

PREHĽAD ZARIADENÍ FACTS Z POHĽADU SEKUNDÁRNEJ REGULÁCIE ES

OVERVIEW OF THE MOST COMMONLY USED FACTS CONTROLLERS IN SVC OF A POWER SYSTEM

Stanislav KUNÍK, Dušan MUDRONČÍK, Michal KOPČEK

Autori: Ing. Stanislav Kuník, Prof. Ing. Dušan Mudrončík, PhD., Ing. Michal Kopček
Pracovisko: Ústav aplikovanej informatiky, automatizácie a matematiky
Materiálovotechnologická fakulta v Trnave
Slovenská technická univerzita v Bratislave
Adresa: Hajdóczyho 1, 917 24 Trnava
Tel.: +421 33 544 77 34
E-mail: stanislav.kunik@stuba.sk, dusan.mudroncik@stuba.sk,
michal.kopcek@stuba.sk

Abstract

Príspevok sa venuje opisu dostupných zariadení FACTS ovplyvňujúcich viacero kvalitatívnych parametrov prenosu elektrickej energie. Zavedenie FACTS do elektrizačnej sústavy z pohľadu sekundárnej regulácie napätia a tokov jalového výkonu by znamenalo radikálnu zmenu vo filozofii výberu pilotných uzlov.

This contribution reviews most used FACTS controllers. The FACTS (Flexible Alternating Current Transmission System) is a power electronic based system and other static equipment that provide control of one or more AC transmission system parameters to enhance controllability and increase power transfer capability. The application of FACTS in secondary voltage control creates a new approach to pilot bus selection.

Key words

FACTS, sekundárna regulácia, zložitá elektrizačná sústava, výber pilotných uzlov

FACTS, secondary voltage control, large scale power system, pilot bus selection

Úvod

Pružné systémy na prenos striedavého prúdu, tzv. FACTS dokážu aktívne ovplyvňovať jeden alebo viacero kľúčových parametrov prenosu elektrickej energie a tým prispievať k zlepšeniu napät'ovej stability. Vhodným riadením dokážu lepšie využiť prenosové kapacity elektrizačnej sústavy (až po jej termálne obmedzenia [5]), sú preto zaujímavým prístupom nie len z technologického, ale aj z ekonomického pohľadu.

Tento príspevok sa preto venuje práve zariadeniam FACTS, ich stručnému prehľadu a u vybraných typov i podrobnejšiemu popisu. Ukazuje sa totiž možnosť ich začlenenia do modelu elektrizačnej sústavy, ktorý je k dispozícii pre potreby dizertačnej práce [6] – umiestnenie vhodného zariadenia FACTS v blízkosti odberového uzla povedie k pozitívnym zmenám jeho správania pri záťaži (uzol si bude za určitých podmienok držať konštantné napätie pri zmenách záťaže). Na základe analýzy literatúry [1], [2], [3], [4], [5], [7], [9], [10] sa dá predpokladať, že uzol v blízkosti vhodného zariadenia FACTS bude optimálnym kandidátom na funkciu pilotného uzla, čo rapídne ovplyvní otázku výberu pilotných uzlov.

Samotnému modelovaniu najzaujímavejších zariadení (zo spomenutého pohľadu – STACOM, SVC, TCSC, atď.) sa venujú napr. [1], [3], [9], [10].

Princíp sériovej kompenzácie (Series compensation)

Sériová kompenzácia je definovaná ako vloženie elementov s jalovým výkonom do prenosovej trasy [4], [5]. Zmenšuje sa ňou výsledná induktívna reaktancia vedenia. Účelom je zlepšenie stability prenosu zmenšením úbytku napätí, prispôbením parametrov vedenia odoberanému výkonu tak, aby vedenie pracovalo v oblasti najväčšej účinnosti a zmenšením fázového posuvu medzi začiatkom a koncom vedenia [8]. Dôsledkom je možné zvýšenie prenosovej kapacity bez zhoršenia stability prenosu výkonu [4].

Typické je pripojenie „pevného“ kompenzačného prvku (FSC – Fixed series compensation), alebo zariadení FACTS na kompenzáciu, napr. TCSC (Thyristor controlled series compensation) [4].

Princíp paralelnej kompenzácie (Parallel/Shunt compensation)

Paralelná kompenzácia je definovaná ako ľubovoľný typ kompenzácie jalového výkonu pripájaný prepínačom alebo riadiacim zariadením paralelne k vybranému uzlu prenosovej sústavy. Zariadenia udržiavajú rovnováhu jalového výkonu, zabraňujú napäťovej nestabilite a vďaka dynamickému riadeniu napätia tlmia jeho výkyvy a tým zvyšujú celkovú stabilitu prenosu [4]. Vedenia sa tak odľahčujú, znižujú sa úbytky napätia na nich a klesajú straty v elektrizačnej sústave [8].

Typicky sa využíva pripojenie kondenzátora, resp. cievky (Mechanically switched capacitor, resp. Mechanically switched reactor) alebo zariadení z radu FACTS STATCOM (Static VAR compensation) [4].

Regulátor FACTS (FACTS Controller)

FACTS (Flexible AC Transmission Systems) sú podľa definície systémy na prenos striedavého prúdu začleňujúce regulátory založené na výkonovej elektronike a iné statické regulátory. Zlepšujú riaditeľnosť a zvyšujú prenosovú kapacitu [5].

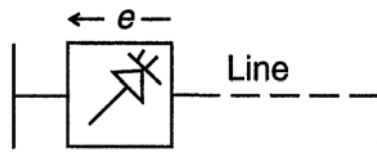
Regulátor FACTS je založený na výkonovej elektronike a iných statických zariadeniach. Vykonáva kontrolu jedného alebo viacerých parametrov prenosu striedavého prúdu [5].

Vo všeobecnosti sa dajú rozdeliť FACTS regulátory podľa [5] do štyroch kategórií:

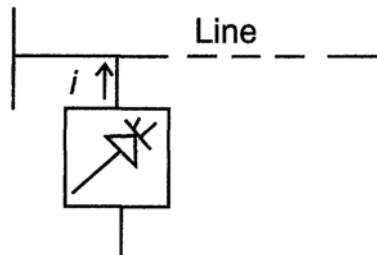
- Sériové regulátory – tvoria zdroj napätia v sérii s vedením (Obr. 1).
- Paralelné regulátory – tvoria zdroj prúdu v bode pripojenia do sústavy (Obr. 2).
- Kombinované sériovo-sériové regulátory – kombinácia jednotlivých sériových regulátorov v prenosovej sústave s viacerými vedeniami. Sú regulované

koordinovaným spôsobom. Taktiež to môžu byť tzv. spojené regulátory („spojené“ v zmysle, že rozhrania jednosmerného prúdu všetkých regulátorov sú vzájomne prepojené), kde sériové regulátory vykonávajú nezávisle kompenzáciu pre každé vedenie (Obr. 3)

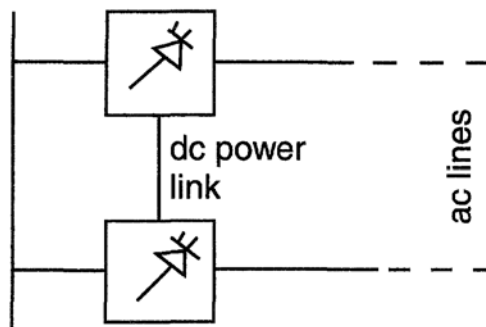
- Kombinované sériovo-paralelné regulátory – prvý typ, „koordinovaný sériový a paralelný regulátor“ je kombinácia oddeleného sériového a paralelného regulátora, ktoré sú regulované koordinovaným spôsobom (Obr. 4). Spojený sériovo-paralelný regulátor (Obr. 5) obsahuje sériovú a paralelnú časť. Oba typy regulátorov tvoria v podstate zdroj napätia, resp. prúdu svojou sériovou, resp. paralelnou zložkou.



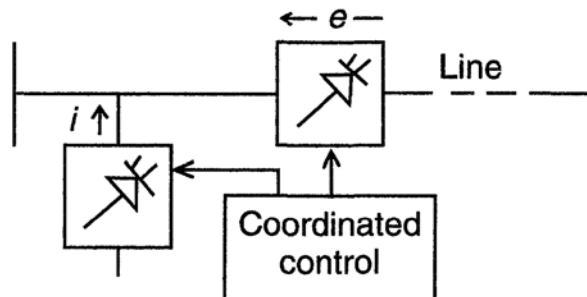
Obr. 1. Sériový regulátor [5]



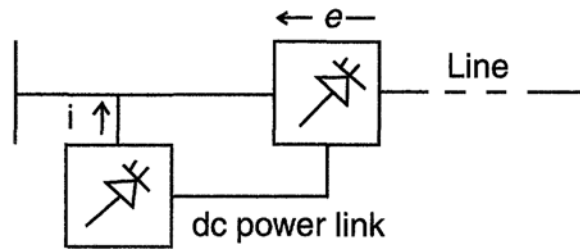
Obr. 2. Paralelný regulátor [5]



Obr. 3. Spojený sériovo-sériový regulátor [5]



Obr. 4. Koordinovaný sériový a paralelný regulátor [5]

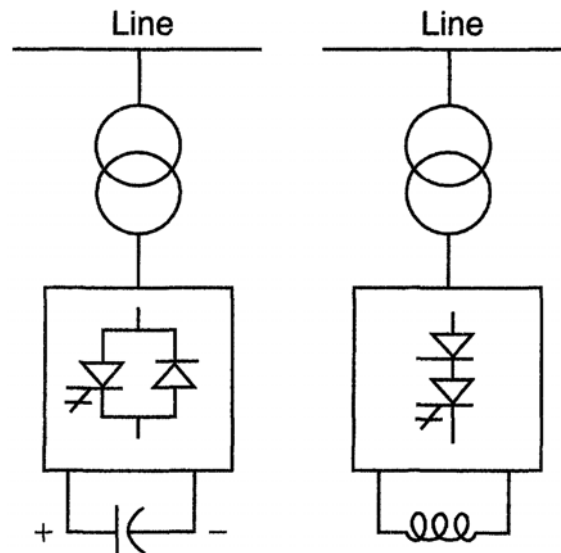


Obr. 5. Spojený sériovo-paralelný regulátor [5]

Z hľadiska zamerania príspevku sa zdajú byť paralelné a sériové regulátory perspektívnejšie ako kombinované typy, sú im preto venované nasledujúce dve kapitoly. Podrobnejšie sú kombinované typy regulátorov spomenuté napr. v [5].

Vybrané typy paralelných regulátorov [5]

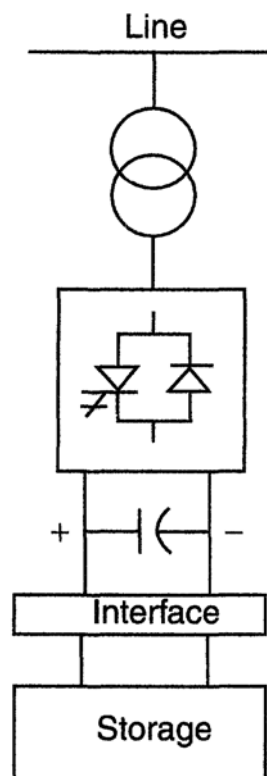
- STATCOM (Static Synchronous Compensator) je definovaný ako statický synchronný generátor ovládaný ako paralelne pripojený statický VAR kompenzátor (SVC – Static VAR compensator), ktorého kapacitný alebo induktívny výstupný jalový prúd môže byť riadený nezávisle od napätia sústavy. STATCOM je jedným z kľúčových regulátorov FACTS. Je založený na meniči napät'ového, resp. prúdového zdroja (Obr. 6). STATCOM je teda podmnožinou paralelných regulátorov, ktoré dokážu byť aktívnym zdrojom energie, alebo ju akumulovať na strane jednosmerného prúdu a tak dodávajú činný výkon – sú to tzv. SSG.



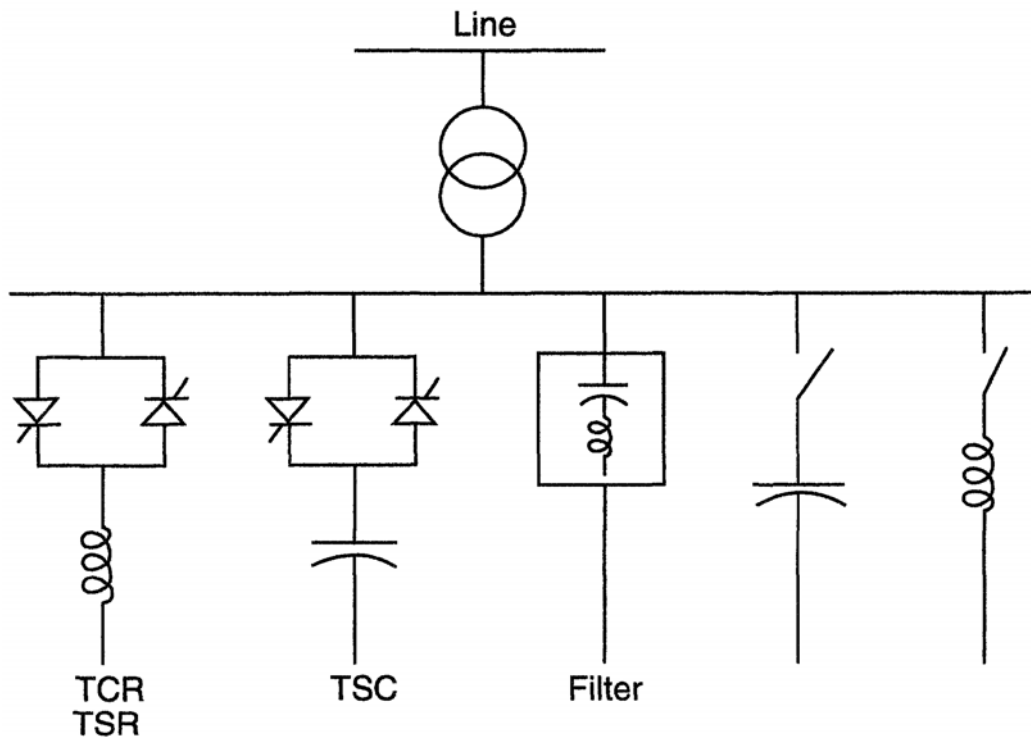
Obr. 6. STATCOM založený na meniči napät'ového a prúdového zdroja [5]

- SSG (Static Synchronous Generator) je statický výkonový menič napájaný vhodným zdrojom elektrickej energie a prevádzkovaný tak, aby poskytoval na výstupe viacfázové napätie, ktoré môže byť pripojené k elektrizačnej sústave za účelom nezávislého riadenia toku činného a jalového výkonu. SSG je teda kombináciou STATCOM a energetického zdroja na dodávanie a odoberanie výkonu. Konkrétne zariadenie SSG je napr. BESS, alebo SMES.

- BESS (Battery Energy Storage System) je systém na ukladanie energie v chemickej forme používajúci paralelne pripojený konvertor napät'ového zdroja, schopný rýchleho nastavenia množstva dodávanej/absorbovanej energie z elektrizačnej sústavy (Obr. 7).
- SMES (Super Magnetic Energy Storage) zariadenie obsahuje elektronický konvertor, ktorý rýchle dodáva a/alebo absorbuje činný a/alebo jalový výkon, alebo dynamicky riadi tok energie elektrizačnej sústavy.
- SVC (Static VAR Compensator) je paralelne pripojovaný generátor alebo absorbér jalového výkonu, ktorého výstupným prúdom (kapacitným či induktívnym) sa dajú meniť určité parametre elektrizačnej sústavy, napr. napätie na uzloch. Je to všeobecné pomenovanie pre tyristorom riadenú alebo prepínanú cievku a/alebo pre tyristorom prepínaný kondenzátor, alebo ich kombinácie (Obr. 8). Základné typy SVC:
 - TCR (Thyristor Controlled Reactor)
 - TSR (Thyristor Switched Reactor)
 - TSC (Thyristor Switched Capacitor)



Obr. 7. STATCOM s akumuláciou, t.j. BESS s kondenzátorom [5]



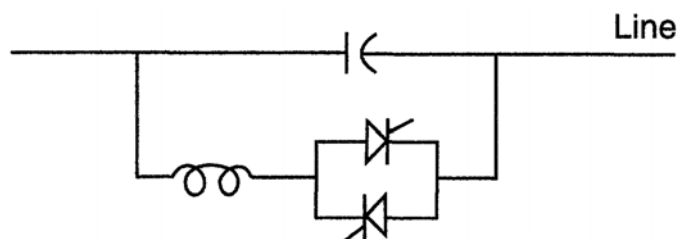
Obr. 8. SVC, SVG, SVS, TCR, TSC, a TSR [5]

V zjednodušení, ako zdroj jalového výkonu s vhodným ovládaním sú definované zariadenia SVG (Static VAR Generator or Absorber), takže i STATCOM a SVC sú vlastne SVG. SVS (Static VAR System) je kombinácia rozličných statických a mechanicky prepínaných kompenzátorov jalového výkonu, ktorých výstupy sú koordinované.

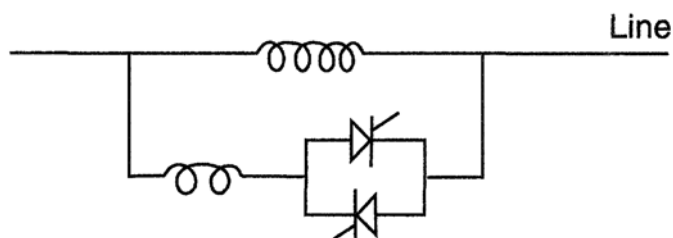
Vybrané typy sériových regulátorov [5]

Základnú skupinu tvoria regulátory založené na tyristorovom ovládaní:

- TCSC (Thyristor Controlled Series Capacitor) patrí k najdôležitejším sériovým regulátorom. Typický modul sa skladá principiálne z kondenzátora, ku ktorému je paralelne pripojená vetva TCR (Thyristor controlled reactor) (Obr. 9). TCR tvorí obojsmerným tyristorom ovládaná cievka [2], [9]. Zloženie a funkcia ďalších typov je zrejmé.
- TSSC (Thyristor Switched Series Capacitor) (Obr. 9)
- TCSR (Thyristor Controlled Series Reactor) (Obr. 10)
- TSSR (Thyristor Switched Series Reactor) (Obr. 10)



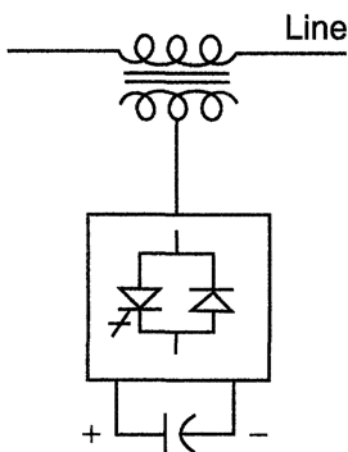
Obr. 9. TCSC a TSSC [5]



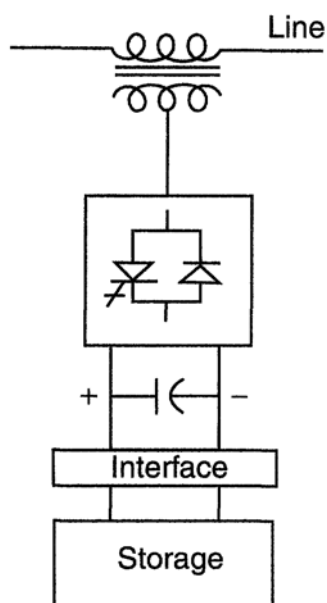
Obr. 10. TCSR a TSSR [5]

Určitou obdobou STATCOM je v sériovej regulácii SSSC (Static Synchronous Series Compensator), výstupné napätie je ale v sérii s vedením. Môže byť založené na napät'ovom meniči (Obr. 11) alebo prúdovom meniči. Kvôli vylepšeniu dynamického správania SSSC je možné pripojiť akumuláciu založenú na chemickom či supravodivom princípe (Obr. 12). Podobne ako TCSC, patrí i SSSC k najdôležitejším sériovým regulátorom.

Okrem sériových a paralelných regulátorov sa používajú i kombinované typy, tým sa však pre potreby tohto príspevku netreba bližšie venovať. Spomínané sú najmä v [5] a [4].



Obr. 11. SSSC [5]



Obr. 12. SSSC s akumuláciou [5]

Záver

Ako je spomenuté vyššie a v [6], zavedenie zariadení FACTS ako podpora sekundárnej regulácie elektrizačnej sústavy výrazne ovplyvní filozofiu výberu pilotných uzlov. Odpadne potreba hľadania vhodných pilotných uzlov v rámci celej zložitej elektrizačnej sústavy. Ako kandidátske záťažové uzly budú figurovať prakticky len tie, v ktorých blízkosti sa nachádza FACTS.

Pilotné uzly budú takto v podstate predurčené, vychádzajúc z ťažiska výberu pilotných uzlov (podrobnejšie je problematika opísaná v [6]), t.j. výberu takých kombinácií generátorický-záťažový uzol, kde má generátorický uzol čo najväčší vplyv na pilotný uzol z hľadiska čo najlepšieho udržania napätia v tomto uzle pri zmenách jeho záťaže.

Zoznam bibliografických odkazov:

- [1] CAÑIZARES, A. C., CAVALLO, C., POZZI, M., CORSI, S. Comparing secondary voltage regulation and shunt compensation for improving voltage stability and transfer capability in the Italian power system. In *Electric Power System Research*, 2005, 73, s. 67-76.
- [2] CAÑIZARES, A. C., FAUR, Z. T. Analysis of SVC and TCSC Controllers in Voltage Collapse. In *IEEE Transactions on Power Systems*, 1999, 14, s. 158-165.
- [3] CAÑIZARES, A. C., POZZI, M., CORSI, S., UZUNOVIC, E. STATCOM Modeling for Voltage and Angle Stability Studies. In *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 2003, 25, s. 1-20.
- [4] *Flexible AC Transmission System (FACTS)*. [online, 25.1.2007]. URL: <<http://www.siemens.com/facts/>>
- [5] HINGORANI, N. G., GYUGYI, L. *Understanding FACTS: Concepts and Technology of Flexible AC Transmission Systems*. Wiley: IEEE Press, 1999. 432 s. ISBN: 978-0-7803-3455-7
- [6] KUNÍK, S. *Optimálny výber pilotných uzlov v sekundárnej regulácii zložitej ES*. Doktorandská dizertačná práca, Trnava: ÚIAM MTF STU, 2008. 116 s.
- [7] MITHULANANTHAN, N., CAÑIZARES, C. A., REEVE, J., ROGERS, G. J. Comparison of PSSS, SVC and STATCOM Controllers for Damping Power System Oscillations. In *IEEE Transactions on Power Systems*, 18/ 2003, s. 786-792.
- [8] *Paralelní a sériová kompenzace elektrického vedení*. [online, 26.1.2007]. URL: <http://www.ueen.feec.vutbr.cz/cz/bdee/lab_ulohy/03_seriova_a_paralelni_kompenzace.pdf>
- [9] ROSSO, A., CAÑIZARES, A. C., DOÑA, V. A Study of TCSC Controller Design for Power System Stability Improvement. In *IEEE Transactions on Power Systems*, 2003, 18, s. 1487-1496.
- [10] UZUNOVIC, E., CAÑIZARES, A. C., REEVE, J. Fundamental Frequency Model of Static Synchronous Compensator. In *Proceedings of the North American Power Symposium (NAPS)*. Laramie, Wyoming: 1997, s. 49-54.