

JEDNA UNAPREĐENA METODA UPRAVLJANJA TOKOVIMA AKTIVNIH SNAGA POMOĆU STATIČKIH TRANSFORMATORA ZA REGULACIJU UGLA

Dragan P. Popović
Elektrotehnički institut "Nikola Tesla", Beograd

Sadržaj: *U radu se izlaže jedna unapređena metoda za upravljanje tokovima aktivnih snaga pomoću statičkih transformatora za regulaciju ugla. Ona je bazirana na nestandardnom modelu tokova snaga, što omogućuje precizniju kvantifikaciju njihovih relevantnih tehničkih efekata. Karakteristike i mogućnosti razvijene metode utvrđene su na primeru realne elektroenergetske interkonekcije.*

Ključne reči: *unapređena metoda, upravljanje tokovima snaga, statički transformator za regulaciju ugla, realna interkonekcija*

1. UVOD

Procesi liberalizacije tržišta električne energije uneli su veoma širok spektar novih metodoloških i praktičnih aspekata, a naročito u pogledu novih zahteva i izazova u planiranju, eksploataciji i upravljanju, sada ne samo pojedinih EES-a, već i elektroenergetskih interkonekcija u kojima se oni nalaze. U pomenutim procesima, problematika sigurnosti, odnosno problem utvrđivanja graničnih prenosnih kapaciteta u okviru realnih interkonekcija [1,2], kao i problemi prognoze i upravljanja "zagušenjima" (congestion management) [3,4], dobijaju prvorazredni praktični značaj. U dokumentu [5], koji se odnosi na evropsku praksu, u cilju povećanja prenosnih kapaciteta na kritičnim deonicama, odnosno u cilju eliminacije "zagušenja", preporučuje se upotreba serijskih FACTS kontrolera, kao tzv. "blage mere" ("soft measures"), koja ne zahteva značajnije investicije.

Kao što je opšte poznato, akronim FACTS podrazumeva široki krug specijalno koncipiranih kontrolera, u osnovi namenjenih povećanju fleksibilnosti funkcionisanja i upravljanja EES-a, kroz upravljanje osnovnim veličinama koje karakterišu prenos električne snage i energije naizmjeničnom strujom: uglovima, modulima napona i impedansama.

Ovaj rad bavi se elektronskim, tiristorski upravljanim statičkim transformatorima za regulaciju ugla (SPST - Static Phase Shifting Transformer), koji pripadaju kategoriji serijskih FACTS kontrolera tokova snaga, jer imaju mogućnost da upravljaju tokovima snaga (i to, neposredno, tokovima aktivnih snaga). U mnogim radovima, često se ističe da se pri tome, praktično ne menjaju uspostavljeni "vozni redovi" izvora (sem minimalnih promena, koje su uslovljene razlikama u gubicima aktivnih snaga, nastalih usled promena tokova snaga), kao i postojeća topologija električne mreže.

Međutim, u uslovima otvorenog tržišta električne energije i utvrđivanja energetske efikasnosti u prenosu, u kojima se sve kvantifikuje, a zatim valorizuje, otvara se pitanje kako da se izvrši preciznija kvantifikacija relevantnih tehničkih efekata primene SPST-a, da bi se zatim izvršila korektna techno-ekonomska analiza. Drugim rečima, neophodno je, između ostalog, da se preciznije kvantifikuju nastale promene u gubicima snage, kao

i da se izvrše tačnije analize sigurnosti, posebno u slučajevima gubitka većih injektiranja. Evidentno je da za te svrhe klasični model tokova snaga (prisustvo jednog referentnog čvora, koji istovremeno ima i ulogu balansnog čvora) nije pogodan. Razlog za to leži u činjenici da se sve promene (uključujući i promene u gubicima aktivne snage) lociraju samo na jedan generatorski (balansni) čvor, a što ne odgovara realnoj pogonskoj praksi.

U ovom radu, u okviru raspoloživog prostora, daje se prikaz jedne unapređene metode za upravljanje tokovima snaga, odnosno metode za automatsko podešenje ugla regulacije SPST-a, za unapred zadate tokove aktivnih snaga na izabranim dalekovodima. Ova metoda predstavlja ekstenziju metode izložene u radu [6], koja je bazirana na klasičnom modelu tokova snaga. Kako će to biti pokazano na primeru realne interkonekcije, ova nova metoda je u stanju da eliminiše prethodno navedeni nedostatak "klasičnih prilaza", jer je bazirana na nestandardnom modelu tokova snaga, u kome svi čvorovi imaju karakter balansnog. U tim uslovima je moguća preciznija evaluacija relevantnih tehničkih efekata primene SPST-a.

2. UNAPREĐENA METODA ZA UPRAVLJANJE TOKOVIMA SNAGA

2.1. Generalno

Generalna matematička formulacija problema upravljanja tokovima snaga je određivanje vektora upravljačkih varijabli u , koji će zadovoljiti sledeća dva sistema jednačina:

$$F(x, u) = F^{SP} \quad (1)$$

$$G(x, u, d) = 0 \quad (2)$$

uz zadovoljenje uslova :

$$u \in U \quad (3)$$

Veličina x je vektor stanja, a veličina u je vektor upravljačkih varijabli (u konkretnom slučaju to je ϕ - ugao regulacije SPST-a) u opsegu dozvoljenih, odnosno mogućih vrednosti U ($-30^\circ \leq \phi < 30^\circ$). Veličina d je vektor tzv. zadatih ("demand") varijabli.

Upravljanje tokovima aktivnih snaga po elementima (dalekovodima), na kojima su ugrađeni SPST, modeluje se posredstvom sistema jednačina oblika (1). U njima, veličina FSP je vektor unapred zadatih tokova aktivnih snaga po odabranim dalekovodima.

Sistem jednačina oblika (2) je merodavan za ravnotežno stanje, odnosno to su jednačine balansa snaga u čvorištima razmatrane interkonekcije. U radu [6] stacionarno stanje je modelovano posredstvom konvencionalnog modela tokova snaga. U ovom radu se, umesto konvencionalnog modela, operiše sa nestandardnim modelima tokova snaga, odnosno modelima tokova snaga u karakterističnim postdinamičkim kvazistacionarnim stanjima, prisutnim u metodologiji, odnosno računarskom programu STATIC [7].

2.2. Injekcioni model SPST-a

Efekti SPST-a su predstavljeni preko odgovarajućeg modela injektiranih snaga, koji ne ugrožava početnu simetričnost matrice admitansi čvorova, što je svakako veoma značajno u praktičnom smislu sa aspekta algoritmovanja i potrebnog vremena obavljanja simulacija. U uslovima uvažavanja i konduktansi, efekti SPST-a,

priključenog na početku elementa "k-m", valorizuju se uvođenjem injektiranja u njegove krajnje čvorove, koja su data preko sledećih relacija [8]:

$$P_{ck} = -g_{km}V_k^2 \tan^2 \phi - g_{km}V_k V_m \tan \phi \sin \theta_{km} + b_{km}V_k V_m \tan \phi \cos \theta_{km} \quad (4)$$

$$Q_{ck} = g_{km}V_k V_m \tan \phi \cos \theta_{km} + b_{km}V_k^2 \tan^2 \phi + b_{km}V_k V_m \tan \phi \sin \theta_{km} \quad (5)$$

$$P_{cm} = -g_{km}V_k V_m \tan \phi \sin \theta_{km} - b_{km}V_k V_m \tan \phi \cos \theta_{km} \quad (6)$$

$$Q_{cm} = -g_{km}V_k V_m \tan \phi \cos \theta_{km} + b_{km}V_k V_m \tan \phi \sin \theta_{km} \quad (7)$$

$$k, m \in NC$$

gde je :

NC - oznaka skupa čvorova na kojima su priključeni SPST;

g_{km}, b_{km} - konduktansa i susceptansa elemenata "k-m";

θ_{km} - razlika uglova fazora napona na početku V_k i kraju V_m elemenata "k-m".

Dalje, u kontekstu modelovanja SPST-a preko injektiranih snaga, aktuelna vrednost toka aktivne snage na elementu "k-m", na čijem je početku instaliran SPST, određuje se preko sledeće relacije:

$$P_{ckm} = g_{km} t^2 V_k^2 - t V_k V_m [g_{km} \cos (\theta_{km} + \phi) + b_{km} \sin (\theta_{km} + \phi)] ; k, m \in NC \quad (8)$$

gde je t - moduo kompleksnog prenosnog odnosa SPST-a.

2.3. Formulacija unapređene metode za upravljanje tokovima aktivnih snaga

Saglasno generalnoj formi modela upravljanja tokovima aktivnih snaga, datog preko sistema jednačina oblika (1) i (2), i saglasno prethodno datom injekcionom modelu SPST-a, aktuelne su sledeće jednačine balansa:

$$\Delta P_{ci} = P_{ci}^{SP} - P_{ckm} = 0; i \in NCL, k, m \in NC \quad (9)$$

$$\Delta P_i = P_{GOi} - k_{pi} \Delta f - P_i = 0, i \in NG \quad (10)$$

$$\Delta Q_i = Q_{GOi} + Q_{GOi} \frac{V_{GOi} - V_{Gi}}{S_{Vi} V_{GOi}} - Q_i = 0, i \in NSV \quad (11)$$

$$\Delta P_i = P_{Gi} - P_{Li}(V_i, f) - P_i = 0 \quad (12)$$

$$\Delta Q_i = Q_{Gi} - Q_{Li}(V_i, f) - Q_i = 0; i \in N/NC \quad (13)$$

$$\Delta P_i^C = P_L(V_i, f) - P_i - P_{ci} = 0 \quad (14)$$

$$\Delta Q_i^C = Q_{Li}(V_i, f) - Q_i - Q_{ci} = 0; i \in NC \quad (15)$$

koje moraju da zadovolje sledeća, tzv. "tvrda" ograničenja:

$$P_{G \min i} \leq P_{Gi} \leq P_{G \max i}, i \in NG \quad (16)$$

$$Q_{G \min i} \leq Q_{Gi} \leq Q_{G \max i}, i \in NG \quad (17)$$

Data ograničenja za snage generatora, za razliku od uobičajenih prilaza, nisu konstantne, unapred zadate veličine, već su funkcije aktuelnog stanja i parametara agregata.

U navedenim relacijama, uvedene oznake imaju sledeća značenja:

- N – ukupan broj, odnosno oznaka skupa svih čvorova EES-a;
- NG – ukupan broj, odnosno oznaka skupa generatorskih čvorova;
- NSV – ukupan broj, odnosno oznaka skupa generatora koji imaju statičku karakteristiku napon – reaktivna snaga;
- NL – ukupan broj, odnosno oznaka skupa svih "neproizvodnih" čvorova ($NL=N-NG$);
- NCL – ukupan broj, odnosno oznaka skupa dalekovoda na kojima se upravlja tokovima aktivnih snaga;
- P_{GO}, Q_{GO} – aktivna i reaktivna snaga generatora u polaznom ustaljenom stanju;
- V_{GO} – napon na krajevima generatora u polaznom ustaljenom stanju;
- k_p – primarna regulaciona konstanta učestanosti agregata;
- s_V – statizam primarne regulacije napona generatora;
- $\Delta f = f - f_0$ – odstupanje kvazistacionarne vrednosti jedinstvene učestanosti razmatrane interkonekcije f od svoje vrednosti iz polaznog ustaljenog stanja f_0 ;
- $P_L(V, f), Q_L(V, f)$ – aktivna i reaktivna snaga potrošača kao složene nelinearne funkcije od napona i učestanosti;
- P, Q – injektirana aktivna i reaktivna snaga.

Na taj način, opšta formulacija metode za upravljanje tokovima aktivnih snaga pomoću SPST-a svodi se na jedinstveni sistem nelinearnih algebarskih jednačina (sačinjavaju ga jednačine oblika (9) – (15), uz zadovoljenje uslova (16) i (17)), u kojima figurišu sledeće dve grupe nepoznatih varijabli:

- vektor upravljačkih varijabli - ϕ dimenzije NCL
- vektor stanja koji sadrži subvektore - θ i V dimenzija $(N-1)$ i $(NSV + NL)$, respektivno, i skalar f .

Dakle, potrebno je da se odredi vektor upravljanja ϕ (uglovi regulacije SPST-a, odnosno kontrolera tokova snaga, u okviru prethodno pomenutih dozvoljenih granica U) tako da jednačine specificiranih (upravljanih) tokova aktivnih snaga (9) i jednačine balansa snaga (jednačine (10)-(15)) budu *simultano* zadovoljene.

U odnosu na prilaz, dat u radu [6], izvršena je ekstenzija modela upravljanja, uvođenjem mogućnosti praćenja efekata primarne regulacije učestanosti (jednačina balansa oblika (10)) i primarne regulacije napona (jednačine (11)). To je svakako značajno poboljšalo tačnost evaluacije relevantnih tehničkih efekata primene SPST-a, u odnosu na prilaz, baziran na klasičnom modelu tokova snaga.

2.4. Formulacija metode rešavanja formiranog modela upravljanja tokovima snaga

Razvoj tehnika rešavanja formiranog modela upravljanja tokovima snaga, počeo je od oblika rešenja koji daje primena metode Newton-Rhapon-a [9] na prethodno date jednačine balansa snaga (9)-(15). Dalje, polazeći od dobijenog oblika rešenja, uveden je niz opravdanih uprošćenja i pretpostavki kod formiranja odgovarajućih submatrica koeficijenata [6, 7]. Uvedena uprošćenja i pretpostavke su bili samo u kontekstu pojednostavljenja same tehnike rešavanja (jer je reč samo o odgovarajućim modifikacijama matrica Jakobijana), a ne samog modela tokova snaga, koji je sačuvalo

svoju autentičnost. Uz sve to, koristeći ideju izloženu u [10] (u submatrici koeficijenata koja se odnosi na aktivne snage zanemaruju se rezistanse, a u submatrici koja se odnosi na reaktivne snage, dupliraju se šantovi), dobijaju se sledeća dva sistema raspregnutih jednačina:

$$\begin{bmatrix} \Delta P^c / V \\ \Delta P^c / V \\ \Delta P^r / V \end{bmatrix}^k = \begin{bmatrix} B' & B'_{p\theta} & F \\ B'_{p\theta} & B'_\phi & O \\ B_r & O & F_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \Theta \\ \Delta \Phi \\ \Delta(\Delta f) \end{bmatrix}^{k+1} \quad (18)$$

$$\Delta Q^c / V^l = B'' \Delta V^{l+1} \quad (19)$$

U odnosu na prilaz izložen u [6], koji je baziran na klasičnom modelu tokova snaga, sada se javljaju submatrice F i F_r, koje su asocirane kvazistacionarnoj vrednosti jedinstvene učestanosti f. Indeks "r" govori da se radi o referentnom čvoru, koji se bira proizvoljno i koji ima fiksnu vrednost ugla (obično je to nulta vrednost), a uveden je radi eliminacije singulariteta.

Međutim, za razliku od klasičnog modela tokova snaga, u kome referentni čvor (uveden iz istih razloga - eliminacija singulariteta) je istovremeno i balansni, sada svi čvorovi imaju karakter balansnog. Odnosno, u uspostavljanju novog stanja, učestvuju svi generatorski čvorovi (srazmerno svojim primarnim regulacionim konstantama) i svi potrošački čvorovi (u skladu sa svojim zavisnostima od napona i učestanosti). Ova osobina razvijene metode je ključna, jer omogućuje tačniju evaluaciju relevantnih tehničkih efekata primene SPST-a.

Na taj način, do traženih vrednosti uglova regulacije SPST-a, koji obezbeđuju zadate tokove aktivnih snaga na odabranim dalekovodima, dolazi se sukcesivnim iterativnim rešavanjem (smisao uvedenih subiteracionih indeksa k i l) dva raspregnuta sistema jednačina (18) i (19), u kojima elementi svih prisutnih submatrica koeficijenata B', B'_{pφ}, B'_{pθ}, B'_φ, B'_r, F, F_r i B'' imaju konstantne vrednosti, za nepromenjenu topologiju. Pri tome, postoji sledeći identitet B'_{pθ} = B'_{pφ}T (T – oznaka za transpoziciju), a submatrica B'_φ ima samo dijagonalne elemente.

Submatrice B'_{pθ}, B'_{pφ} i B'_φ, dimenzija (NCL) x (N-1), (N-1) x (NCL) i (NCL) x (NCL), respektivno, imaju sledeće elemente:

$$b'_{p\phi ki} = \frac{1}{x_{km}}; \quad b'_{p\phi mi} = -\frac{1}{x_{km}}; \quad b'_{p\theta ki} = \frac{1}{x_{km}}; \quad b'_{p\theta mi} = -\frac{1}{x_{km}}; \quad (20)$$

$$b'_{\phi ki} = \frac{1}{x_{km}}; \quad i \in NCL, \quad k, m \in NC$$

gde je x_{km} – reaktansa elementa "k-m"

Dalje, submatrica F, dimenzije (N-1) x 1 ima sledeće elemente:

$$F_i = \begin{cases} k_{pi} & i \in NG \\ 0 & i \in NL \end{cases} \quad (21)$$

a kvadratna submatrice B' , dimenzije $(N-1)$ je identična odgovarajućoj submatrici u poznatoj brznoj dekuplovanoj metodi [10]. Takođe, submatrica B'' , dimenzije $(NSV+NL)$, je identična odgovarajućoj submatrici u pomenutoj metodi, sa jedinom razlikom kod dijagonalnih elemenata vezanih za generatore koji imaju statičku karakteristiku napon – reaktivna snaga (proširenje za veličinu $Q_{Goi} / (s_{Vi}V_{Goi}^2)$).

3. RAČUNARSKI PROGRAM *UTOKOVIN*

Na bazi izloženog matematičkog modela i tehnike njegovog rešavanja, u Institutu "Nikola Tesla" razvijen je računarski program *UTOKOVIN* (*Upravljanje TOKOVIMA*, N – nova verzija u odnosu na verziju *UTOKOVI*, koja je bazirana na klasičnom modelu tokova snaga[6]).

Ova nova verzija, koja pored glavnog programa ima 21 potprograma tipa *subroutine*, omogućuje tretiranje interkonekcija sa 10000 čvorova, 30000 grana, 2000 generatora, 4000 transformatora, 200 regulacionih basena i 100 SPST-a, uz jednu veoma važnu napomenu, da su sve ulazne datoteke, preko kojih se definiše polazno stanje u potpunosti kompatibilne sa odgovarajućim datotekama koje koristi unapređena verzija računarskog programa *STATIC* [11, 12]. Ta činjenica je apostrofirana, jer govori o praktičnoj mogućnosti udobne komplementarne primene računarskih programa *STATIC*, *UTOKOVI* [6] i *UTOKOVIN*, što nesumnjivo može da bude veoma korisno u praksi.

4. KOMPLEMENTARNA PRIMENA RAČUNARSKIH PROGRAMA *UTOKOVIN* I *UTOKOVI*

Komplementarna primena računarskih programa *UTOKOVIN* i *UTOKOVI* izvršena je na primeru Druge UCTE sinhronne zone, koji je formirao EPS, kao Naručilac Studije [11]. U pitanju je realna interkonekcija sa 1059 čvorova (175 generatora i 1413 grana), koju sačinjavaju EES Srbije i Crne Gore (SCG), Bosne i Hercegovine (istočni deo)(BH), Makedonije (MK), Rumunije (RO), Bugarske (BG), Grčke (GR) i Albanije(AL). Modelovane su kompletne visokonaponske mreže 220 i 400 kV u pomenutim EES (u EES Grčke, relevantni delovi mreže 150 kV), uz napomenu da je kompletno modelovana mreža 110 kV u EES Srbije i Crne Gore.

Dakle, sasvim odgovarajuća "dimenzija problema" za potrebe sagledavanja karakteristika i mogućnosti razvijene nove metode, odnosno računarskog programa *UTOKOVIN*. Konkretni praktični primeri su tako birani da u prvom redu dovedu do velikih iskušenja razvijenu novu metodu u pogledu karakteristika konvergencije, a zatim da se izvrši komparacija sa rezultatima koje daje računarski program *UTOKOVI*.

Raspoloživi prostor ovoga rada omogućuje samo da se istaknu veoma dobre karakteristike konvergencije iterativne procedure rešavanja sistema raspregnutih jednačina (19) i (20) (broj potrebnih iteracija za zahtevanu tačnost od 0.1 MW, odnosno 0.1 Mvar nije prelazio deset, i za prisustvo "aktivnih" kontrolera na više dalekovoda). Pri tome, potrebno je napomenuti da je početak iterativne procedure imao tzv. "flat"("miran") start (nominalne vrednosti napona u svim "PQ" čvorovima i nulta vrednost za sve uglove, uključujući i uglove regulacije SPST-a).

Tabela 1 daje uporedni pregled rezultata dobijenih primenom računarskih programa *UTOKOVIN* i *UTOKOVI*. Ti rezultati se odnose na slučaj kada EES GR uvozi 700 MW iz SCG (350 MW) i RO (350 MW), a SPST su instalirani na početku interkonektivnih dalekovoda 400 kV Blagoevgrad (BG) – Thessaloniki GR) (ϕ_1) i Skoplje (MK)-Kosovo (SCG) (ϕ_2).

U njoj se daju relativni odnosi promena, u odnosu na stanje bez kontrolera, ukupnih gubitaka gubitaka aktivne (ΔP_g) i reaktivne (ΔQ_g) snage i relativni odnosi dobijenih vrednosti ugla regulacije ϕ_1 i ϕ_2 za četiri varijante zadatih tokova aktivnih snaga na pomenutim dalekovodima. U varijanti A, na prvom dalekovodu je zadato 500 MW, a na drugom -200 MW, u varijanti B, 400 MW i -300 MW, u varijanti C, 300 MW i -400 MW i u varijanti D, 200 MW i -500 MW.

Tabela 1 Uporedni pregled rezultata dobijenih primenom računarskih programa UTOKOVIN (gornji indeks "n") i UTOKOVI

Varijanta	$\frac{\Delta P_g^n}{\Delta P_g}$	$\frac{\Delta Q_g^n}{\Delta Q_g}$	$\frac{\phi_1^n}{\phi_1}$	$\frac{\phi_2^n}{\phi_2}$
A	0.871	0.989	1.160	0.950
B	1.009	0.950	0.743	0.930
C	0.777	1.026	0.930	0.823
D	0.924	1.018	0.952	1.590

Analizirajući date pokazatelje, uočavaju se značajne razlike, posebno kod dostignutih vrednosti uglova regulacije, za zadate iznose tokova aktivnih snaga na razmatranim dalekovodima sa "aktivnim" SPST. Dakle, ako se nastoji da se što tačnije određuju vrednosti uglova regulacija SPST-a, za unapred zadate tokove aktivnih snaga, neophodna je primena prilaza zasnovanog na nestandardnom modelu tokova snaga, koji je najbliži realnoj pogonskoj praksi.

Razlike u dobijenim rezultatima sprovedenih analiza statičke sigurnosti su još drastičnije, posebno u slučajevima gubitka većih injektiranja (ispadi generatora velikih jediničnih snaga), iz već objašnjenog razloga da se kod klasičnog prilaza "sve locira" na jedan jedini, referentni (tada i balansni) čvor. Naravno, to je bilo i očekivano, imajući u vidu da kod prilaza, baziranog na nestandardnom modelu tokova snaga, u uspostavljanju novog, postdinamičkog kvazistacionarnog stanja učestvuju svi generatorski čvorovi (srazmerno svojim primarnim regulacionim konstantama) i svi potrošački čvorovi (u skladu sa svojim zavisnostima od napona i učestanosti), saglasno realnoj pogonskoj praksi.

5. ZAKLJUČAK

U radu je prikazana jedna unapređena metode upravljanja tokovima aktivnih snaga pomoću statičkih transformatora za regulaciju ugla. Ona je bazirana na nestandardnom modelu tokova snaga, u kome, za razliku od klasičnog modela tokova snaga, svi čvorovi imaju karakter balansnog, odnosno, u uspostavljanju novog stanja, učestvuju svi generatorski čvorovi (srazmerno svojim primarnim regulacionim konstantama) i svi potrošački čvorovi (u skladu sa svojim zavisnostima od napona i učestanosti). Ova osobina razvijene metode je krucijalna, jer omogućuje tačniju evaluaciju relevantnih tehničkih efekata primene SPST-a.

Karakteristike i mogućnosti razvijenog računarskog programa UTOKOVIN, baziranog na izloženoj metodi, utvrđivane su na primeru realne elektroenergetske interkonekcije. Rezultati komplementarne praktične primene ovoga programa sa programom UTOKOVI, baziranog na klasičnom modelu tokova snaga, čiji je samo manji obim izložen u ovom radu, evidentno govore da je za tačnije utvrđivanje relevantnih tehničkih efekata ovih kontrolera neophodna primena prilaza zasnovanog na nestandardnom modelu tokova snaga, koji je najbliži realnoj pogonskoj praksi.

LITERATURA

- [1] "Definitions of Transfer Capacities in Liberalized Electricity Markets", Final Report, ETSO, April, 2001
- [2] "Procedures for Cross-Border Transmission Capacity Assessments", ETSO, October, 2001
- [3] "Evaluation of congestion management methods for cross-border transmission", ETSO, Florence Regulators Meeting, November, 1999
- [4] Mijailović S.V., Vujasinović Z., Apostolović M., "Pregled aktuelnih metoda za upravljanje zagušenjima u prenosnoj mreži u Evropi", *Elektroprivreda*, br. 1, 2004, str.40-55.
- [5] "Analysis of Electricity Network Capacities and Identification of Congestion", IAEW and CONSENTEC, Final Report, Aachen, December 2001
- [6] Popović D.P., "Jedna metoda upravljanja tokovima snaga pomoću transformatora za regulaciju ugla", *Elektroprivreda*, br. 3, 2004, str. 24 – 34.
- [7] Popović D. P., "An Efficient Methodology for Steady-State Security Assessment of Power Systems", *Int. Journal of Electrical Power and Energy Systems*, Vol. 10, No. 2, April 1988, pp. 110-116.
- [8] Popović D. P., "Jedna metoda proračuna tokova snaga u elektroenergetskim sistemima sa serijskim FACTS kontrolerima", *Elektroprivreda*, br. 1, 1998, str. 11-22.
- [9] Tinney W.F.and Hart C.E., "Power Flow Solution by Newton's Method", *IEEE Trans. on PAS*, Vol. PAS-86, No.11, November 1967, pp. 1449-1467.
- [10] Stott B. and Alsac O., "Fast Decoupled Load Flow", *IEEE Trans. on PAS*, Vol. PAS-93, no.3, May/June 1974, pp. 856-869.
- [11] "Razvoj i praktična primena metodologije i računarskog programa za automatski proračun prenosnih mogućnosti elektroenergetskih interkonekcija", Studija Instituta "Nikola Tesla", Beograd, 2004
- [12] Popović D.P., Dobrijević Đ.M, Mijailović S.V., Vujasinović Z.Ž., "Automatic Cross-Border Transmission Capacity Assessment in the Open Electricity Market Environment", *24 Session CIGRE*, Paris, 29 august- 3 september 2004, paper C2-209

Abstract: This paper presents an advanced power flow control method by use of static phase shifting transformers. It is based on nonstandard load-flow model, which enables more accurate evaluation of the relevant technical effects. The characteristics and efficiency of method developed has been demonstrated on the example of real electric power interconnection.

Keyword : *advanced method, power flow control, static phase shifting transformer, real interconnection*

AN ADVANCED ACTIVE POWER FLOW CONTROL METHOD BY USE OF STATIC PHASE SHIFTING TRANSFORMER

Dragan P.Popović