

UNAPREĐENI RAČUNARSKI PROGRAM ZA UPRAVLJANJE NAPONIMA GENERATORA U REALNOM VREMENU

AN ADVANCED COMPUTER PROGRAM FOR GENERATORS REAL-TIME VOLTAGES CONTROL

Dragan P. Popović, Milan Ivanović, Saša Minić, *Institut "Nikola Tesla", Beograd*

Sadržaj - U radu se izlažu karakteristike i mogućnosti najnovije verzije računarskog programa *VOLTCONT*. Ovaj računarski program omogućuje brzo i dovoljno tačno definisanje napona generatora u cilju ostvarenja povoljnih naponsko-reaktivnih prilika u maksimalnim i minimalnim stanjima prenosnih mreža. Primena ovog računarskog programa u realnom vremenu omogućio bi pouzdan i kvalitetan rad estimatora stanja, koji se nalazi u sastavu novog SCADA/EMS sistema, implementiranog u Nacionalnom Dispečerskom Centru Elektromreže Srbije. Karakteristike i mogućnosti razvijenog programa utvrđene su na primeru postojećih i perspektivnih stanja prenosne mreže Srbije, u njenom širokom okruženju.

Ključne reči: unapređenje, računarski program, upravljanje naponima generatora, realno vreme, estimator stanja

Abstract - This paper presents the characteristics and possibilities of new version of the computer program *VOLTCONT*. This computer program enables fast and sufficiently accurate definition of generator voltages to realize the favourable voltage-reactive states in peak-load and low-load conditions of transmission network. The application of this computer program in real-time, will enable the reliable and good quality work of state estimation, which is the relevant part of SCADA/EMS system, which is implemented in National Dispatching Center of "Elektromreža Srbije" (Serbian Transmission System and Market Operator). The characteristics and possibilities of this computer program have been established on the example of realized and perspective states of Serbian transmission network, in its wide environment.

Key words: improvement, computer program, generator voltages control, real-time, state estimation

1. UVOD

Poslednjih godina problematici naponsko-reaktivnih prilika u prenosnoj mreži Srbije posvećivana je posebna pažnja, što se i dalje čini. U kontekstu niza sprovedenih istraživačkih aktivnosti je bila i izrada Studije [1], koja se bavila naponsko-reaktivnom problematikom prenosne mreže Srbije, za vremenski period do 2015. godine. U njoj je, između ostalog, na jedan indikativan način apostrofirao veliki praktičan značaj adekvatnog izbora napona angažovanih generatora, na uspostavljene naponsko reaktivne prilike u prenosnoj mreži Srbije.

U radovima [2, 3] detaljno je bio izložen razvoj i praktična primena jedne metode i odgovarajućeg računarskog programa - *DEFNAPON* (*DEFinisanje NAPONa*) [2], odnosno *VOLTCONT* (*VOLTages CONTrol*), za internacionalnu upotrebu [3]. Namena metode je da brzo i dovoljno tačno definiše napone angažovanih generatora u cilju ostvarenja povoljnih naponsko-reaktivnih stanja. Verifikacija predložene metode bila je obavljena u okviru statičkog [2, 3] i dinamičkog [3, 4] simulacionog modela, na primerima ostvarenog i niza perspektivnih stanja prenosne mreže Srbije, u njenom širokom okruženju.

U nastavku rada na ovoj problematici sagledavani su uslovi i praktične mogućnosti primene ove metode u realnom vremenu. Takvu vrstu primene bi omogućio pouzdan i kvalitetan rad estimatora stanja, koji se nalazi u sastavu novog SCADA/EMS

sistema, implementiranog u Nacionalnom Dispečerskom Centru Elektromreže Srbije.

Početna iskustva u pogledu sagledavanja uslova i mogućnosti primene ove metode u realnom vremenu, uz njena dalja unapređenja, sticana su na modelu realne elektroenergetske interkonekcije, koju je sačinjavao EES Srbije, u svom širokom okruženju, o čemu je detaljnije bilo reči u radovima [5-8]. Naredne aktivnosti na problematici upravljanja naponima generatora bile su koncentrisane na dalja unapređenja metode i samog računarskog programa. Uz to, izrađen je posebni interfejs za komunikaciju sa rezultatima estimatora stanja, i njegovo povezivanje sa unapređenom verzijom računarskog programa *VOLTCONT*.

U ovom radu izlažu se mogućnosti i karakteristike najnovije verzije računarskog programa *VOLTCONT*, baziranoj na daljim unapređenjima metode upravljanja naponima generatora. Najpre se daje prikaz unapređene verzije same metode, a zatim prikaz unapređene verzije pomenutog računarskog programa i karakteristični primeri njegove praktične primene.

2. UNAPREĐENA METODA UPRAVLJANJA NAPONIMA GENERATORA U REALNOM VREMENU

Nastavak aktivnosti na problematici upravljanja naponima generatora, bile su koncentrisane najpre na daljim unapređenji-

ma same metode. Sva ova unapređenja su bila vezana za različite načine formiranja i rešavanja sledeće matrične jednačine:

$$\Delta V_G = \left(\frac{\partial Q_G}{\partial V_G} \right)^{-1} \Delta Q_G \quad (1)$$

U početnoj verziji ove metode, red ove jednačine iznosio je NGI (broj generatorskih čvorova u EES od interesa - u našem slučaju to je EES Srbije).

U daljim unapređenjima ove metode [5-8], u najopštijem slučaju, red matrične jednačine oblika (1), bio je povećan za broj interkonektivnih dalekovoda, na kojima se opserviraju tokovi reaktivnih snaga (N_{ID}), odnosno taj red je iznosio $N_{GI} + N_{ID}$. Taj novi red matrične jednačine je dobijen Gausovom eliminacijom svih potrošačkih čvorova u razmatranoj interkonekciji, sem odabranih graničnih čvorova i eliminacijom svih generatorskih, koji se ne nalaze u EES od interesa. U takvim uslovima, matrična jednačina (1) (primenom LU faktORIZACIJE) je i dalje srazmerno niskoga reda ($N_{GI} + N_{ID}$). Specificirajući željene korekcije odatih reaktivnih snaga odabranih generatora i/ili željene korekcije točkova reaktivnih snaga na odabranim interkonektivnim dalekovodima, u odnosu na posmatrano stanje (ΔQ_G), njenim rešavanjem (primenom LU faktORIZACIJE), dobijaju se potrebne korekcije napona posmatranih generatora (ΔV_G).

Dalja unapređenja ove metode bila su vezana za način formulacije matrične jednačine (1). Omogućeno je da se, u pojedinim slučajevima, problem rešava i reši veoma uspešno i sa redukovanim redom ove jednačine, kada figurišu samo elementi na kojima se vrše željene korekcije. O tome će biti više reči u nastavku ovog rada, koji se odnosi na unapređenu verziju računarskog programa *VOLTCONT* i njegovu praktičnu primenu.

3. UNAPREĐENA VERZIJA RAČUNARSKOG PROGRAMA *VOLTCONT*

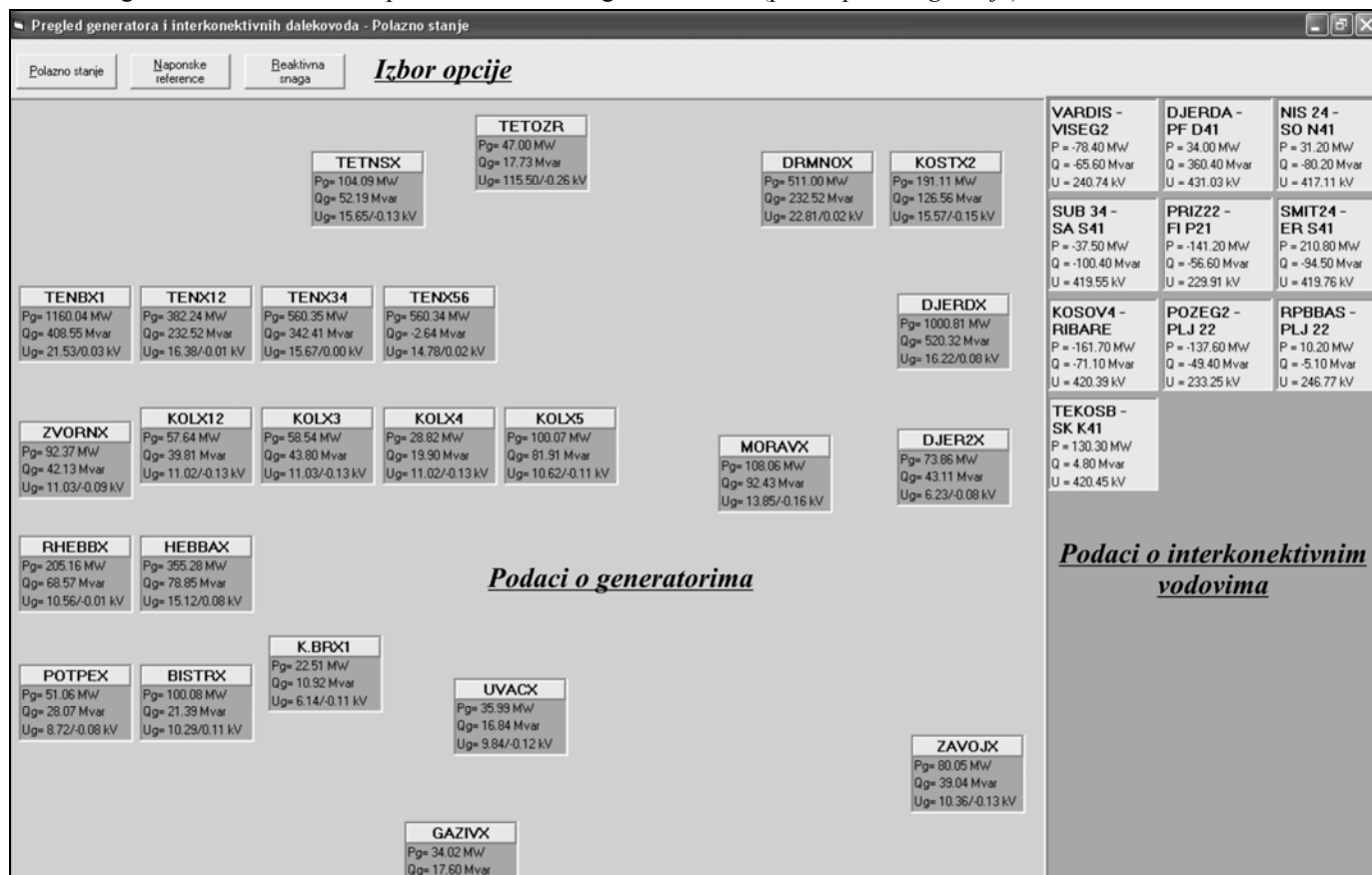
Na bazi prethodno datih dopuna matematičkog modela upravljanja naponima, u Institutu "Nikola Tesla" razvijena je nova, unapređena verzija računarskog programa *VOLTCONT*. I dalje je korišćen *Visual Fortran Professional Edition 6.0.0*. Novina je u omogućavanju interaktivnog rada sa ovim programom, razvojem posebnog menija. Unos ulaznih podataka i prikaz rezultata njihove obrade je omogućen posebnim editorima za čiji je razvoj korišćen *Microsoft Visual Studio 6*. Omogućeno je obuhvatanje interkonekcija sa 10 000 čvorova, 30 000 grana, 2 000 generatora, 4 000 transformatora i 200 regulacionih basena.

Dalja novina je da je korisniku ovoga programa data mogućnost zadavanja napona angažovanih generatora u polaznom ustaljenom stanju, posredstvom indikatora *INAPON* i veličine *FNAPON*. Ako je indikator *INAPON* = 0, naponi generatora u polaznom stanju su unapred poznati, odnosno bile bi preuzete njihove vrednosti koje se nalaze u okviru SCADA/EMS sistema, implementiranog u Nacionalnom Dispečerskom Centru Elektromreže Srbije. Dakle, to bi bilo u kontekstu primene ove unapređene verzije računarskog programa *VOLTCONT* u realnom vremenu.

Za primenu u studijskom modu (indikator *INAPON* > 0) postoji niz mogućnosti, zavisno od zadate vrednosti za *FNAPON*. Tada, naponi generatora u polaznom stanju mogu da imaju vrednosti *FNAPON* * *Ugn*, gde *Ugn* predstavlja nominalnu vrednost napona generatora.

Na slici 1 je prikazan izgled osnovne radne površine računarskog programa *VOLTCONT*. U zaglavlju radne površine se nalaze tasteri za izbor opcija.

Slika 1. Izgled dela osnovne radne površine računarskog *VOLTCONT* (prikaz polaznog stanja)



U nastavku odvijanja ovog računarskog programa, njegovom korisniku i dalje stoje na raspolaganju Opcije I, II i III, detaljno opisane u [2]. Izborom Opcije I (*Polazno stanje*), po određivanju tokova snaga u polaznom stanju, sračunavaju se elementi matrica osetljivosti. U okviru ove opcije, postredstvom obrasca prikazanog na slici 2, moguća je specifikacija napona generatora u polaznom stanju. Opcija "*Unapred zadati*" odnosi se na vrednosti napona preuzetih iz SCADA/EMS sistema, u kontekstu primene programa *VOLTCONT* u realnom vremenu.

Slika 2. Specifikacija napona generatora u polaznom stanju

Izborom Opcije II, vrši se definisanje novih vrednosti naponskih referenci na odabranim generatorima, korišćenjem obrasca prikazanog na slici 3. Zatim, primenom odgovarajućih matrice jednačina određuju se promene, odnosno nove vrednosti aktivnih i reaktivnih snaga generatora.

Slika 3. Specifikacija korekcije napona generatora u odnosu na polazno stanje

Sifra	Ug [kV]	dUg [%]	U'g [kV]
TENBX1	22.05	1.00	22.27
TENX12	16.59	0.50	16.67
TENX34	15.75	0.50	15.83
TENX56	15.75	1.00	15.91

U okviru ove Opcije III, u unapređenoj verziji računarskog programa, sada postoje *dve* osnovne mogućnosti njene primene. U *prvoj*, učestvuju svi generatori u EES od interesa, odnosno red matrice jednačina (1) iznosi N_{GI} . U *drugoj* mogućnosti, učestvuju samo selektivno odabrani generatori. Ta selekcija može da se obavlja "*ručno*" i *automatski*.

U "*ručnom*" modu (slika 4), program komunicira sa unapred pripremljenom datotekom, u okviru koje se definišu generatori i željene promene njihovih reaktivnih snaga i/ili željene korekcije tokova reaktivnih snaga na odabranim interkonektivnim dalekovodima, odnosno red matrice jednačina (1) se tada znatno redukuje, jer je red jednak broju selektivno odabranih generatora i/ili selektivno odabranih interkonektivnih dalekovoda.

U okviru *automatskog* moda, generatori koji se dalje observiraju, automatski se biraju, zavisno od vrednosti odgovarajućeg indikatora i veličina *FAKTOR* i S_{max} , koje se interaktivno učitavaju, posredstvom obrasca prikazanog na slici 5.

Za potrebe analiza *maksimalnih stanja*, postoje mogućnosti za kreiranje niza različitih scenarija automatske selekcije genera-

tora, koji se dalje observiraju. Oni se biraju zavisno od problema koji se rešava (poboljšanje ekonomije pogona, prostorno relociranje rezerve u reaktivnoj snazi generatora i relaksiranje tokova reaktivnih snaga na interkonektivnim dalekovodima, kada se za tim ukaže potreba). Postoji niz scenarija automatske selekcije generatora, od koji se navode sledeći:

- Obuhvataju se samo generatori čija je nominalna prividna snaga S_n veća od unapred zadate vrednosti S_{max} ($S_n > S_{max}$), nezavisno od stanja u kome se nalaze, a zadaje se nova vrednost reaktivne snage u iznosu $Q_g = FAKTOR * S_n$ (Scenario 1) ili u iznosu $Q_g = FAKTOR * Q_{gmax}$, gde Q_{gmax} predstavlja maksimalno dozvoljenu reaktivnu induktivnu snagu generatora (Scenario 2);
- Obuhvataju se samo turbogeneratori (Scenario 3) ili samo hidrogeneratori (Scenario 4) kod kojih je $S_n > S_{max}$, nezavisno od stanja u kome se nalaze, a zadaje se nova vrednost reaktivne snage u iznosu $Q_g = FAKTOR * Q_{gmax}$;

Slika 4. Obrazac za definisanje promene generisanih reaktivnih snaga odabranih generatora u *ručnom* modu

Sifra	Qg [Mvar]	dQg [Mvar]	Q'g [Mvar]
TENBX1	218.39	198.00	416.39
TENX12	140.21	-14.58	125.63
TENX34	181.13	60.26	241.39
TENX56	128.96	-26.81	102.15

Slika 5. Obrazac za definisanje promene generisanih reaktivnih snaga u *automatskom* modu

Za potrebe analiza *minimalnih stanja*, posebno kada se vrši harmonizacija potreba za potpobudjenim režimima rada generatora, takođe postoji niz sledećih scenarija automatske selekcije generatora:

- Obuhvataju se samo generatori čija je nominalna prividna snaga S_n veća od unapred zadate vrednosti S_{max} ($S_n > S_{max}$), nezavisno od stanja u kome se nalaze, a zadaje se nova vrednost reaktivne snage $Q_g = -FAKTOR * S_n$ (Scenario 5) ili u iznosu $Q_g = FAKTOR * Q_{gmin}$, gde Q_{gmin} predstavlja dozvoljenu reaktivnu kapacitivnu snagu ge-

neratora (koja odgovara podešenju ograničivača minimalne pobude generatora) (Scenario 6);

- Obuhvataju se samo potpobuđeni generatori čija je nominalna prividna snaga S_n veća od unapred zadate vrednosti S_{max} ($S_n > S_{max}$), a zadaje se nova vrednost reaktivne snage $Q_g = -FAKTOR \cdot S_n$ (Scenario 7), ili $Q_g = Q_{gmin}$ (Scenario 8), ili $Q_g = FAKTOR \cdot Q_{gmin}$ (Scenario 9);
- Obuhvataju se samo turbogeneratori (Scenario 10) ili hidrogeneratori (Scenario 11) kod kojih je $S_n > S_{max}$, nezavisno od stanja u kome se nalaze, a zadaje se nova vrednost reaktivne snage u iznosu $Q_g = FAKTOR \cdot Q_{gmin}$;
- Obuhvataju se samo turbogeneratori (Scenario 12) ili hidrogeneratori (Scenario 13) kod kojih je $S_n > S_{max}$, i nalaze se u potpobuđenim stanjima, a zadaje se nova vrednost reaktivne snage u iznosu $Q_g = FAKTOR \cdot Q_{gmin}$;

Na taj način, korisniku ovoga računarskog programa, pružaju se široke mogućnosti u pogledu kreiranja niza različitih varijanti upravljanja naponima angažovanih generatora. Na primer, za minimalna stanja, ako je $FAKTOR=0$, analizira se mogućnost da se eventualno izbegnu potpobuđeni režimi rada generatora, kod kojih je $S_n > S_{max}$, što se pokazalo efikasnim, za minimalna stanja, koja nisu ekstremna. Ili, ako se za S_{max} zada dovoljno mala vrednost, praktično se obuhvataju svi angažovani generatori. Ujedno, zadavanjem različitih vrednosti za $FAKTOR$, definiše se i željena "dubina" rada u potpobudi.

Dakle, u okviru izabrane opcije III, sa dobijenim novim vrednostima napona generatora, koji se nalaze u okviru raspoloživog naponsko-regulacionog opsega, i koji omogućuju ostvarenje novih zadatih vrednosti reaktivnih snaga, vrši se određivanje novih tokova snaga u razmatranoj interkonekciji. Po određivanju novog ravnotežnog stanja, vrši se provera zadovoljenja naponskih ograničenja u razmatranoj mreži.

Prethodno pomenuti segmenat u odvijanju računarskog programa *VOLTCONT* (određivanje novih tokova snaga) je veoma značajan, jer se dolazi do tačnijih novih vrednosti reaktivnih snaga observiranih generatora. Ujedno, određuju se nove vrednosti reaktivnih snaga kod ostalih generatora, nastale kao rezultat novih vrednosti napona observiranih generatora, što je takođe od velikog praktičnog značaja. Za dobijeno novo regularno stanje, obavlja se poređenje dobijenih rezultata sa rezultatima dobijenih uprošćenim prilazom (primena matrične jednačine (1)), odnosno izračunava se veličina greške u određivanju novih vrednosti reaktivnih snaga opserviranih generatora. Time se obavlja dalja verifikacija predložene metode upravljanja, u okviru statičkog prilaza, ako bi se ona autonomno primenjivala. Međutim, u unapređenoj verziji računarskog programa *VOLTCONT*, ova jednostavna i aproksimativna metoda je spregnuta sa daljim određivanjem novih tokova snaga, čime je omogućeno dobijanje pouzdanih rezultata.

4. NEKI OD PRIMERA PRAKTIČNE PRIMENE UNAPREĐENE VERZIJE RAČUNARSKOG PROGRAMA VOLTCONT

4.1. Uvodne napomene

Sagledavanje mogućnosti i efekata primene u realnom vremenu unapređene metode urađeno je na modelu realne elektroenergetske interkonekcije, koju sačinjavaju EES Srbije, Bosne i Hercegovine, Crne Gore, Hrvatske, Makedonije, Rumunije, Mađarske, Grčke, Bugarske i Albanije. Modelovane

su kompletne visokonaponske mreže 220 i 400 kV u pomenutim EES (u EES Grčke, i relevantni delovi mreže 150 kV), uz napomenu da je kompletno modelovana mreža 110 kV u EES Srbije i sve u njemu prisutne TS 110/X kV.

4.2. Prostorno relociranje rezerve u reaktivnoj snazi generatora

Poznato je da bi svaki EES u svom radu trebalo da poseduje odgovarajuću rezervu kod angažovanih generatora, kako u aktivnoj, tako i u reaktivnoj snazi. Pri tome, nisu samo bitne njene veličine, nego i njihova prostorna raspodela. Aktiviranje ovih rezervi, a posebno rezervi u reaktivnoj snazi, sasvim je sigurno, može da bude od dragocene, a nekad i od presudne pomoći u saniranju teških naponsko-reaktivnih stanja prenosne mreže Srbije, koja mogu da nastanu nakon težih višestrukih poremećaja.

Karakterističan primer za prostornu relokaciju rezerve u reaktivnoj snazi odnosi se na očekivano maksimalno stanje prenosne mreže Srbije 2015. godine. Predmet observacije su maksimalno opterećeni (po aktivnoj snazi) generatori u TE Kolubara B 1 i 2, TE N.Tesla B 1 i 2, TE N.Tesla B 3 i TE N.Tesla A 5 i 6. Naponi na krajevima generatora u TE Kolubara B 1 i 2 i TE N.Tesla B 3 su iznosili $1.05 U_{gn}$, pri kojim vrednostima su oduvali reaktivnu snagu u iznosu 301.1 Mvar i 278.3 Mvar, respektivno. Generatori u TE N.Tesla B 1 i 2 i TE N.Tesla A 5, 6. su imali napone u iznosu $1.025 U_{gn}$, a odate reaktivne snage imale su vrednosti 199.8 Mvar i 124.0 Mvar.

Problem je formulisao tako da se nađe novi plan napona ovih generatora, pri kome bi se odavanje reaktivne snage generatora u TE Kolubara B 1 i 2 smanjilo za 100 Mvar, i za isti iznos, smanjilo odavanje TE N.Tesla B 3, a da se pri tome odavanje reaktivne snage generatora u TE N.Tesla B 1 i 2 i TE N.Tesla A 5, 6, poveća za 150 i 50 Mvar, respektivno. Taj problem je rešavan primenom matrične jednačine (1), čiji je red iznosio 4, koliko je iznosio i broj observiranih elektrana. Rezultati primene jednačine (1), četvrtog reda, prikazani su u tabeli 1.

Oznake Q_{G0} i U_{G0} predstavljaju vrednosti reaktivne snage i napona na krajevima izabranih generatora u polaznom stanju. Oznaka Q_{GZ} predstavlja zadate nove vrednosti reaktivnih snaga generatora, a oznaka U_G predstavlja nove vrednosti napona generatora, dobijene su primenom matrične jednačine (1), reda 4, pri kojima se ostvaruju zadate reaktivne snage Q_{GZ} . Oznaka Q_G predstavlja nove vrednosti reaktivnih snaga, dobijene proračunom tokova snaga i naponskih prilika u razmatranoj, kompletnoj interkonekciji, za nove vrednosti napona generatora, a oznaka ΔQ_G je greška koju čini metoda ($\Delta Q_G (\%) = (Q_{GZ} - Q_G) \cdot 100 / Q_G$). Saglasno iznetim pokazateljima, novi plan napona generatora, izračunat sa visokom tačnošću, evidentno je doprineo ravnomernijoj raspodeli odate reaktivne snage posmatranih generatora, odnosno ravnomernijoj raspodeli postojeće rezerve u reaktivnoj snazi.

Tabela 1. Novi plan napona posmatranih generatora (U_G), za zadate nove vrednosti reaktivnih snaga (Q_{GZ})

R. br.	Elektrana	Q_{G0} (Mvar)	U_{G0} (r.j.)	Q_{GZ} (Mvar)	U_G (r.j.)	Q_G (Mvar)	ΔQ_G (%)
1	TE Kolubara B1, 2	301.1	1.050	201.1	1.032	204.4	-1.614
2	TE N. Tesla B1, 2	198.8	1.025	349.8	1.040	350.2	-0.114
3	TE N. Tesla B3	278.3	1.050	178.3	1.034	181.3	-1.655
4	TE N. Tesla A5, 6	124.0	1.025	174.0	1.034	173.9	0.058

4.3. Harmonizacija potreba za potpobuđenim režimima rada generatora

Karakteristični primeri primene predložene metode u funkciji harmonizacije potreba za potpobuđenim režimima rada generatora odnose se na minimalna stanja u EES Srbije, koje se očekuje 2020. godine [9, 10], uz pretpostavku da su angažovani i generatori u TE Kolubara B i TE N.Tesla B 3. O tome je detaljno bilo reči u radu [11].

U ovom radu, kao dobra ilustracija, odabran je scenario br. 10 automatske selekcije generatora. Rezultati izbora ovoga scenarija za $FAKTOR = 0.5$ ($Q_g = 0.5 \cdot Q_{gmin}$), daju se u tabeli 2, u kojoj uvedene oznake imaju ista značenja kao u tabeli 1. U ovoj tabeli, izostavljena je veličina ΔQ_G (greška koju čini metoda, kada bi se autonomno primenivala), koja svakako postoji. Već je bilo naglašeno, da je u unapređenoj verziji računarskog programa *VOLTCONT*, ova jednostavna i aproksimativna metoda spregnuta sa daljim određivanjem novih tokova snaga, čime je omogućeno dobijanje pouzdanih rezultata.

Tabela 2. Harmonizacija potpobuđenih režima analiziranih generatora

R. br.	Elektrana	Q_{G0} (Mvar)	U_{G0} (r.j.)	Q_{GZ} (Mvar)	U_G (r.j.)	Q_G (Mvar)
1	TE Kolubara B1	-25.3	1.000	-51.5	0.979	-55.6
2	TE N. Tesla B1	-75.5	1.000	-92.7	0.983	-101.7
3	TE N. Tesla B3	-46.8	1.000	-102.9	0.976	-110.2
4	TE N. Tesla A3	-3.2	1.000	-45.6	0.973	-46.8
5	TE N. Tesla A5	-38.3	1.000	-45.6	0.984	-50.5
6	TE Kostolac B1	-17.0	1.000	-51.8	0.978	-54.6

Prikazani rezultati pokazuju da se u razmatranim novim stanjima, "teret" potpobuđenih režima ravnomernije raspoređuje na posmatrane generatore, saglasno njihovim stvarnim mogućnostima. Pri tome i dalje se ostaje u propisanim granicama, koje diktiraju raspoloživi naponsko-regulacioni opseg i karakteristike ograničivača minimalne pobude generatora.

5. ZAKLJUČCI

U radu su prikazane mogućnosti i karakteristike najnovije verzije računarskog programa *VOLTCONT*. Njegova praktična primena ne zahteva posebne nove investicije, sem onih koje se odnose na obezbeđenje uslova za njegovu nesmetanu primenu u realnom vremenu. Naravno, ovaj računarski program čekaju nova iskušenja, u njegovoj praktičnoj primeni u realnom vremenu, čvrsto povezanoj sa korišćenjem rezultata pouzdanog i kvalitetnog rada i funkcionisanja estimatora stanja.

LITERATURA

- [1] "Planiranje izvora reaktivne snage u prenosnoj mreži EES Srbije - II faza", studija Instituta "Nikola Tesla", Beograd, 2006.
- [2] D.P.Popović, "Upravljanje naponima generatora i naponsko reaktivna stanja elektroenergetskih interkonekcija", časopis "Elektroprivreda", br. 1, 2007., str. 12-26.
- [3] D.P.Popović, M.Stojković, "An Efficient Generator Voltages Control Method for Improvement of Voltage-Reactive States in Transmission Network", FACTA UNIVERSITATIS, Series: Electronics and Energetics, vol. 21, No. 2, August, 2008., pp. 221-232.
- [4] D.P.Popović, M.Stojković, "Dinamički aspekti upravljanja naponima generatora i naponsko-reaktivna stanja elektroenergetskih interkonekcija", časopis "Elektroprivreda", br. 3, 2007, str. 3-14.
- [5] D.P.Popović, M. Stojković, "Upravljanje naponima generatora u realnom vremenu u cilju unapređenja naponsko-reaktivnih stanja u prenosnim mrežama", časopis "Tehnika- Elektrotehnika", br. 2, 2008, str.1-8.
- [6] D.P.Popović, M. Stojković, "The Effects of Real-time Generator Voltage Control", Međunarodna konferencija, Power Plants 2008, V.Banja, 28-31 October 2008.
- [7] D.P. Popović, M. Stojković, "Voltage-Reactive State on Interconnected Lines According to the Generator Voltages Control in Real-Time", FACTA UNIVERSITATIS, Series: Electronics and Energetics, vol. 22, No. 3, December 2009., pp. 361-370.
- [8] D.P. Popović, M. Stojković, "Jedna unapređena metoda upravljanja naponima generatora u realnom vremenu", časopis "Tehnika - Elektrotehnika", br. 4, 2009., str.7-16.
- [9] "Studija dugoročnog razvoja prenosne mreže 400 kV, 220 kV i 110 kV na području Republike Srbije, za period do 2025. godine", studija Instituta "Nikola Tesla", Beograd, 2006.
- [10] Studija stabilnosti rada i izbor opsega najpovoljnijih vrednosti parametara i karakteristika turboagregata i blok-transformatora u TE Kolubara B i TE Nikola Tesla B3", studija Instituta "Nikola Tesla", Beograd, 2008.
- [11] D.P.Popović, M.Stojković, Z.Bozović., "Potpobuđeni režimi rada generatora u EES Srbije i mogućnosti njihove racionalizacije", časopis "Elektroprivreda", br. 1, 2010., str.15-26.