z dvoch meničov, ktoré sú prevádzkované so spoločným jednosmerným napäťovým medziobvodom. Základné zapojenie je na obr. 1. V tomto zapojení preberá menič 2 hlavnú funkciu UPFC tým, že cez sériový transformátor dodáva striedavé napätie s meniteľnou amplitúdou a fázovým uhlom v sérii s prenosovým vedením. Základná funkcia meniča 1, ktorý je pripojený do elektrickej siete cez paralelný transformátor TR1 a k meniču 2 spoločným jednosmerným medziobvodom, je dodávať alebo odoberať žiadaný činný výkon. Môže tiež dodávať alebo odoberať regulovateľný jalový výkon a pre sústavu vytvárať nezávislú paralelnú kompenzáciu jalového výkonu. UPFC umožňuje nezávislé, plynulé riadenie toku činného a jalového výkonu cez vedenie (nezávisle na sebe), doplnené o možnosť tlmenia systémových kyvov, čo umožňuje maximalizovať prenosové schopnosti vedenia. V reálnom čase zaisťuje riadenie všetkých troch hlavných prenosových parametrov (napätie, impedancia, fázový uhol). Kombinuje zariadenia typu STATCOM (statický synchronný kompenzátor) a SSSC (statický synchronný sériový kompenzátor). Výkonová časť meničov je zostavená z GTO tyristorov, takže pomocou pulzovo šírkovej modulácie PWM môžeme plynulo meniť amplitúdu aj fázu jednotlivých napätí zmenou riadiacich parametrov. Ak označíme  $U_i$  napätie na vstupe zariadenia, potom výstupné napätie  $U_j$  dostaneme pripočítaním napätia  $U_s$ , ktoré generuje UPFC, k napätiu  $U_i$  ako ukazuje fázorový diagram na obr. 2. Napätie  $U_s$ , ktoré injektuje do ústavy UPFC je rovné  $U_s = U_p + U_q$  kde  $U_q$  reprezentuje priečnu zložku a  $U_p$  pozdĺžnu zložku tohto napätia.



Obr. 2. Fázorový diagram napätí s rozkladom.

### 4. ZÁKLADNÝ PRINCÍP REGULÁCIE VÝKONU

Na obr. 3 je znázornené pripojenie UPFC na začiatok vedenia. Uvažujme situáciu, že veľkosť napätia  $U_s$  je konštantná a jeho fázový uhol  $\varphi_s$  sa vzhľadom k napätiu  $U_i$  mení v rozsahu 0 – 360 stupňov. Potom miesto opísané koncom vektora napätia  $U_j = U_i + U_s$  je kružnica ako to ukazuje fázorový diagram na obr. 4. Ak sa mení fázový uhol  $\varphi_s$ , potom sa mení aj fázový posun medzi napätiami  $U_j$  a  $U_s$  na začiatku a konci vedenia. Z toho vyplýva, že môžeme riadiť činné a jalové výkony ktoré sú prenášané vedením. Pretože hodnota priečnej konduktancie je obvyčajne blízka nule a pre väčšinu prenosových vedení je rezistancia vedenia malá v porovnaní s reaktanciou, uvažujeme vo vzťahoch pre výpočet činného a jalového výkonu iba pozdĺžnu



Obr. 3. Principiálna schéma UPFC a prenosové vedenie.

reaktanciu vedenia  $X$ . Za predpokladu, že vysokonapäťové vedenie budeme považovať za ideálne, potom pri normálnej prevádzke platí  $U_j \approx U_3$  a  $\varphi_{j3}$  je väčšinou malé. Tok činného výkonu je potom spojený so zmenou  $\varphi_{j3}$ ; a tok jalového výkonu je spojený s rozdielom napätí  $U_j - U_3$ . Reaktancia vedenia  $X$  má vplyv na činný a jalový výkon prenášaný vedením, a teda aj zdanlivý výkon  $S=P+jQ$ , podľa vzťahov:

$$P = \frac{U_j \cdot U_3 \cdot \sin \varphi_{j3}}{X},$$

$$Q = \frac{U_j(U_j - U_3 \cdot \sin \varphi_{j3})}{X},$$

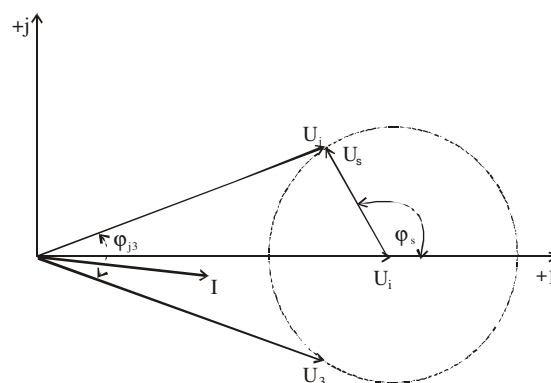
t. j.

$$S = \frac{U_j \cdot U_3 \cdot \sin \varphi_{j3}}{X} + j \cdot \frac{U_j(U_j - U_3 \cdot \sin \varphi_{j3})}{X}$$

Oblasť dosiahnuteľných činných a jalových výkonov prenášaných vedením je ohraničená maximálnou hodnotou napätia  $U_s$ .

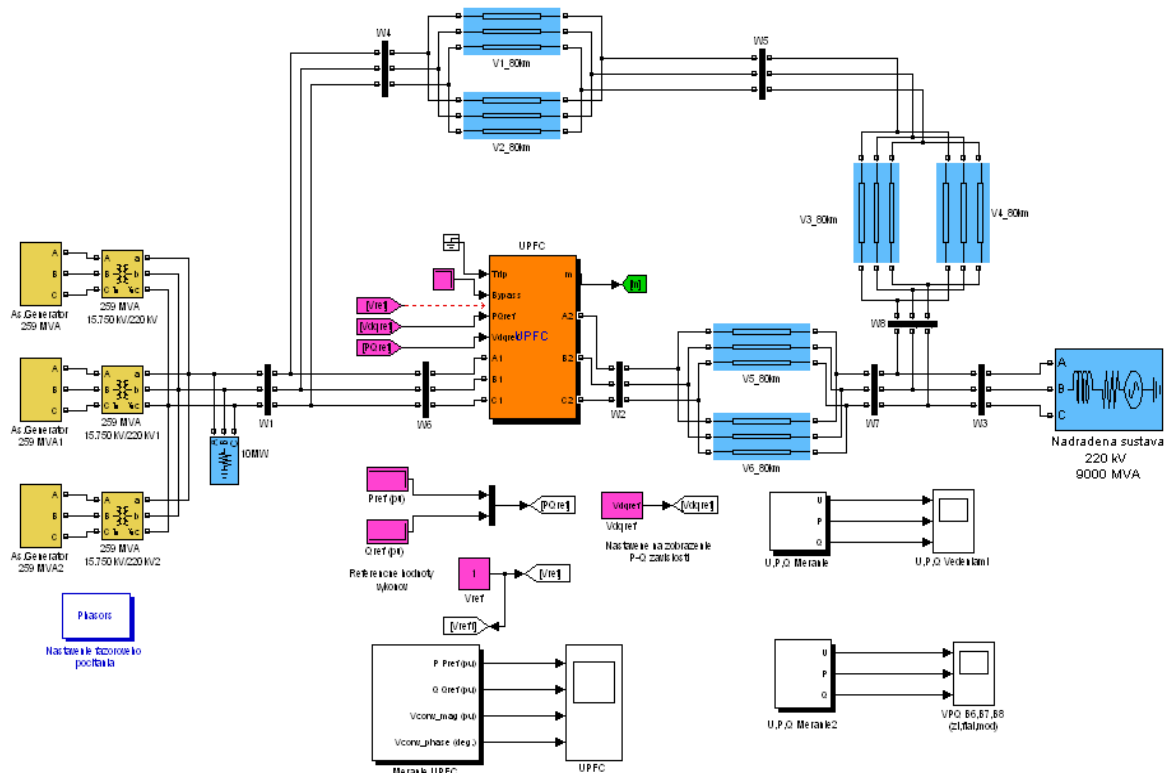
## 5. MODELOVANÁ SÚSTAVA

Pre overenie vlastností UPFC po pripojení na elektrizačnú sústavu sme vytvorili model, ktorý je na obr. 5. Model je vytvorený v programe Matlab. Pozostáva z troch 259 MVA zdrojov, 3 transformátorov 15,75 kV / 220 kV, 8 prípojnic

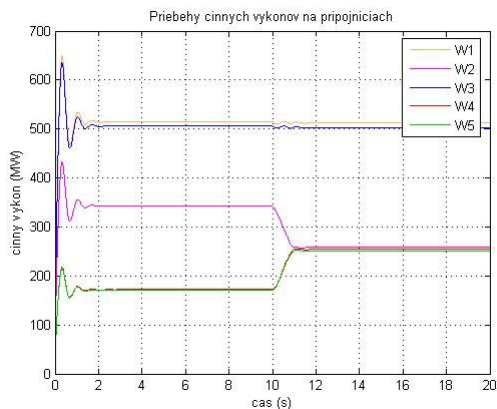


Obr. 4. Fázorový diagram napätí.

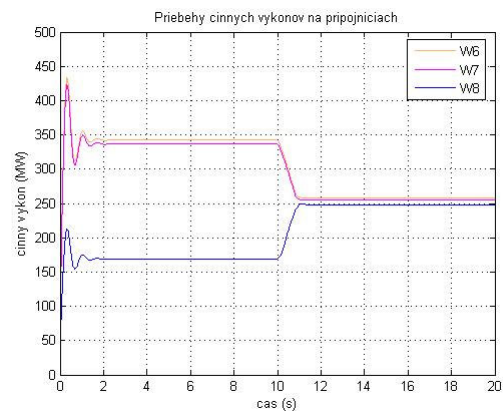
(W1 1 - W8) a 6 vedení 220 kV (V1 - V6). Výkon zdrojov je prenášaný do nadradenej sústavy 220 kV. Pomocou zariadenia UPFC s výkonom 100 MVA je potrebné presmerovať toky výkonov tak, aby boli vedenia na oboch stranách sústavy rovnako zaťažené a jalový výkon na prípojnici W2 bol vyregulovaný na nulu. Regulácia nastane v čase  $t = 10$  s. Tok činného výkonu sa rozdelí tak, že v každom vedení tečie 255 MW ako je to vidieť na obr. 6, 7. Jalový výkon na prípojnici W2 klesne na nulu (obr. 8), čím sa dosiahne rovnomerné zaťaženie vedení. Toto je jeden z možných príkladov použitia UPFC. Toto zariadenie je ďalej schopné kompenzovať poklesy napätia, ktoré sú vyvolané skratom na vedení, zlepšuje stabilitu sústavy, umožňuje reguláciu činného a jalového výkonu. Na tieto aplikácie zariadenia sú zostavené modely, ktoré postupne verifikujeme a vykonávame s nimi simulačné experimenty.



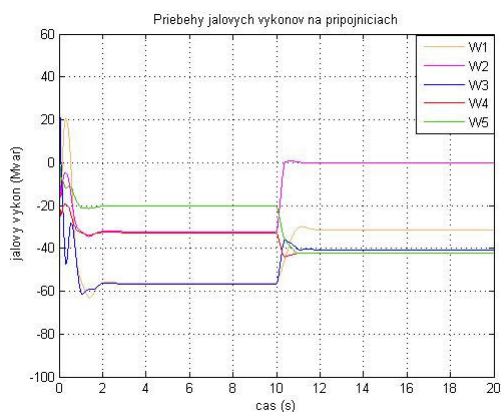
Obr. 5. Modelovaná sústava pre reguláciu prirodzeného toku výkonu.



Obr. 6. Priebehy činných výkonov na prípojniciach W1 – W5.



Obr. 7. Priebehy činných výkonov na prípojniciach W6 – W8.



Obr. 8. Priebehy jalových výkonov na prípojniciach W1 – W5.

## 6. ZÁVER

Zariadenia FACTS, ktoré sa v poslednom čase nasadzujú do elektrizačných sústav sú efektívnym prostriedkom na riešenie otázky kvalitatívnych parametrov dodávanej elektrickej energie. Dokážu riešiť poklesy a prerušenia napätia, ktoré v dnešnej dobe predstavujú najväznejší problém v oblasti kvality dodávanej elektrickej energie. Umožňujú však riešiť aj otázky

harmonických zložiek napätia a ďalších kvalitatívnych parametrov. Dôležitou vlastnosťou je možnosť regulácie činného a jalového výkonu v elektrizačných sústavách, čo je dnes mimoriadne dôležité v oblasti ich riadenia. Táto vlastnosť je veľmi cenná hlavne dnes pri oddelení výroby elektrickej energie od prenosu. Hlavnou nevýhodou týchto zariadení je zatiaľ ich vysoká cena, čo má značný vplyv na ich nasadzovanie v podmienkach našej elektrizačnej sústavy. Napriek tomu si dovoľíme tvrdiť, že zariadenia FACTS v prenosových vedeniach sú zariadeniami blízkej budúcnosti. Experimenty s modelom UPFC ukázali, že model pracuje podľa teoretických predpokladov.

#### PodĎakovanie

Článok vynikol s podporou vedeckej a grantovej agentúry Ministerstva školstva SR Slovenskej akadémie vied, číslo programu 1/0138/03 – *Zachovanie kvality dodávanej elektrickej energie pri vzrastajúcej úrovni rušivých vplyvov v rozvodných sieťach.*

#### LITERATÚRA

- [1] Dobrucký, B., Altus, J., Špánik, P.: Synergic influence of Power Electronics, Electric Traction and Electro-energetic, vedecký časopis ŽU v Žiline Komunikácie, č.2-3, 2001
- [2] Huang, Z., Ni, Y., Shen, C. M., Wu, F. F., Chen, S., Zhang, B.: Application of UPFC in Interconnected Power Systems – Modeling, Interface, Control Strategy and Case Study, IEEES Transaction on Power Systems, Vol. 15, May 2000
- [3] Máslo, K.: Modelování UPFC pro simulaci elektromechanických přechodových dějů v ES, Konferencia Elektroenergetika 2004, Ostrava
- [4] Akagi, H.: New Trends in Active Filters, Zborník konferencie EPE '95, Sevilla, September 1995
- [5] Moor, P., Ashmole, P.: Flexible AC Transmission systems, Power Engineering Journal, December 1995
- [6] Ptáček, J.: Regulace toků výkonů v propojených elektrizačních soustavách, Disertační práce, VUT Brno, 2004