

# Računarski program za analize statičkih i dinamičkih stanja elektroenergetskih interkonekcija

Dragan P. Popović, Milan Ivanović, Saša Minić

Centar za elektroenergetske sisteme  
Elektrotehnički institut Nikola Tesla  
Beograd, Srbija

dpopovic@ieent.org, mivanovic@ieent.org, saminic@ieent.org

*Sadržaj* - U radu su izložene karakteristike i mogućnosti računarskog programa za analize statičke i dinamičke sigurnosti elektroenergetskih interkonekcija, koji je razvijen u Institutu "Nikola Tesla". Analize statičke sigurnosti bazirane su na modelima tokova snaga u karakterističnim postdinamičkim stanjima. Analize dinamičke sigurnosti obuhvataju prelazna stanja kratkog, srednjeg i dugog trajanja. U analizama kratkotrajne dinamike, dominiraju aspekti tranzijentne (ne)stabilnosti, a u analizama srednjetrojajne dinamike, aspekti primarne regulacije učestanosti. U okviru analiza dugotrajne dinamike, prate se rad i efekti automatske sekundarne regulaciju učestanosti i snage razmene i tercijarne regulacije učestanosti. U završnom poglavlju, dati su neki od karakterističnih primera primene ovog računarskog programa.

*Ključne riječi* - računarski program, statička i dinamička sigurnost, kratkotrajna, srednjetrojajna, dugotrajna dinamika, primarna, sekundarna i tercijarna regulacija učestanosti

## I. UVOD

Obezbeđenje potrebnog nivoa sigurnosti rada savremenih elektroenergetskih sistema (EES), odnosno elektroenergetskih interkonekcija (EI) u kojima se oni nalaze, i dalje ima izuzetan praktičan značaj i aktuelnost. Stoga, analize sigurnosti (statičke i dinamičke) imaju i dalje jedno od centralnih mesta u savremeno koncipiranim EMS (Energy Management Systems). Fenomenološki, kao i metodološki gledano, analize sigurnosti EES dele se na dve osnovne grupe: *statičke* i *dinamičke* analize sigurnosti.

U analizama *statičke sigurnosti*, posledice analiziranih poremećaja utvrđuju se na bazi procene postdinamičkih kvazistacionarnih stanja, pomoću odgovarajućih modela tokova snaga. Ovi modeli samo impliciraju dinamički prelazni proces, koji se neminovno javlja nakon poremećaja. Njihova sposobnost za više ili manje tačnom procenom uspostavljenih postdinamičkih kvazistacionarnih stanja zavisi od same vrste modela tokova snaga (konvencionalni ili nekonvencionalni) i od načina odgovarajućeg inkorporiranja efekata postojeće sistemske automatike, regulacije i zaštite.

U analizama *dinamičke sigurnosti* obavljaju se najpre analize statičke stabilnosti, u kojima se kvantifikuju efekti nastalih nakon tipičnih "malih regularnih poremećaja" (na primer, simultana promena ukupne aktivne i reaktivne snage potrošača). U okviru ove grupe analiza prate se tok i efekti kratkotrajnih, brzih dinamičkih procesa trajanja i do 10 s (između ostalog,

obuhvaćeni su aspekti tranzijentne (ne)stabilnosti). Zatim, prate se tok i efekti srednjetrojajnih (od 10 s do 60 s) i dugotrajnih (i do 20 min) dinamičkih procesa. U okvir ovih analiza spadaju i analize kako samog rada, tako i finalnih efekata *primarne*, *sekundarne* i *tercijarne* regulacije učestanosti i snaga razmene.

U ovom radu su, u okviru raspoloživog prostora, izložene karakteristike i mogućnosti računarskog programa za analize statičke i dinamičke sigurnosti elektroenergetskih interkonekcija. Njegov naziv je *ASTADINS (Analize STATičke i DINamičke Sigurnosti)*, odnosno *ASTEDYNS (Analisis of STEady-state and DYNamic Security)*, za internacionalnu upotrebu.

Ovaj računarski program je rezultat višegodišnjeg rada, čiji je finalni rezultat oblikovan tokom rada na Inovacionom projektu, pod naslovom - "*Razvoj jedinstvenog računarskog programa za analize statičke i dinamičke sigurnosti elektroenergetskih interkonekcija*" - Evidencioni br 451-03-2372 - IP Tip 1/69. Projekat je finansiran od Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije, a u njegovoj realizaciji, pored Instituta "Nikola Tesla", učestvuje i ICEF - Inovacioni centar Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu.

Opšti cilj pomenutog projekta je da se pomoću razvijenog računarskog programa omogući odgovarajućim službama u Elektroprivredi Srbije i Elektromreži Srbije da pravovremeno i efikasno prate, analiziraju i unapređuju razvoj, eksploataciju i upravljanje EES-a Srbije, uz striktno zadovoljenje sopstvenih pravila i aktuelnih kriterijuma, zahteva, standarda i procedura interkonekcije UCTE (koja je prenela nadležnosti na asocijaciju ENTSO-E (*European Network of Transmission System Operators for Electricity*)). Odnosno, opšti cilj ovog projekta je podizanje kvaliteta u isporuci električne energije, a samim tim i podizanje nivoa energetske efikasnosti.

Takođe, ovaj računarski program je dalje razvijan u okviru studije "*Sistemske parametri regulacije pobude i turbinske regulacije u elektranama EPS-a (faza I)*", koju Institut "Nikola Tesla" radi za potrebe Elektroprivrede Srbije. U pitanju je bilo utvrđivanje strukture i parametara modela, vezanih za primarnu regulaciju napona i učestanosti, i sekundarnu i tercijarnu regulaciju učestanosti, uvažavajući aktuelno stanje u EES Srbije.

U ovom radu su najpre ukratko izloženi metodološki i praktični aspekti analiza statičke i dinamičke sigurnosti, a zatim opis karakteristika i mogućnosti razvijenog računarskog programa *ASTADINS*, utvrđenih na primeru realne interkonekcije.

## II. METODOLOŠKI I PRAKTIČNI ASPEKTI ANALIZA SIGURNOSTI

### A. Metodološki i praktični aspekti analiza statičke sigurnosti

Metodološki i praktični aspekti vezani za analize statičke sigurnosti, nalaze se u referencama [1] - [7], na bazi kojih je u Institutu "Nikola Tesla", razvijen program *STATNTC*. Posledice analiziranih poremećaja utvrđuju se na bazi rezultata proračuna tokova snaga u karakterističnim postdinamičkim kvazistacionarnim stanjima. U pitanju su nekonvencionalni modeli tokova snaga [5], [6], koji obuhvataju stanja nastala nakon dejstva *primarne* regulacije napona i učestanosti, stanja nastala nakon dejstva *sekundarne* regulacije učestanosti i snage razmene i stanja nastala nakon preduzetih dispečerskih akcija (*tercijarna* regulacija), ako su one bile neophodne.

Tehnika rešavanja je bila bazirana na metodi Newton - Raphsona, da bi se, nakon uvođenja opravdanih uprošćenja i pretpostavki pri formiranju aktuelnih matrica koeficijenata, izvršio razvoj brzih postupaka sa razdvajanjem varijabli tokom pojedine iteracije [5]. Ovi nekonvencionalni modeli tokova snaga i tehnike njihovog rešavanja se veoma efikasno koriste i pri određivanju tokova snaga u različitim polaznim ustaljenim stanjima [2], [7], čime je omogućena potpuna autonomnost ("samopokretanje"), efikasnost i uniformnost daljih analiza sigurnosti.

### B. Metodološki i praktični aspekti analiza dinamičke sigurnosti

Za potrebe praćenja prelaznih procesa relativno dužeg trajanja, kada se zahteva i praćenje stanja u pojedinim (ili svim) elementima EES, tokom odvijanja prelaznog procesa (a što najčešće korišćene u praksi uprošćene metode evidentno nisu u stanju), neophodni su stroži prilazi. U njima je neophodno modelovati kompletnu električnu mrežu EES i sve njegove relevantne komponente, uključujući odgovarajuće regulacione i zaštitne uređaje.

U radu na ovoj problematici, u Institutu "Nikola Tesla" razvijena je jedna metodologija i program *PRIMCONT* za strože praćenje prelaznih procesa relativno dužeg trajanja, koja omogućava i praćenje toka i efekata primarne regulacije učestanosti. Detaljniji prikaz metodoloških i praktičnih aspekata, vezanih za računarski program *PRIMCONT*, nalazi se u referencama [8] - [13].

Ova metodologija omogućuje praćenje prelaznog procesa EES, nastalog nakon tipičnih poremećaja (pojava većih debalansa snaga) sa aspekta analize dinamike promene učestanosti, uz tretiranje individualne dinamike svake od sinhronih mašina. Uz određivanje dinamike promene njihovih sopstvenih učestanosti, prati se kretanje tzv. "centra inercije" kompletnog EES, koje je indikativno za sagledavanje globalnih efekata primarne regulacije učestanosti. Takođe, prate se i stanja na svim relevantnim elementima tokom odvijanja prelaznog elektromehaničkog procesa (aktivne i reaktivne snage, struje i fazori napona), čime se dobija detaljan uvid u sam tok odvijanja prelaznog procesa, odnosno i procesa primarne regulacije učestanosti.

Jednačine balansa su formirane preko prirodnih fizičkih veličina, injektiranih aktivnih i reaktivnih snaga, respektujući

suštinska svojstva kratkotrajnih [11] i dugotrajnih [10] dinamičkih procesa, koji se odvijaju u prirodnom kontinuitetu [12]. Za rešavanje tako koncipiranih matematičkih modela, uvodeći opravdana uprošćenja kod formiranja odgovarajućih matrica Jakobijana, koja proizilaze iz same "fizike" tretiranih fenomena i strukturnih osobina EES, razvijeni su brzi, veoma konvergentni postupci sa razdvajanjem varijabli tokom pojedine iteracije [11], [12].

Sušтина uvedenih unapređenja, najpre se svodi na striktno respektovanje same fizičke prirode i toka odvijanja analiziranog elektromehaničkog prelaznog procesa. Naime, konsekvantno se modeluje kratkotrajni dinamički proces, nastao neposredno nakon pojave debalansa, u kome dominira individualna dinamika sinhronih mašina, kao i dalji tok prelaznog stanja, u kome je već uspostavljena jedinstvena učestanost EES [12]. Prelazak sa jedne vrste dinamike na drugu, različitih po karakteru i trajanju, obavlja se automatski po zadovoljenju unapred zadatih kriterijuma (praktično uspostavljena sinfazono kretanja rotora angažovanih sinhronih generatora i završetak prelaznih stanja u njihovim sistemima regulacije pobude).

U kategoriju osobenosti računarskog programa *PRIMCONT* spada i razvijeni posebni prilaz numeričkoj integraciji aktuelnih diferencijalnih jednačina, koji respektuje "fiziku" rešavanog problema. U pitanju je nestandardni prilaz numeričkoj integraciji aktuelnih diferencijalnih jednačina, koji se obavlja brzo i efikasno, posredstvom rekurentne primene jednostavnih raspregnutih diferencijalnih jednačina [8], [9].

## III. RAČUNARSKI PROGRAM *ASTADINS*

### A. Metodološki aspekti

U računarskom programu *ASTADINS* koristi se deo računarskog programa *STATNTC*, vezan za identifikaciju i verifikaciju polaznog stanja, uz veoma široku dijagnostiku vezanu za proveru tačnosti i harmonizaciju relevantnih ulaznih podataka. Određivanje polaznog ustaljenog stanja razmatrane EI može se obaviti dva načina. U prvom, određivanje tokova snaga se obavlja za unapred zadati "vozni red" angažovanih izvora, a u drugom načinu, to se radi za posebno specificirane razmene između EES u razmatranjoj interkonekciji.

Kako je to već bilo rečeno, računarski program *ASTADINS* je dalje razvijan i u okviru studije "*Sistemska parametri regulacije pobude i turbinske regulacije u elektranama EPS-a (faza I)*". U pitanju je bilo dalje proširenje i unapređenje računarskog programa *PRIMCONT*, koja su se odnosila na inkorporiranje sekundarne i tercijarne regulacije učestanosti. U daljem tekstu, za sekundarnu regulaciju biće korišćena skraćenica AGC (*Automatic Generation Control*).

To inkorporiranje je u potpunosti respektovalo postojeće stanje ove regulacije u EES Srbije, u njegovom širokom okruženju. U pitanju je SMM regulacioni blok (skraćenica od engleskog naziva Srbije, Makedonije i Crne Gore), pri čemu je JP EMS preuzelo poslove koordinatora bloka od EKC. O svemu tome, detaljnije je bilo reči u radu [14]. Zatim, u pitanju je bilo utvrđivanje strukture i parametara modela, vezanih za primarnu regulaciju napona i učestanosti, i sekundarnu i tercijarnu regulaciju učestanosti, uvažavajući aktuelno stanje u EES Srbije. A kako je to urađeno, govore reference [15]-[20].

## B. Kraći opis računarskog programa ASTADINS

Na bazi prethodno rečenog, u Institutu "Nikola Tesla", razvijen je modularno organizovani računarski program *ASTADINS*, koji, pored glavnog programa, ima 91 potprograma tipa *subroutine*. Program komunicira sa 24 ulazne datoteke, a dobijeni rezultati se prezentuju u okviru 36 izlaznih datoteka.

U razvoju ovog računarskog programa primenjen je *Visual Fortran Professional Edition 6.0.0*. Omogućeno je tretiranje interkonekcija sa 10 000 čvorova, 30 000 grana, 2 000 generatora, 4 000 transformatora i 200 regulacionih basena. Interaktivan rad je omogućen razvojem posebne aplikacije za unos podataka, koji se prosleđuju programu, kao i za prikaz dobijenih rezultata. Za razvoj aplikacije korišćen je *Microsoft Visual Studio 6, Professional Edition*.

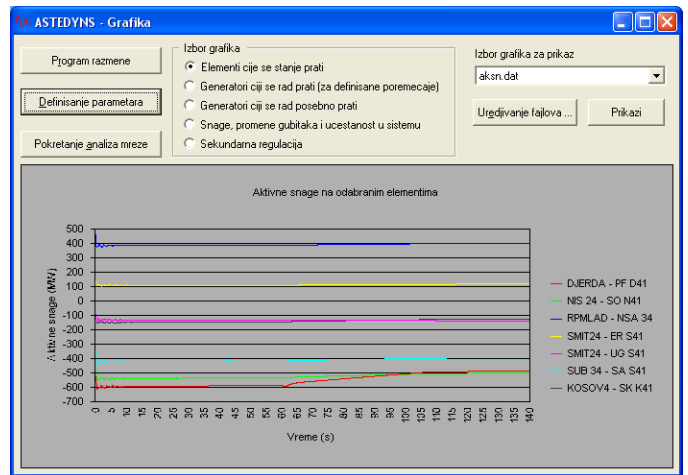
Na sl. 1 dat je prikaz osnovne radne površine razvijene aplikacije. U zaglavlju radne površine nalaze se tasteri za izbor osnovnih opcija rada programa *ASTADINS*. Izabrani rezultati proračuna se prikazuju u donjem delu radne površine, u formi vremenskih dijagrama.

Na sl. 2 prikazan je izgled obrasca za definisanje programa razmene između EES u razmatranoj EI, a na sl.3 izgled obrasca za definisanje relevantnih parametara proračuna (način rada sekundarne regulacije, trajanje simulacije, početni korak numeričke integracije, liste elemenata čije se stanje prati). Obrazac za definisanje poremećaja je prikazan na sl. 4.

Korisniku ovog programa omogućeno je utvrđivanje toka i efekata sledećih poremećaja: jednostruki i višestruki ispadi proizvodnih jedinica i njihove različite kombinacije; ispadi potrošačkih područja; ispadi elemenata sistema; različite kombinacije jednostrukih i/ili višestrukih ispada proizvodnih jedinica i elemenata; simultana promena ukupne aktivne i reaktivne snage potrošača u razmatranom EES.

Korisniku je omogućeno da, za unapred specificirani vremenski period praćenja prelaznog procesa, prati promene sledećih, grafički interpretiranih, veličina: aktivne i reaktivne snage i struje na odabranim elementima, napona na odabranim čvorovima, jedinstvene učestanosti razmatrane interkonekcije i uglova odabranih generatora. Dalje, omogućeno je praćenje promena sledećih, takođe grafički interpretiranih, veličina: ukupnih električnih i mehaničkih snaga i debalansa na nivou razmatrane interkonekcije, ukupnih električnih i mehaničkih snaga, debalansa i rotacione rezerve na nivou EES od interesa, ukupnih električnih i mehaničkih snaga i debalansa na nivou susednih EES i ukupnih gubitaka aktivne snage. Termin, EES od interesa, je uveden za EES koji se observira (u našem slučaju, to je EES Srbije).

Dalje, korisniku je omogućeno da prati sam rad i funkcionisanje AGC, preko odgovarajućih izlaznih datoteka, u kojima se registruju svi relevantni pokazatelji. Ujedno, omogućena je pregledna grafička interpretacija rada ove regulacije, praćenjem promena sledećih veličina: snage razmene i regulacione greške regulacionog SMM bloka, snaga razmene i regulacionih grešaka svih regulacionih basena u interkonekciji, električnih i mehaničkih snaga i regulacionih grešaka regulacionih elektrana u SMM bloku.



Slika 1. Izgled osnovnog obrasca programa *ASTADINS*

Izvozi	Uvozi	Snaga [MW]
Bugarska	Srbija	200.00

Slika 2. Izgled obrasca za definisanje programa razmene

Slika 3. Izgled obrasca za definisanje relevantnih parametara za proračun

Slika 4. Izgled obrasca za definisanje poremećaja

Rad računarskog programa *ASTADINS* se završava u slučaju regularnog rada AGC i njegovog prirodnog završetka. To je za slučaj postojanja dovoljne regulacione rezerve. Po želji korisnika, odvijanje programa se može zaustaviti u slučaju kada je iscrpljena postojeća regulaciona rezerva, a nije neutralisana regulaciona greška, kao i u slučaju blokade rada AGC.

U slučaju SMM regulacionog bloka, ukoliko je regulaciona greška regulacionog basena ACE (*Area Control Error*) veća od  $\pm 200$  MW, dolazi do pauziranja rada AGC i, ako to traje više od 60 sekundi, rad AGC se suspenduje. Ako je AGC suspendovan, aktivira se ručnom akcijom dispečera, a ako je pauziran, aktivira se automatski nakon povratka ACE u dozvoljeni opseg, a da ta pauza nije trajala više od 60 sekundi. Dakle, da bi se omogućio povratak ACE u dozvoljeni opseg, neophodne su dispečerske akcije, odnosno da se izvrši tercijarna regulacija učestanosti.

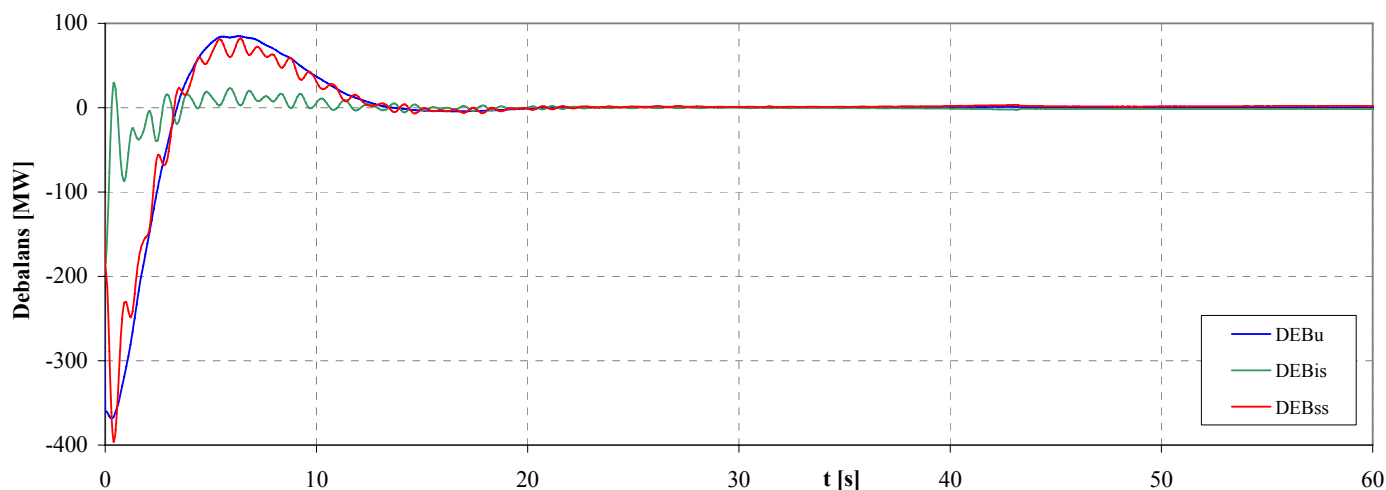
U oba ova slučaja bila bi neophodna tercijarna regulacija. Takođe, po želji korisnika, u oba ova slučaja, moguć je dalji rad računarskog programa *ASTADINS*, automatskim uključanjem modula *TERC*, koji obavlja tercijarnu regulaciju učestanosti, na način opisan u [14].

#### IV. PRIMERI PRAKTIČNE PRIMENE RAČUNARSKOG PROGRAMA *ASTADINS*

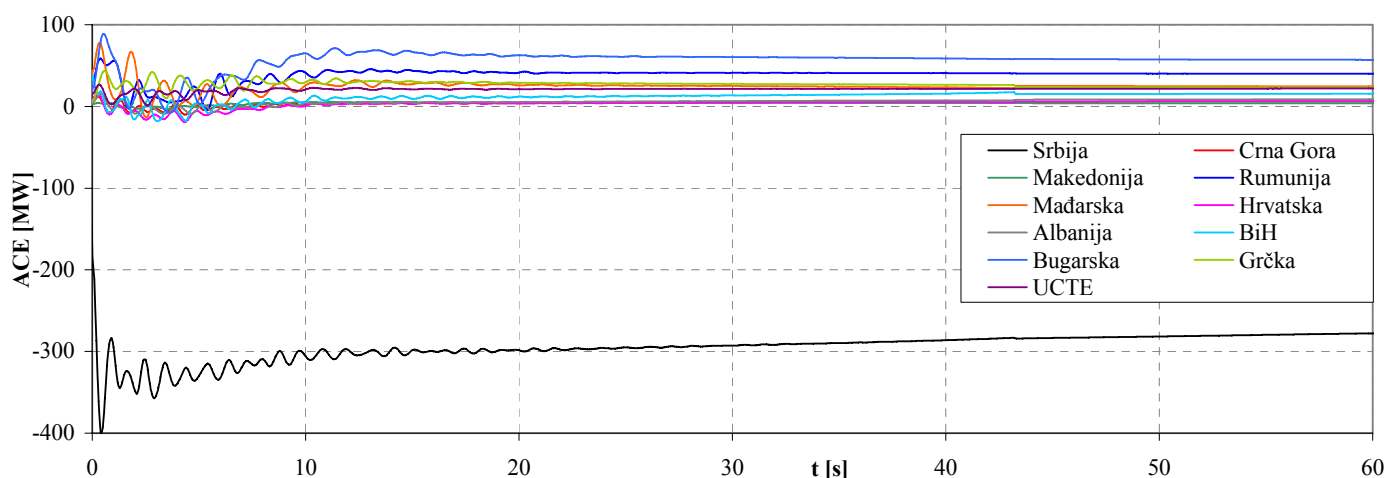
Testiranje softvera *ASTADINS* obavljeno je, i dalje se obavlja, na formiranom regionalnom modelu mreže, koji uključuje sledeće EES: Srbije, Crne Gore, Bosne i Hercegovine, Hrvatske, Mađarske, Makedonije, Rumunije, Bugarske, Grčke i Albanije. Izvršeno je i odgovarajuće modelovanje ostatka interkonekcije UCTE. Kao karakterističan primer za blokadu rada sekundarne regulacije je slučaj ispada generatora u TE Nikola Tesla B1 (350.0 MW i 142.7 Mvar za maksimalno stanje EES Srbije, ostvareno 31. decembra 2010. godine u 17:30 h).

Rad AGC, sa prethodno opisanim karakteristikama i načinom rada, počinje da pauzira nakon 0.10 s od nastanka poremećaja, a nakon isteka 60.10 s, došlo bi i do blokade tog rada. Izabrana je opcija rada *PRSETECONT*, pri kojoj se, po konstataciji blokade, zaustavlja njegov dalji rad.

Neki od karakterističnih rezultata grafički su interpretirani na slikama 5 i 6. Slika 5 daje promene ukupnog debalansa na nivou interkonekcije (DEBu), debalansa na nivou EES Srbije (DEBis) i debalansa na nivou susednih EES (DEBss). Promene regulacionih grešaka EES u razmatranjoj interkonekciji (ACE) prikazane su na slici 6.



Slika 5. Promene debalansa u razmatranjoj interkonekciji



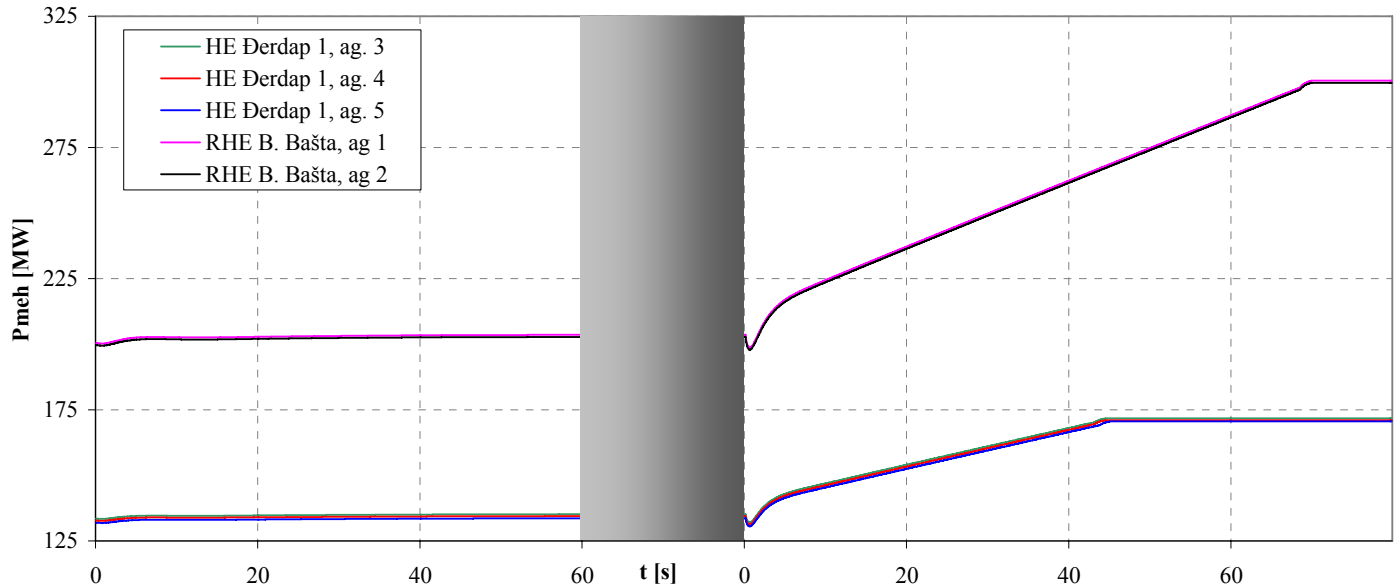
Slika 6. Promene regulacionih grešaka EES u razmatranjoj interkonekciji

Rezultati prikazani na slikama 5 i 6 na pregledan način ilustruju samu "fiziku" analiziranog prelaznog procesa, u kome dominiraju (pozitivni) efekti primarne regulacije učestanosti razmatrane interkonekcije. Ujedno, ti rezultati ukazuju na neophodnost aktiviranja tercijarne regulacije EES Srbije.

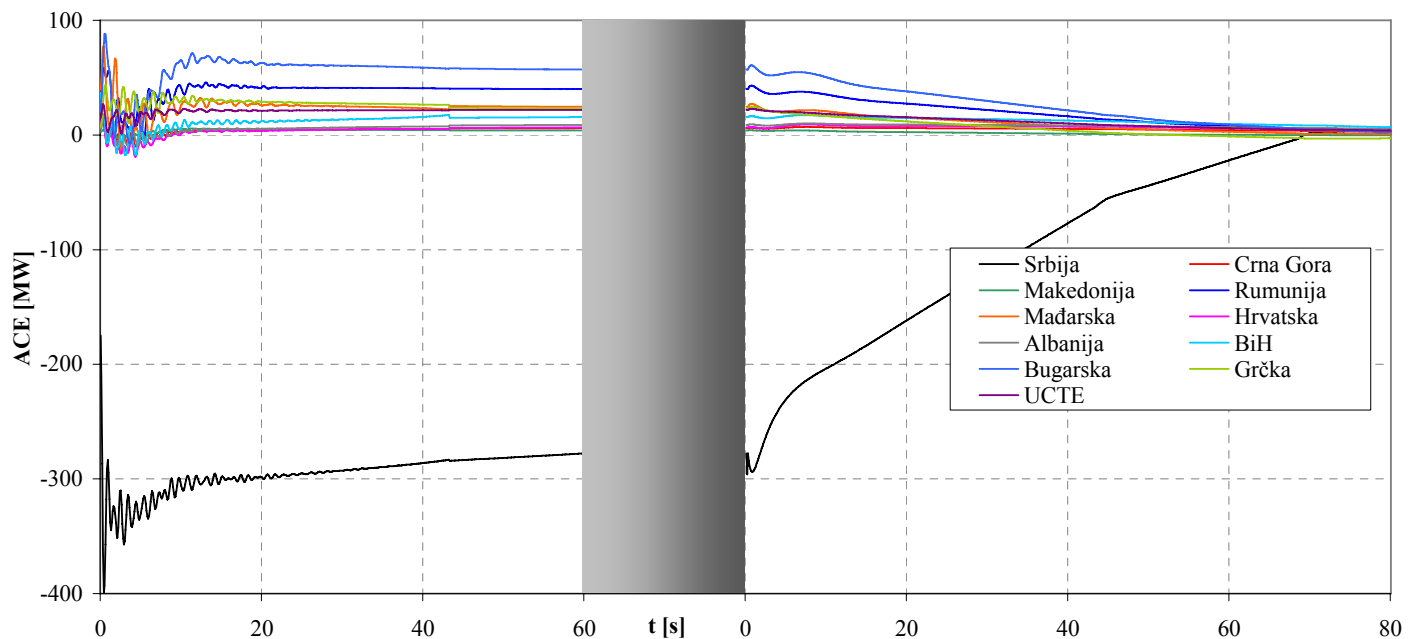
Za prethodno razmatrani slučaj ispada generatora u TE Nikola Tesla B1, izabrana je opcija rada *ASTADINS* pri kojoj se njegov rad nastavlja, po konstataciji blokade rada AGC. Tada se njegov modul TERC [14] automatski uključuje. U trenutku blokade, nekompezovana regulaciona greška EES Srbije je iznosila -295.99 MW, vrednost koja definiše koliko je potrebno da se u tercijarnoj regulaciji "podigne" snaga generisanja u EES Srbije. U ovom primeru, za te svrhe, u posebnoj ulaznoj datoteci, unapred su specificirani generatori koji su već

bili angažovani. U pitanju su generatori 3, 4 i 5 u HE Djerdap 1 i oba generatora u RHE B.Bašta, koji su imali rotacionu rezervu u ukupnom iznosu od 303.78 MW, koja je za 7.80 MW prevazilazila utvrđenu nekompezovanu regulacionu grešku.

Neki od karakterističnih rezultata grafički su interpretirani na slikama 7 i 8. Na slici 7 su prikazane promene mehaničkih snaga generatora koji učestvuju u tercijarnoj regulaciji, a na slici 8 promene regulacionih grešaka EES u razmatranoj elektroenergetskoj interkonekciji. Pri tom, treba napomenuti, da je na slikama 7 i 8 ponovljen prelazni proces do blokade rada AGC; pauza, koja bi odgovarala vremenskom periodu potrebnom za dodatno angažovanje pomenutih generatora je naznačena na odgovarajući način. Iza te pauze, daju se efekti njihovog aktiviranja.



Slika 7. Promene mehaničkih snaga generatora koji učestvuju u tercijarnoj regulaciji



Slika 8. Promene regulacionih grešaka EES u razmatranoj interkonekciji, uključujući i period aktiviranja tercijarne regulacije učestanosti

## V. ZAKLJUČCI

U radu su prikazane karakteristike i mogućnosti računarskog programa, razvijenog u Institutu "Nikola Tesla", koji je namenjen za analize statičke i dinamičke sigurnosti elektroenergetskih interkonekcija. Na primeru realne interkonekcije, utvrđena je upotrebnost vrednosti ovog računarskog programa.

### LITERATURA

- [1] Popović D.P., Dobrijević Đ., "Jedna metoda za brzu selekciju kritičnih poremećaja u studijskim analizama statičke sigurnosti elektroenergetskih sistema", časopis "Elektroprivreda", br.1, 2000, str.18-29.
- [2] Popović D.P., "Određivanje tokova snaga u polaznim ustaljenim stanjima u analizama sigurnosti elektroenergetskih sistema", časopis "Elektroprivreda", br.2, 2000, str. 13-26.
- [3] Popović D.P., "Automatizovani proračun graničnih prenosnih kapaciteta elektroenergetskih interkonekcija", časopis "Elektroprivreda", br.4, 2003, str. 5-17.
- [4] Popović D.P., "Praktični aspekti automatizovanog proračuna graničnih prenosnih kapaciteta elektroenergetskih interkonekcija", časopis "Elektroprivreda", br.1, 2004, str. 5-16.
- [5] Popović D.P., "Statička sigurnost elektroenergetskih interkonekcija", monografija, Institut "Nikola Tesla", Beograd, ISBN 86-83349-03-9, jun 2004., str.170.
- [6] Popović D.P., "Automatic Cross-Border Transmission Capacity Calculation in Electric Power Interconnections", FACTA UNIVERSITATIS, Series: Electronics and Energetics, vol. 22, No. 1, April 2009, pp. 49-60.
- [7] Popović D.P., "An Efficient Unified Methodology for Steady-State Security Assessment of Electric Power Interconnection", International Review of Electrical Engineering, Vol.5, No.1, January-February 2010., pp. 241-249.
- [8] Popović D.P., "An Approach to the Evaluation of Electromechanical Transient Processes in Power Systems", Electric Power Systems Research, Vol.7, No.2.1984, pp 141-151.
- [9] Popović D.P., "A Simple and Reliable Procedure for the Evaluation of Short-term Dynamic Processes in Power Systems", Int. Journal of Electrical Power and Energy Systems, Vol. 8, No.4, October, 1986, pp 195-204.
- [10] Popović D.P., "An Efficient Decoupled Procedure for Solving the Load-flow Problems During Long-term Dynamic Processes in Power Systems", Int. Journal of Electrical Power and Energy Systems, Vol.9 No.3, July, 1987, pp 173-179
- [11] Popović D.P., Stefanović M., "A Fast Network Solution by the Decoupled Procedure During Short-term Dynamic Processes in Power Systems", Int. Journal of Electrical Power and Energy Systems, Vol. 12, No. 1, January 1990, pp 25-30
- [12] Popović D.P., Mijailović S., "An Efficient Methodology for the Analysis of Primary Frequency Control of Electric Power System", Int. Journal of Electrical Power and Energy Systems, Vol. 22, 2000, pp 331-341.
- [13] Popović D.P., "Dinamička sigurnost elektroenergetskih interkonekcija", monografija, Institut "Nikola Tesla", Beograd, ISBN 978-86-83349-07-4, jun 2008. godine, str.255.

- [14] Popović D.P., Ivanović M., Minić S., "Primarna, sekundarna i tercijarna regulacija učestanosti u analizama dinamičke sigurnosti elektroenergetskih interkonekcija", prihvaćen za objavljivanje u časopisu "Elektroprivreda"
- [15] Popović D.P., Ivanović M., Stojić Đ., Veinović S., Milinković M., Arnatović D., Minić S., "Koeficijent statizma regulacije napona generatora i naponsko-reaktivna stanja prenosnih mreža", prihvaćen za objavljivanje u časopisu "Elektroprivreda"
- [16] Ivanović M., Popović D.P., Minić S., "Statizam regulacije napona generatora u analizama dinamičke sigurnosti prenosnih mreža", prihvaćen za objavljivanje u časopisu "Tehnika-Elektrotehnika"
- [17] Popović D.P., Ivanović M., Stojić Đ., Veinović S., Minić S., "Dinamički aspekti uvažavanja statizma regulacije napona generatora u analizama naponsko-reaktivnih stanja prenosnih mreža", 15 simpozijum - Upravljanje i telekomunikacije u elektroenergetskom sistemu, Donji Milanovac, 16-18. oktobar 2012., referat C2 06.
- [18] Ivanović M., Popović D.P., Stojić Đ., Veinović S., Joksimović D., Minić S., "Modeli sistema regulacije pobude generatora u analizama dinamičke sigurnosti elektroenergetskih interkonekcija", Zbornik radova Instituta "Nikola Tesla", Beograd, Knjiga 22, 2012., str. 69-92.
- [19] Ivanović M., Popović D.P., Arnatović A., Bogdanović S., Džepčeski D., Dragosavac J., J.Pavlović J., Minić S., "Modeli hidropostrojenja u analizama dinamičke sigurnosti elektroenergetskih interkonekcija", Zbornik radova Instituta "Nikola Tesla", Beograd, Knjiga 22, 2012., str. 43-68.
- [20] Popović D.P., Ivanović M., Minić S., Masnikosa V., "Modeli termopostrojenja u analizama dinamičke sigurnosti elektroenergetskih interkonekcija", časopis "Elektroprivreda", br. 2, 2011., str.111-125.

### ABSTRACT

This paper presents characteristics and practical features of a computer program for steady-state and dynamic states analysis of electric power interconnections, which has been developed at the Institute Nikola Tesla. Steady-state security analysis are based on the appropriate power flow models for distinctive post dynamic states. Dynamic security analysis include short, medium and long term transients. Aspects of transient (in)stability are dominant in the analysis of short-term dynamics, while aspects of primary frequency control are dominant in the analysis of mid-term dynamics. Within analysis of long-term dynamics, operation and effects of AGC and tertiary frequency control are being monitored. Application of this program is illustrated on some distinctive examples, and results are presented in the last chapter.

**Key words:** *computer program, steady-state and dynamic security, short, mid and long term dynamic, primary, secondary and tertiary frequency control*

### COMPUTER PROGRAM FOR STEADY-STATE AND DYNAMIC STATES ANALYSIS OF ELECTRIC POWER INTERCONNECTIONS

Dragan P.Popović, Milan Ivanović, Saša Minić