

JEDNA METODA ZA ANALIZU TOKA DEZINTEGRACIJE I OBNOVE POGONA ELEKTROENERGETSKIH INTERKONEKCIJA

Dragan P. Popović

Elektrotehnički institut "Nikola Tesla", Beograd

Sadržaj: Rad prikazuje razvoj i praktičnu primenu jedne efikasne metode za simultanu analizu postdinamičkih kvazistacionarnih stanja u proizvoljnom broju "ostrva", nastalih u kritičnim stanjima dezintegracije i obnove pogona razmatrane elektroenergetske interkonekcije. Ova metoda koristi jedinstvenu numeričku proceduru, ne menjajući numeraciju čvorova koja je važila pre dezintegracije. Istovremeno, razvijena metoda uvažava efekte primarne regulacije napona i učestanosti, efekte dejstva uređaja protivhavarijske automatike i zaštite, kao i efekte niza mogućih dispečerskih akcija, kako tokom procesa dezintegracije, tako i tokom obnove pogona, kada se vrši sinhronizacija "ostrva", uz proveru potrebnih i dovoljnih uslova za njeno uspešno obavljanje. Praktična i numerička efikasnost predložene metode pokazana je na primeru interkonekcije na prostorima Balkana.

Ključne reči: metoda, dezintegracija, obnova pogona, interkonekcija, Balkan

1 UVOD

Ako bi se tražio neki zajednički imenitelj za analize statičke sigurnosti, prisutne u savremenim centrima vođenja elektroenergetskih sistema (EES-a), moglo bi da se konstatuje da su to takve analize, u kojima dominira klasični model tokova snaga (prisustvo jednog referentnog, odnosno balansnog čvora), koji se najčešće rešavao dobro poznatim brzim raspregnutim postupkom [1].

Takvi prilazi mogu da daju dovoljno tačnu indikaciju u pogledu (ne)zadovoljenja tri skupa fundamentalnih ograničenja (ograničenja potrošnje, pogonska i sigurnosna ograničenja), ali samo za ona postdinamička stanja u kojima je EES sačuvao početni integritet.

Naravno, takvi prilazi ne mogu biti od veće praktične koristi kod onih stanja u kojima je došlo do pojave većeg broja "ostrva" tokom procesa dezintegracije EES-a, kao i u stanjima nastalim tokom procesa restauracije, odnosno obnove pogona. Na primer, široko korišćeni računarski program CLF-OPF [2], kod pojave i jednog jedinog "ostrva", automatski se zaustavlja, jer je konvencionalni model tokova snaga, na kome je baziran, "nemoćan" da prati nastali proces dezintegracije.

U radovima [3-10] je na odgovarajući način izvršena klasifikacija radnih stanja EES-a, zavisno od (ne)zadovoljenja postavljenih tehničkih ograničenja (ograničenja potrošnje, pogonska i sigurnosna ograničenja).

U tim radovima, uveden je i objašnjen pojam "normalno sigurno stanje" ("normal secure operation") i "normalno ali nesigurno stanje", odnosno "predhavarijsko (alertno) stanje" ("normal but insecure operation" – "alert (vulnerable) state"), kada je neophodno da se primeni preventivno upravljanje da bi se EES vratio u "normalno sigurno stanje".

Zatim, uveden je pojam "poremećeno (havarijsko) stanje" ("emergency" (disturbed) state), u koje se dolazi ako nije bilo preventivnog upravljanja, ili ako ono

nije bilo adekvatno. Takođe, ovo stanje nastaje u slučaju pojave značajnog poremećaja (a koji nije bio prethodno predviđen), uz važnu napomenu da EES i dalje ostaje integrisan.

Međutim, ako se tada ne preduzmu potrebne dispečerske akcije (korektivno upravljanje), može doći do početka dezintegracije EES-a, odnosno prelaska u "kritično stanje" ("critical state") i do narušavanja i ograničenja potrošnje. Pri tome moguće je formiranje niza „ostrva” ili može doći do prekida napajanja značajnog dela potrošnje (ili i jedno i drugo).

Sa zaustavljanjem procesa dezintegracije, pri čemu neki delovi EES-a mogu da ostanu u normalnom pogonu, ili ima elemenata koji su ponovo stavljeni u pogon posle totalnog ili parcijalnog raspada, EES može preći u "posthavarijsko stanje", u kome su zadovoljena pogonska ograničenja, ali nisu zadovoljena ograničenja potrošnje.

Iz ovog stanja, moguće je započeti proces obnove pogona EES-a, odnosno njegove reintegracije ("restorative state") i zavisno od raspoloživih mogućnosti i primenjenog upravljanja (korektivnog), EES može preći u "normalno sigurno stanje" ili pak u "predhavarijsko stanje".

Imajući u vidu prethodno, javio se niz radova u kojima su učinjeni odgovarajući pokušaji da se "ovlada" ovom izuzetno složenom problematikom. Na primer, u radu [11], to je učinjeno na metodi baziranoj na "znanju" ("knowledge based methods"), a u radu [12] dat je prilaz baziran na analitičkim alatima ("analytical tools"). Prilaz baziran na primeni ekspertskih sistema izložen je u radu [13], a prilaz koji koristi veštačke neuralne mreže, dat je u radu [14].

Inače, ako bi se govorilo o praktičnom značaju ove problematike, dovoljno je samo navesti najnovija iskustva vezana za teške "raspade" delova interkonekcija (14. avgust 2003. godine - SAD i Kanada, kao i 27. avgust - Italija, Švajcarska i Austrija).

Sve prethodno rečeno, inspirisalo je i motivisalo autora ovog rada u nastojanjima da se izvrši formulacija jedne takve metode koja će na dovoljno adekvatan, ali i jednostavan i praktičan način, da simultano analizira stanja u proizvoljnom broju "ostrva", nastalih u kritičnim stanjima dezintegracije razmatrane interkonekcije, ne menjajući početnu numeraciju čvorova. Od takve metode se zahtevalo da prati, takođe simultano i niz stanja u procesu obnove pogona u posthavarijskim stanjima, kada dolazi do postupne sinhronizacije niza formiranih "ostrva", uz prethodno proučavanje i utvrđivanje svih potrebnih i dovoljnih uslova za to.

Ujedno, pomenuti ciljevi zahtevali su uvažavanje efekata primarne regulacije učestanosti i napona, efekata dejstva uređaja protivhavarijske automatike i zaštite, kao i efekata niza mogućih dispečerskih akcija, što je i postignuto na veoma pogodan način, obzirom na jednostavnost i fleksibilnost razvijene metode i tehnike njenog rešavanja. Rezultati početnih istraživačkih aktivnosti u realizaciji postavljenih ciljeva, izloženi su u radovima [15, 16, 17].

U daljem radu na ovoj problematici, izvršena su dalja unapređenja ove metodologije, koja su se sastojala u sukcesivnom obuhvatanju procesa dezintegracije i obnove pogona, jedinstvenom numeričkom procedurom, zadržavajući nepromenjenu numeraciju čvorova. Dalje, omogućena je njena komplementarna primena sa metodama koje, na odgovarajući način, obuhvataju relevantne dinamičke aspekte [18, 19], čime je obezbeđen celovitiji prilaz ovoj, stvarno, veoma kompleksnoj problematici.

U ovom radu, izlažu se suštinski aspekti pomenute unapređene metodologije, kroz izlaganje njenog matematičkog modela i razvijene tehnike rešavanja dok o njenoj efikasnosti govori izložen karakterističan primer njene praktične primene u slučaju elektroenergetske interkonekcije na prostorima Balkana.

2 REGISTAR UPOTREBLJENIH OZNAKA

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)
MI –	broj, odnosno oznaka skupa indeksa "ostrva", formiranih tokom procesa dezintegracije
$f_m = f - f_n$ –	odstupanje kvazistacionarne vrednosti učestanosti f_m "ostrva" m ($m \in MI$) od nominalne vrednosti f_n (Hz);
MR –	broj, odnosno oznaka skupa indeksa referentnih čvorova, po jedan pridružen svakom od formiranih "ostrva" (MR=MI)
Nm –	oznaka skupa indeksa čvorova u "m"-tom "ostrvu"
\cup, \cap –	oznaka za uniju i presek skupova
s –	stalni statizam primarne regulacije učestanosti agregata
P_{Gn} –	nominalna aktivna snaga generatora
k_p –	regulaciona konstanta agregata ($k_p = 100P_{Gn}/sf_n$)
P_{GO}, Q_{GO} –	aktivna i reaktivna snaga generatora u polaznom ustaljenom stanju
V_O –	napon na krajevima generatora u polaznom ustaljenom stanju
s_V –	statizam primarne regulacije napona generatora
$P_L(V, f_m), Q_L(V, f_m)$ –	aktivna i reaktivna snaga potrošača kao složene nelinearne funkcije od napona i kvazistacionarne vrednosti učestanosti u "m"-tom "ostrvu"
P, Q –	injektirana aktivna i reaktivna snaga
P_{Gmin}, P_{Gmax} –	minimalna i maksimalna aktivna snaga generatora
Q_{Gmin}, Q_{Gmax} –	minimalna i maksimalna reaktivna snaga generatora

3 FORMULACIJA METODE

3.1. Matematički model kvazistacionarnih tokova snaga u nizu formiranih "ostrva" EES-a

Za postdinamička, kvazistacionarna stanje EES-a koji je dezintegrisan na MI ostrva, nastalih nakon dejstva primarne regulacije napona i učestanosti, važe sledeće jednačine balansa snaga [15]:

$$\Delta P_i = P_{G0i} + k_{Pi} \Delta f_m - P_i = 0 \quad i \in NG \quad (1)$$

$$\Delta Q_i = Q_{G0i} + Q_{G0i} (V_{0i} - V_i) / (s_{vi} V_{0i}) - Q_i = 0 \quad i \in NSV(2)$$

$$\Delta P_i = P_{Li}(V_i, f_m) - P_i = 0 \quad i \in NL \quad (3)$$

$$\Delta Q_i = Q_{Li}(V_i, f_m) - Q_i = 0 \quad i \in NL \quad (4)$$

$m \in MI$

Dakle, u pitanju su jednačine balansa analogne jednačinama datim u radu [20], a koje važe za interkonekciju koja je sačuvala svoj topološki integritet. Jedina razlika je u tome što sada, umesto jedinstvene vrednosti učestanosti f , figuriše onoliki broj učestanosti f_m , koji je jednak broju "ostrva", nastalih tokom procesa dezintegracije.

Uz zadovoljenje prethodno datih jednačina balansa, potrebno je takođe striktno zadovoljiti i sledeća (tzv. "tvrda") ograničenja, koja važe za generatorske čvorove:

$$P_{G \min i} \leq P_{Gi} \leq P_{G \max i} \quad (5)$$

$$Q_{G \min i} \leq Q_{Gi} \leq Q_{G \max i} \quad i \in NG \quad (6)$$

koja, za razliku od uobičajenih prilaza, nemaju unapred zadate konstantne vrednosti, već su odgovarajuće funkcije velična tretiranih stanja [20].

Jednačine balansa (1)-(4), uz respektovanje ograničenja (5) i (6), aktuelne su i za stanja nastala nakon dejstva uređaja protivhavarijske automatike i zaštite, čija se indikacija reagovanja obavlja posebno razvijenim procedurama. Indikacija reagovanja automatskog frekventnog rasterećenja potrošača i/ili reagovanja automatske frekventne zaštite generatora obavlja se na bazi pogodno formiranog jednostavnog matematičkog modela, koji tretira dinamiku promene učestanosti u svim formiranim ostrvima [18].

U slučaju indikacije, odnosno dejstva frekventnog rasterećenja potrošača, dolazi do korekcija veličina P_{Li} i Q_{Li} u jednačinama balansa (3) i (4), saglasno predviđenom iznosu isključenja za aktivirani stepen. Kada ima indikacije delovanja frekventne zaštite generatora, dolazi do odgovarajućih korekcija veličina P_{G0i} u jednačini (1).

Takođe, navedene jednačine balansa snaga (1)-(4), uz respektovanje ograničenja (5) i (6), aktuelne su i za stanja nastala nakon odgovarajućih dispečerskih akcija. Na primer, ako se kompenzacija nastalog debalansa aktivne snage vrši aktiviranjem raspoložive rezerve u snagama generatora, to će dovesti do odgovarajućih korekcija veličina P_{G0i} u jednačini (1). Dalje, ako se sprovode redukcije potrošnje, to će dovesti do odgovarajućih korekcija veličina P_{Li} i Q_{Li} u jednačinama (3) i (4).

Kako je to naglašeno u prethodnom izlaganju, od ove metode se zahtevalo da prati, takođe *simultano* i niz stanja u procesu obnove pogona u posthavarijskim stanjima, kada je neophodno da se izvrši postupna sinhronizacija niza formiranih "ostrva", uz prethodno proučavanje i utvrđivanje svih potrebnih i dovoljnih uslova za to. Dakle, pitanje je da li jednačine balansa (1)-(4) imaju mogućnosti i za praćenje procesa reintegracije interkonekcije, u kojoj se formirao niz "ostrva"? Odgovor je da, ali ne same, već uz pomoć posebnih procedura koje proučavaju i utvrđuju sve potrebne i dovoljne uslove za nesmetanu sinhronizaciju formiranih "ostrva".

3.2. Tehnika rešavanja formiranog modela - brzi raspregnuti postupak

Kao i u slučaju matematičkog modela u kome je sačuvan integritet razmatrane interkonekcije, razvoj brzog raspregnutog postupka startovao je od primene metode Newton-Raphsona [21] na jednačine balansa (1)-(4). Dalje, uvode se odgovarajuća uprošćenja i pretpostavke, analogno kao kod razvoja procedure izložene u radu [20], koja su isključivo bile u funkciji pojednostavljenja same tehnike rešavanja.

Uvodeći ova uprošćenja i formirajući vektore $\Delta P/V$, $\Delta P_r/V$ i $\Delta Q/V$, po analogiji sa [1], dobijaju se sledeća dva raspregnuta sistema jednačina, koja se sukcesivno rešavaju (smisao uvedenih iteracionih indeksa k i l) [15]:

$$\begin{array}{c} k \\ \hline \Delta P/V \\ \hline \Delta P_r/V_r \\ \hline \end{array} = \begin{array}{cc} k & k \\ \hline H' & F' \\ \hline \end{array} \begin{array}{c} k+1 \\ \hline \Delta \theta \\ \hline \Delta(\Delta f) \\ \hline \end{array} \quad (7)$$

$$\Delta Q/V^l = L' \Delta V^{l+1} \quad (8)$$

Sistem jednačina (7) određuje vektor nepoznatih uglova θ , dimenzije $N-MI$ i vektor nepoznatih odstupanja kvazistacionarnih vrednosti učestanosti Δf , dimenzije MI , a nepoznati vektor modula napona V , dimenzije $NSV+NL$, dobija se rešavanjem sistema jednačina (8).

Elementi submatrica koeficijenata H' , F' i L' imaju sledeći oblik:

$$H'_{ii} = V_n B_{ii} \quad i \in (N \setminus MR) \quad (9)$$

$$H'_{ij} = V_n B_{ij} \quad i \in N, j \in (N \setminus MR) \quad (10)$$

$$F'_{ij} = \begin{array}{ll} -k_{p_i}/V_n & i \in (NG \cap N_j) \quad j \in MI \\ 0 & i \in (NL \cap N_j) \quad j \in MI \\ 0 & i \in N \quad j \notin MI \end{array} \quad (11)$$

Analizirajući dobijene raspregnute jednačine (7) i (8), uočava se njihova analogija sa jednačinama datim u radu [20], koje su validne za interkonekciju koja nije narušila svoj integritet. Jedina razlika je što sada, umesto jedne jedinstvene učestanosti, figuriše vektor učestanosti, čija dimenzija je jednaka broju formiranih 'ostrva'.

Dalje, analizirajući navedene relacije (9)-(13), uočava se da elementi submatrica koeficijenata H' , F' i L' imaju konstantne vrednosti za nepromenjeno stanje grafa razmatrane interkonekcije. To suštinski pojednostavljuje postupak rešavanja, a kako će se to pokazati u narednom izlaganju, to nije ugrozilo dobre karakteristike konvergencije razvijene iterativne procedure.

4 PRIMERI PRAKTIČNE PRIMENE RAZVIJENE METODE ZA PRAĆENJE TOKA DEZINTEGRACIJE I OBNOVE POGONA ELEKTROENERGETSKIH INTERKONEKCIJA

4.1. Uvodne napomene

Prva praktična iskustva u primeni razvijene metode za praćenje toka dezintegracije i obnove pogona elektroenergetskih interkonekcija, sticana su na primerima EES-a

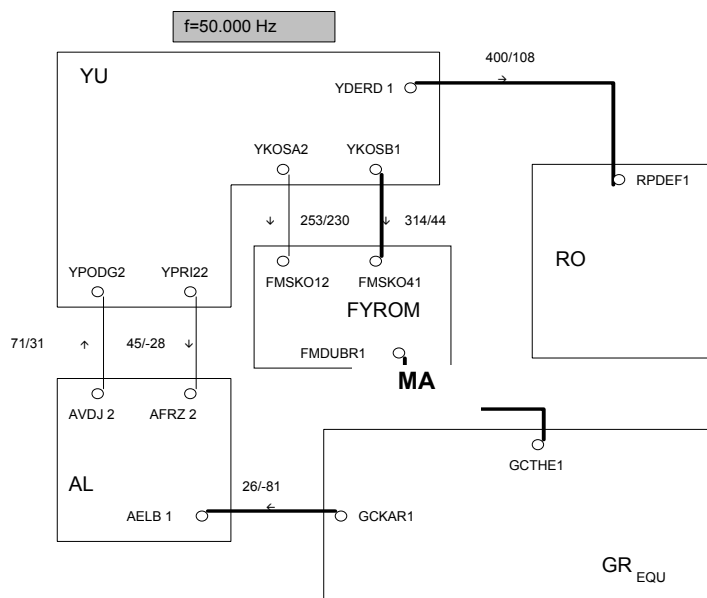
bivše Jugoslavije. Razmatrano je stanje vršnog opterećenja potrošača 1995. godine, prema podacima iz studije [22]. Obuhvaćena je kompletna 400 kV i 220 kV mreža, uključujući i povezne dalekovode sa interkonekcijom UCPTTE (tada UCPTTE, a sada UCTE), na čijim su krajevima priključeni odgovarajući statički ekvivalenti, formirani prema metodologiji prikazanoj u radu [23]. Razmatrano je više scenarija dezintegracije (naravno, hipotetičkih), a zatim i više mogućih scenarija, obnove pogona. Rezultati te primene izloženi su u radovima [16, 17], u kojima je pokazana velika numerička efikasnost razvijene metode, izražena preko veoma dobrih karakteristika konvergencije razvijenog postupka za simultano određivanje tokova snaga u nizu “ostrva”, formiranih tokom procesa dezintegracije.

4.2. Primer interkonekcije na prostorima Balkana

Naredna iskustva u primeni razvijene metode za simultano određivanje tokova snaga u nizu “ostrva”, formiranih tokom procesa dezintegracije, odnosno ponovne integracije sticana su na primeru sinhronog paralelnog rada EES-a Jugoslavije (YU), Rumunije (RO), Makedonije (MA), Grčke (GR) i Albanije (AL). Razmatrano je stanje vršnog opterećenja potrošača za 1995. godinu, prema podacima iz studije [24]. Modelovane su kompletne mreže 400 kV i 220 kV u pomenutim EES, osim u EES Grčke, gde su kompletno modelovane mreže 400 kV i 150 kV samo u njegovom severnom delu (a ostatak je predstavljen preko ekvivalenta Wardovog tipa dobijenog od grčke elektroprivrede).

4.2.1. Polazno ustaljeno stanje

Slika 1 prikazuje tokove aktivnih i reaktivnih snaga (MW/Mvar) na interkonektivnim dalekovodima u analiziranom polaznom ustaljenom stanju, pre nastanka poremećaja. U tom stanje EES Jugoslavije je izvezio 400 MW u EES Rumunije i 200 MW u EES Grčke.



Slika 1 - Tokovi snaga na interkonektivnim dalekovodima u polaznom ustaljenom stanju

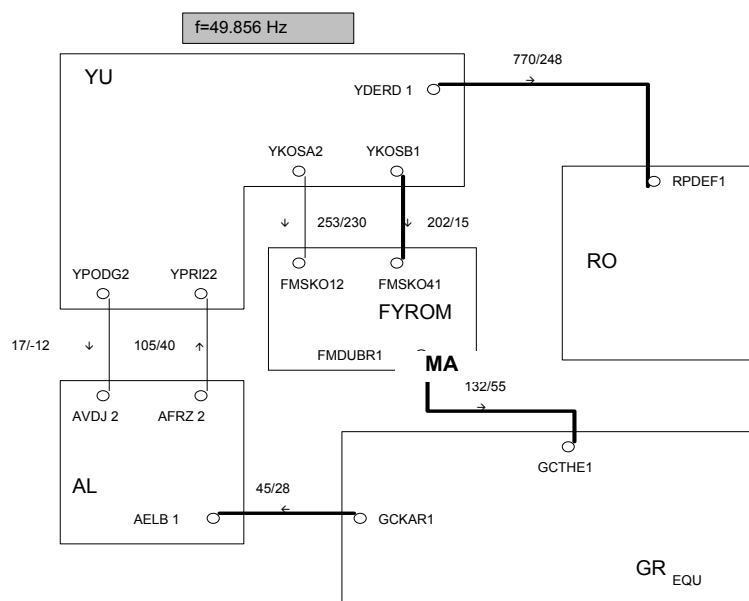
Pre prelaska na prikaz i interpretaciju dobijenih rezultata, potrebno je naglasiti da je izbor scenarija (naravno, i ovde je to bilo u domenu hipotetičnosti), odnosno polaznog ustaljenog stanja, inicijalnih poremećaja i daljeg toka prelaznog procesa, prvenstveno izvršen u cilju ilustracije mogućnosti razvijene metode i njene numeričke efikasnosti.

4.2.2. Inicijalni poremećaj koji je uslovio dezintegraciju razmatrane interkonekcije

Kao inicijalni poremećaj uzet je ispad jedinice od 800 MVA u NE Cernavoda (RO) (gubitak injektiranja od 700 MW i 250 Mvar). Taj ispad nije ugrozio tranzijentnu stabilnost razmatrane interkonekcije, koja je analizirana u studiji [24], odnosno došlo je do uspostavljanja postdinamičkog kvazistacionarnog stanja.

Kvazistacionarna vrednost učestanosti, koja se uspostavila nakon ovog ispada i dejstva primarne regulacije učestanosti, pri čemu su potrošači imali konstantnu snagu, iznosi 49.856 Hz.

Slika 2 prikazuje uspostavljeno postdinamičko stanje preko novih tokova snaga po interkonektivnim dalekovodima, do kojih je došlo dejstvom primarne regulacije učestanosti.



Slika 2 - Postdinamičko kvazistacionarno stanje uspostavljeno nakon ispada generatora od 700 MW u NE Cernavoda (RO)

Međutim analize dinamičkih stanja, koje su sprovedene u studiji [24], primenom računarskog programa PRIMCONT [19], ukazale su da će aktivna snaga na interkonektivnom dalekovodu Đerdap (YU) - Portile de Fier (RO), premašiti podešenu vrednost njegove vatmetarske zaštite (700 MW, sa vremenskim kašnjenjem od 2s), i to praktično pre stvarnog početka rada primarne regulacije učestanosti. Znači, doći će do isključenja pomenutog interkonektivnog dalekovoda, sa posledicama koje će biti elaborirane u narednom izlaganju.

4.2.3. Analiza stanja u formiranim "ostrvima"

Kao neposredna posledica isključenja pomenutog dalekovoda, formiraće se dva "ostrva", praktično odmah nakon polaznog, inicijalnog poremećaja. Prvo "ostrvo" čini EES Rumunije, a drugo, EES Jugoslavije, Makedonije, Grčke i Albanije. Tabela 1 prikazuje početne deblanse aktivne snage (MW) u formiranim "ostrvima".

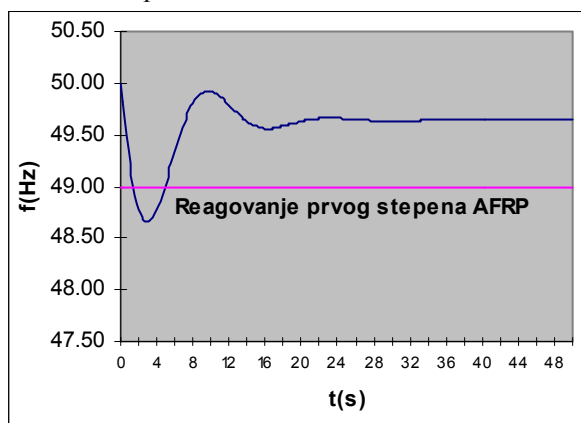
U toj tabeli, $\sum \Delta P$ predstavlja ukupne deblanse aktivne snage (po iznosu i znaku) u formiranim "ostrvima" (znak „minus“ označava nedostatak, a znak "plus", "višak" aktivne snage). Dakle, ukupni iznos debalansa je algebarski zbir gubitka injektiranja od strane generatora (ΔP_G) i potrošnje (ΔP_L), kao i debalansa, nastalog usled ispada interkonektivnog dalekovoda (ΔP_T), koji je doveo do formiranja "ostrva".

Tabela 1. Početni debalansi aktivnih snaga (MW) u formiranim "ostrvima"

Br.	Ostrvo	ΔP_G	ΔP_L	ΔP_T	$\sum \Delta P$
1	RO	-700	592.6	-400	-507.4
2	YU, MA, GR, AL	/	/	400	400

Veličina ΔP_L (592.6 MW) je iznos snage potrošača koji je isključen dejstvom prvog stepena automatskog frekventnog rasterećenja potrošača u prvom „ostrvu“, odnosno u EES Rumunije (po reagovanju prvog stepena, isključuje se 10% od specificiranog iznosa). Kako se to vidi sa slike 3, minimalna vrednost učestanosti u EES Rumunije, kada se on odvojio od ostatka interkonekcije, u početnom periodu dinamike njene promene, je iznosila 48.652 Hz. To je dovelo do dejstva prvog stepena automatskog rasterećenja potrošača, čija proradna vrednost učestanosti iznosi 49.0 Hz

Ova vrednost učestanosti od 48.652 Hz dobijena je primenom metode, koja je izložena u radu [18]. Ta metoda, kako je to pokazano, bazirana je na jednostavnom matematičkom modelu niskoga reda, koji daje dovoljno tačnu vrednost učestanosti, u početnoj fazi njene dinamike promene.



Slika 3 - Dinamika promene učestanosti u formiranom "ostrvu", koga čini EES Rumunije

Za tako formirana dva „ostrva“ (i dve vrste karakteristika potrošača), razvijena brza raspregnuta metoda (sistemi raspregnutih jednačina (7) i (8)) simultano određuje postdinamička kvazistacionarna stanja u njima. Saglasno pokazateljima iznetim u narednoj tabeli 2, to je urađeno veoma brzo i efikasno (bilo je potrebno samo nekoliko iteracija za željenu tačnost od 0.0001 Hz i 0.1 MW, odnosno Mvar). Pomenuta tabela

takođe daje i uspostavljene kvazistacionarne vrednosti učestanosti (f_m , $m \in MI$) u formiranim “ostrvima”.

Tablela 2 - Broj iteracija i kvazistacionarne vrednosti učestanosti (Hz)

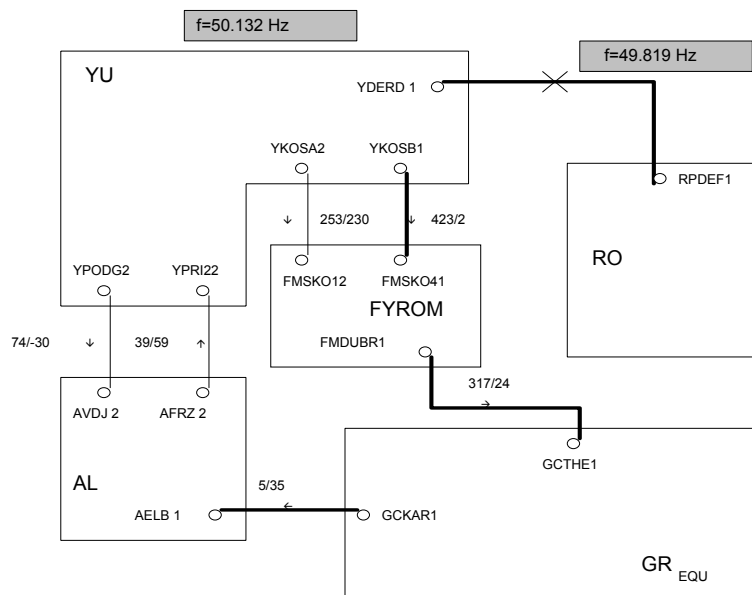
Br.	“Ostrvo”	Karakteristike potrošača.	Broj iteracija	f_m (Hz)
1	RO	(a)	6	49.819
		(b)	4	49.843
		(a)*	7	49.576
2	YU, MA GR, AL	(a)	6	50.132
		(b)	4	50.138

(a) konstantna aktivna i reaktivna snaga

(b) aktivna snaga je linearna, a reaktivna snaga je kvadratna funkcija napona; frekventna zavisnost 0.02 p.u./Hz

* - dejstvo podfrekventne zaštite potrošača nije uvaženo

Tokovi aktivnih i reaktivnih snaga (MW/Mvar) na interkonektivnim dalekovodima u uspostavljenom postdinamičkom stanju, za slučaj kada je potrošnja predstavljena preko konstantnih snaga, dati su na slici 4.



Slika 4 - Postdinamičko kvazistacionarno stanje nastalo nakon simultanog ispada jedinice od 700MW u NE Cernavoda (RO) i interkonektivnog dalekovoda 400kV Derdap (YU)-Portile de Fier (RO)

4.2.4. Tok obnove pogona interkonekcije na prostorima Balkana

Naredne analize bavile su se neophodnim dispečerskim akcijama u svakom od formiranih “ostrva”. Naravno, tu je postojala mogućnost niza različitih scenarija.

Na primer, u prvom “ostrvu”, koga čini EES Rumunije, ukupan debalans aktivne snage u iznosu od 507.4 MW (koji je “važeci” nakon dejstva prvog stepena

frekventnog rasterećenja potrošača u EES Rumunije i isključenja 592.6 MW) mogao je biti neutralisan brzim aktiviranjem raspoložive aktivne snage u HE Portile de Fier (od 750 do 1050 MW) i u HE Lotru (od 200 do 400 MW).

Nakon ovih dispečerskih akcija, novo postdinamičko kvazistacionarno stanje u ovom “ostrvu” dobija se veoma brzo (bilo je potrebno samo dve iteracije). U njemu se uspostavila učestanost u iznosu od 49.992 Hz, koja je veoma bliska nominalnoj vrednosti, što ne iznenađuje, imajući u vidu sprovedene dispečerske akcije i sam iznos ukupnog povećanja raspoložive aktivne snage u pomenutim elektranama EES Rumunije.

Međutim, interesantno je da se napomene, da u “ostrvu”, koji čini EES Rumunije, u razmatranom stanju nije moguće u potpunosti da se obnovi napajanje ukupnog konzuma, koji je bio pre poremećaja i dejstva prvog stepena automatskog frekventnog rasterećenja potrošača, jer za to nije bilo dovoljne rotacione rezerve u angažovanim izvorima. Dalje analize su pokazale, da je obnova kompletne potrošnje moguća, tek nakon restauracije razmatrane interkonekcije u celini.

U drugom “ostrvu”, koga sačinjavaju EES Jugoslavije, Makedonije, Grčke i Albanije, nastali debalans (koji je zapravo “višak” snage) mogao se, na primer, efikasno da kompezuje brзом redukcijom snage u HE Đerdap (YU) i HE B.Bašta (YU). Posle ovih dispečerskih akcija, i nakon dejstva primarne regulacije učestanosti, a zatim i dejstva sekundarne regulacije učestanosti i snaga razmene, uspostaviće se nominalna vrednost učestanosti i zadati total razmene (EES Jugoslavije izvozi 200MW u EES Grčke).

Nakon pomenutih neophodnih dispečerskih akcija (naravno, bili su mogući i drugi, takođe efikasni scenariji, za razmatrani inicijalni poremećaj), koje su se praktično svele samo na odgovarajuću korekciju angažovanja pojedinih generatora, uspostavila su se nova postdinamička kvazistacionarna stanja u formiranim “ostrvima”. U prvom “ostrvu”, uspostavljena kvazistacionarna vrednost učestanosti iznosila je 49.992 Hz, a u drugom, 50.002 Hz. Te vrednosti su dobijene metodom, izloženoj u [18].

Na taj način, u ovim uslovima, nije bilo nikakvih problema da se izvrši kompletna restauracija razmatrane interkonekcija na prostorima Balkana, jer je u daljoj proceduri bila potrebna samo sinhronizacija dva, već uravnotežena “ostrva”, što se uključenjem interkonektivnog dalekovoda Đerdap (YU) - Portile de Fier (RO), veoma lako postiglo.

5 ZAKLJUČCI

Razvijena je jedna nova metoda za simultatnu analizu kvazistacionarnih stanja u proizvoljnom broju “ostrva”, nastalih tokom procesa dezintegracije, odnosno ponovne integracije razmatrane elektroenergetske interkonekcije. Ona je bazirana na jednačinama balansa i tehnici njihovog rešavanja, koje su analogne sa procedurom koja je validna za interkonekciju, koja je sačuvala svoj integritet. Jedina razlika je u tome, što sada umesto jedinstvene vrednosti učestanosti, figuriše onoliki broj učestanosti, koji je jednak broju “ostrva”, nastalih tokom procesa dezintegracije, odnosno obnove pogona. Dakle, razvijena je jedna jednostavna iterativna procedura, koja se lako algoritmuje, sa srazmerno malim zahtevima za operativnom memorijom računara. Ona simultano određuje stanja u svakom od formiranih ostrva, zadržavajući istu polaznu numeraciju čvorova. Ne treba posebno da se naglašava koliko je takav prilaz praktičniji i racionalniji u odnosu na pojedinačnu analizu svakog od formiranih ostrva.

Višestrukost namene razvijene metode, koja spada u prilaze bazirane na analitičkim alatima (analytical tools approach), ogleda se najpre u mogućnosti njene

efikasne primene u analizama postdinamičkih kvazistacionarnih stanja elektroenergetskih interkonekcija, u kojima je došlo do formiranja niza "ostrva".

Ta višestrukost omogućuje i analize efekata dejstva uređaja protivhavarijske automatike i zaštite, kao i utvrđivanje efekata niza mogućih dispečerskih akcija. Posebna pogodnost ogleda se u njenoj mogućnosti za utvrđivanje najpovoljnijeg scenarija toka obnove pogona, ali, kako je to već naglašeno, ne u samostalnoj primeni, već uz pomoć posebnih procedura koje proučavaju i utvrđuju sve potrebne i dovoljne uslove za nesmetanu sinhronizaciju formiranih "ostrva".

Primeri njene primene u okviru interkonekcije na prostorima Balkana, koji se daju u radu, govore o njenoj praktičnosti i numeričkoj efikasnosti.

Karakteristike i svojstva prikazane metode, inkorporirane u odgovarajuće informaciono i softversko okruženje, mogle bi da budu od značajne pomoći dispečerskim službama elektroprivrednih kompanija za potrebe operativnog upravljanja i trening dispečera, a takođe mogu da budu u funkciji poboljšanja postojećih i razvoja novih procedura obnove pogona, nakon težih havarijskih stanja.

LITERATURA

- [1] Stott B., Alsac O., "Fast Decoupled Load Flow", IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-93, No. 3, May/June 1974., pp. 859-869.
- [2] Dechamps C., Nuytten R., Vankelecom J., "Constrained Low Flow - Optimum Power Flow, CLF-OPF: User guide", Systems-Europe S.A. Publication Bruxelles, 1997.
- [3] B.Stott, O.Alsac and A.Monticelli, "Security and Optimization", Proceedings of the IEEE, Vol. 75, No.12, December 1987, pp.1623-1644.
- [4] Dy Liacco T.E., "The Adaptive Reliability Control System", IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS 86, May 1967, pp. 517-531.
- [5] Cihlar T.C., Wear J.H., Ewart D.N., Kirchmayer L.K., "Electric Utility System Security", American Power Conference, Vol. 31, 1969.
- [6] Dy Liacco T.E., "Real-Time Computer Control of Power Systems", Proceedings of the IEEE, Vol. 62, July 1974, pp. 884-891.
- [7] Fink L.H., Carlsen K., "Operating under Stress and Strain", IEEE Spectrum, March 1978, pp. 48-53.
- [8] Zaborszky J., Prasad K., Keh-Wen Whang, "Operation of the Large Interconnected Power System by Decision and Control", IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-99, No. 1, January/February 1980, pp. 37-45.
- [9] Schultz R.P., Price W.W., "Clasification and Identification of Power System Emergencies", IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-103, No. 2, December 1984, pp. 3471-3479.
- [10] Glavitch H., "Security and Optimization in Power Systems", IFAC Symposium Power Systems, Brussels, 5-8. September, 1988.
- [11] Shimakura K., Inagaki J., Matsunoki Y., Ito M., Fukui S. and Hori S., "A Knowledge - Based Method for making Restoration Plan of Bulk Power System", IEEE Transaction on Power Systems, Vol.7, No.2, May 1992, pp.914-920.

- [12] Felix F.Wu and Monticelli A., "Analytical Tools for System Restoration - Conceptual Design", IEEE Transaction on Power Systems, Vol.3, No.1, February 1988, pp.10-16.
- [13] Kirschen D.S. and Volkman T.L., "Guiding a Power Restoration with an Expert System", IEEE Transaction on Power Systems, Vol.6, No.2, May 1991, pp.558-566.
- [14] Niebur D., Germond A.J., "System Static Security Assessment using the Kohonen Neural Network Classifier", IEEE Transaction on Power Systems, Vol.7, No.2, May 1992, pp.865-872.
- [15] Popović D.P., Mijailović S.V., "An Efficient Method for Evaluation of Post-Dynamic Quasi-Stationary States During the Islands Operation of Power System Parts", Stockholm Power Tech Conference, June 18-22, 1995, paper SPT PS 18-04-0486.
- [16] Popović D.P., Mijailović S.V., "Jedna efikasna metoda za analizu toka dezintegracije i reintegracije elektroenergetskih sistema", XXXVII Konferencija ETRAN, Beograd, septembar, 1993.
- [17] Popović D.P., Mijailović S.V., "Jedna efikasna metoda za simultanu analizu ostrvskog rada pojedinih delova elektroenergetskih sistema", Zbornik radova Instituta "Nikola Tesla", knjiga 9, 1991, Časopis "Elektroprivreda", br. 10.12, 1992, str. 402-407.
- [18] Popović D.P., Mijailović S.V., "Fast Evaluation of Dynamic Changes of the Electric Power Systems Frequency during Primary Control", International Journal of Electric Power and Energy Systems, Vol. 19, No. 8, November 1997., pp. 525-532.
- [19] Popović D.P., Mijailović S.V., "Fast Evaluation of Dynamic Changes of the Electric Power Systems Frequency during Primary Control", International Journal of Electric Power and Energy Systems, Vol. 19, No. 8, November 1997., pp. 525-532.
- [20] Popović D.P. "An Efficient Methodology for Steady-State Security Assessment of Power Systems", International Journal of Electric Power and Energy Systems, Vol. 10, No. 2, April 1988, pp. 110-116.
- [21] Tinney W.F., Hart C., "Power Flow Solution by Newton's Method", IEEE Transaction, Vol. PAS 86, November 1967., pp. 1449-1460.
- [22] "Studija razvoja prenosne mreže Jugoslavije do 2000. godine, sa osvrtom na 2010 godinu", Studija Instituta za elektroprivredu, Zagreb, Elektroinštitut "Milan Vidmar", Ljubljana i Institut "Nikola Tesla", Beograd, 1991. god.
- [23] Strezoski V.C., Levi V.A. i Popović D.P., "Primena statičkih ekvivalenata za analizu sigurnosti jugoslovenskog elektroenergetskog sistema u okviru zapadnoevropske interkonekcije", VIII Savetovanje o upravljanju i informatici u elektroprivredi Jugoslavije", Cavtat, 06.-09. novembar, 1990.
- [24] Study "Technical and Energy Aspects of Parallel Synchronous Operation of the Romanian Electric Power System RENEL within the European Electric Power Systems Interconnection UCPTE, Part IV: Dynamic Calculation", Romanian Corporation, Romania, Public Power Corporation, Greece, Nikola Tesla Institute, Energy Dispatching Center, Yugoslavia, October, 1994

Abstract: This paper presents the development and practical examples of an efficient method for the simultaneous analysis of post-dynamic quasi-stationary states in an arbitrary number of islands resulting from power system disintegration and the ensuing reintegration of the power interconnection under consideration. This method uses a unique numerical procedure, retaining the same node numeration, which existed in the power system before its disintegration. At the same time, the developed method enables a simple incorporation of the effects of primary frequency and voltage control, emergency control devices and a series of possible dispatch actions, both during the monitoring of the disintegration process and during power system restoration with island synchronization, if the necessary conditions are met. The practical and numerical efficiency of method proposed is demonstrated on an example of interconnection on Balkan spaces.

Keywords: method, disintegration, restoration, interconnection, Balkan

**A METHOD FOR EVALUATION OF DESINTEGRATION AND
RESTORATION PROCESSES OF ELECTRIC POWER
INTERCONNECTIONS**

Dragan P. Popović