



A1 05

**IZBOR OPTIMALNE RADNE TAČKE RAZLIČITIH GENERATORA POVEZANIH
NA ISTE VISOKONAPONSKE SABIRNICE PREKO BLOK-TRANSFORMATORA
RAZLIČITIH PRENOSNIH ODNOSA**

JASNA DRAGOSAVAC*, JELENA NIKOLIĆ, DEJAN ŽUKOVSKI**, ZLATKO
SIMEUNOVIĆ **,
ŽARKO JANDA*, JELENA PAVLOVIĆ*, SAVA DOBRIČIĆ***

***ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКИ ИНСТИТУТ НИКОЛА ТЕСЛА АКЦИОНАРСКО
ДРУШТВО БЕОГРАД, УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ**

BEOGRAD

****ЈАВНО ПРЕДУЗЕЋЕ „ЕЛЕКТРОПРИВРЕДА СРБИЈЕ”, ОГРАНАК ТЕ
“КОСТОЛАЦ А“**

KOSTOLAC

SRBIJA

Kratak sadržaj — Nove operative i projektantske prakse nameću niz izazova u problemu upravljanja generatorima koji rade povezani na iste visokonaponske sabirnice. Pri tome je potrebno očuvati maksimalnu reaktivnu marginu generatora uz kontinualno uravnoteženo zagrevanja generatora. U Termoelektrani „Kostolac A“ zamenjen je blok transformator generatora A1. Izabran je blok transformator sa promenljivim prenosnim odnosom. Ukupni regulacioni opseg blok transformatora ne pokriva prenosni odnos blok-transformatora generatora A2. U radu je kroz niz proračuna sprovedena analiza optimalne alokacije reaktivnih snaga među generatorima postupkom optimizacije sa ograničenjima. Za izabrani optimizacioni kriterijum analiziran je uticaj napona u tački priključenja. Pokazalo se da u zavisnosti od uslova u tački priključenja može doći do razdvajanja reaktivnih regulacionih opsega generatora A1 i A2 i da je potrebno prema naponu u tački priključenja izabrati najpovoljniji prenosni odnos. Proračuni su izvršeni i izabran je optimalni položaj preklopke.

* jasna.dragosavac@ieent.org

Ključne reči —Sinhroni generator, blok-transformator, optimalni prenosni odnos, optimalna alokacija reaktivnih snaga, optimalna raspodela napona, reaktivna rezerva

1 UVOD

Uloga termoelektrana u savremenim elektroenergetskim sistemima se značajno menja u toku energetske tranzicije. Energetska tranzicija je predviđala da se iz režima kontinualnog rada sa konstantnom snagom, kroz period pružanja podrške na zahtev kada fotonaponske i vetroelektrane isporučuju manje energije zbog vremenskih uslova, pređe na potpuno gašenje elektrana na ugalj. Energetska kriza iznova menja odnos prema termoelektranama. Trenutno se prepoznaju kao pouzdan izvor fleksibilnosti u elektroenergetskom sistemu uz izmenu režima rada i predviđanjem čestih pokretanja i zaustavljanja, kao i rada sa delimičnim opterećenjem [1]. Važne tehničke smernice u vezi sa savremenim prenosnim mrežama sa visokim učešćem obnovljivih izvora za minimizaciju rizika od nestabilnosti preporučuju sledeće:

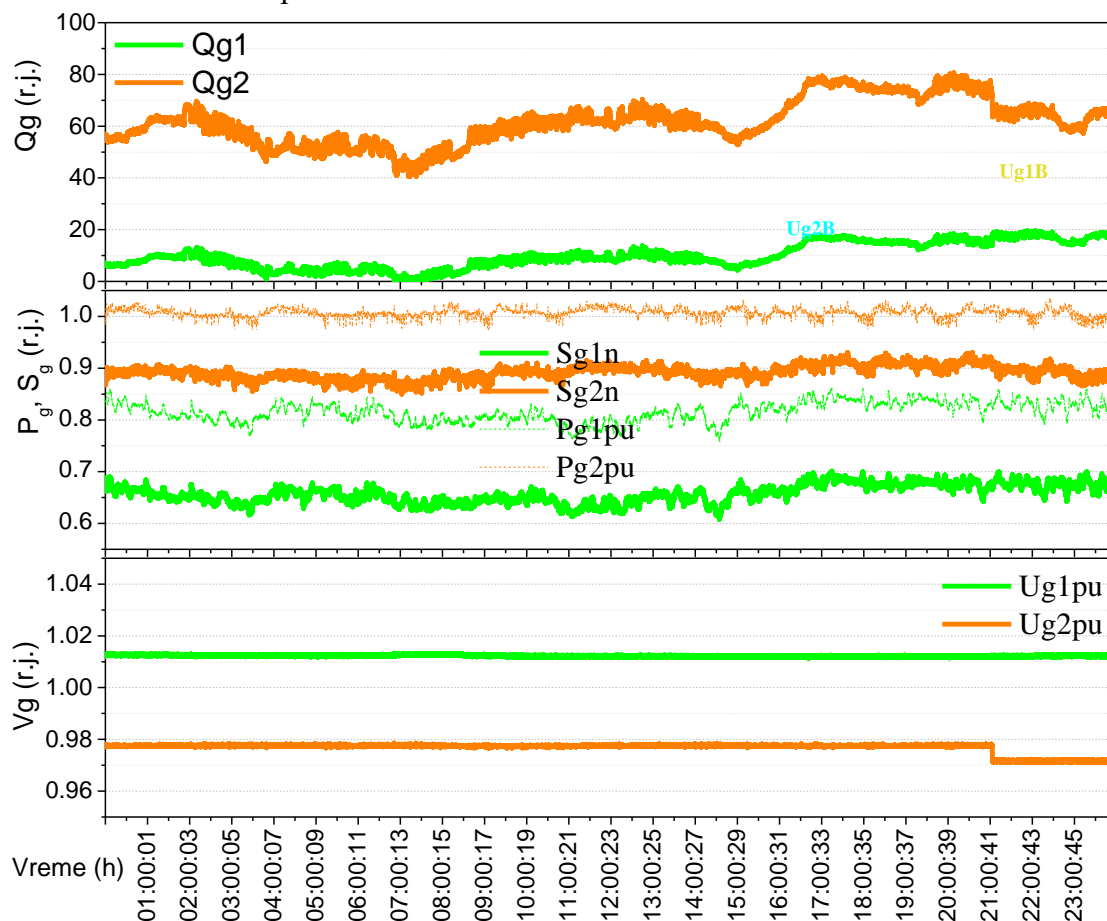
- Minimizacija **var**-a (reaktivna snaga) dobijenih iz generatora u toku normalnog rada prenosne mreže i to na sledeći način:
 - koristiti kapacitete raspoložive u šant kondenzatorima do maksimuma pre aktiviranja **var**-ova raspoloživih na generatorima varova
 - koristiti kapacitete raspoložive u šant kondenzatorima u distributivnom sistema do maksimuma pre aktiviranja šantova povezanih na prenosnu mrežu
- Brza dinamička reaktivna snaga (npr. **var** iz generatora i SVC/STATCOM) treba da bude na raspolaganju kao rezerva za sledeću nepredviđenu situaciju da bi se:
 - sprečio gubitak opterećenja pri padovima napona
 - “kupilo” vreme za maksimalnu reaktivnu podršku kada je to potrebno.

Termoelektrane su takođe primorane da smanjuju troškove proizvodnje energije, troškove zbog gubitka energije, kao i troškove zaštite životne sredine (emisije CO₂). Prema tome upravljanje opremom je važan aspekt eksploatacije generatora.

Nakon redovne zamene dotrajale opreme ili opreme u kvaru termoelektrane se suočavaju sa potrebom za istovremenim radom nove i stare opreme. Nakon zamene blok-transformatora generatora 1 u Termoelektrani “Kostolac A” (TE KO A) prenosni odnosi generatora 1 i 2 u TE KO A se razlikuju. Blok-transformator generatora 1 opremljen je preklopkom za promenu prenosnog odnosa i prenosni odnos iznosi 112 kV/10,5 kV, $\pm 4 \cdot 1,25\%$. Prenosni odnos na blok-transformatoru generatora 2 iznosi 121 kV/15,75 kV i nije opremljen preklopkom za promenu prenosnog odnosa. U normalnom radnom stanju, kada su naponi na krajevima generatora bliski po vrednosti u relativnim jedinicama, reaktivne snage generatora se značajno razlikuju i to tako da generator A2 radi sa nižim naponom na krajevima generatora i većom reaktivnom snagom, dok generator A1 radi sa višim naponom na krajevima generatora i niskom reaktivnom snagom. Nedostatak ovakve raspodele je veće grejanje generatora koji radi sa višom prividnom snagom, različiti naponi u relativnim jedinicama i posledično različito rastojanje do minimalnog i maksimalnog trajno dozvoljenog napona, smanjena reaktivna rezerva i dr. Da bi se postigla alokacija reaktivnih snaga između generatora 1 i 2 koja obezbeđuje maksimalnu reaktivnu podršku i uravnoteženu eksploataciju, kao što je gore navedeno, potrebno je izvršiti sintezu algoritma za alokaciju reaktivnih snaga. U radu je kroz niz proračuna sprovedena analiza optimalne alokacije reaktivnih snaga među generatorima postupkom optimizacije sa ograničenjima. Za izabrani optimizacioni kriterijum analiziran je uticaj napona u tački priključenja. Pokazalo se da može doći do razdvajanja reaktivnih regulacionih opsega generatora A1 i A2 i da je potrebno prema naponu u tački priključenja izabrati najpovoljniji prenosni odnos blok transformatora bloka A1. Proračuni su izvršeni i izabran je optimalni položaj preklopke.

2 OPTIMALNA RASPODELA REAKTIVNIH SNAGA MEĐU ELEKTRIČNO BLISKIM GENERATORIMA KOJI SU NA MREŽU PRIKLJUČENI PREKO BLOK-TRANSFORMATORA SA RAZLIČITIM PRENOSNIM ODNOSOM.

Nakon instalacije novog blok-transformatora rukovaoci u TE KO A su raspodelili reaktivne snage i napone kao na slici 1. Nakon nekoliko dana u radu korigovana je referentna vrednost napona na automatskom regulatoru napona generatora 2 sa ciljem snižavanja generisane reaktivne snage. Nominalni parametri generatora i blok transformatora su dati u tabeli I dok su izabrane radne tačke prikazane u tabeli II.



Slika 1 Raspodela reaktivnih snaga, napona, aktivnih i prividnih snaga generatora 1 i 2 u TE KO A pri početno izabranom prenosnom odnosu koji odgovara poziciji 3

Tabela I Nazivni parametri generatora i blok-transformatora

Generator	S_g [MVA]	P_g [MW]	V_g [kV]	Prenosni odnos BT [kV/kV]	Regulacija	S_{g_BT} [MVA]
TE KO A1	137,5	100	10,5	112/10,5	$\pm 4 \cdot 1,25\%$	132
TE KO A2	235.5	210	15,75	121/15,75	/	250

Tabela II Izabrana poželjna raspodela referentnih vrednosti napona generatora kada je preklopka postavljena u položaj k=3

Generator	P_g [r.j.]	Q_g [Mvar]	Q_{g_MAX} [Mvar]	Q_{g_MIN} [Mvar]	S_g [r.j.]	V_g [r.j.]	V_{HV} [kV]	$T_{Cu_St_g}$ [°C]	$T_{Fe_St_g}$ [°C]	$T_{H2_topao_g}$ [°C]
TE KO A1	0,83	14,9	89,3	0	0,68	1,01	114,97	46	60	44
TE KO A2	1,00	66,3	122,7	27,1	0,89	0,97	114,97	71,5	46°C	53

Potrebno je imati na umu da se u zimskom periodu deo snage oduzima pre generatora, za potrebe grejanja gradova Kostolca i Požarevca. Oduzimanje može da se vrši sa oba generatora ponaosob i kombinovano. Primer uobičajene raspodele snaga i napona u zimskom periodu je sledeći $PA1=0,85$ r.j, $QA1=0,11$ r.j, $SA1=0,62$ r.j, $VA1=1,01$ r.j. i $VHV=0,95$ r.j. Rezultat ovako izabrane radne tačke je da je napon na generatoru A1 za 4% veći od napona na generatoru A2 pri čemu je opterećenje po reaktivnoj snazi u odnosu na raspoloživi reaktivni opseg $K_{Qopt_A1}=17\%$, a $K_{Qopt_A2}=40\%$. Temperature generatora A2 su 10°C do 25°C više nego temperature A1 pri čemu su sve temperature duboko unutar dopuštenog opsega.

Ako se u obzir uzme i izmenjena priroda elektroenergetskog sistema sa povećanim procentom učešća varijabilnih izvora potrebno je izbor radne tačke generatora vršiti uključivanjem i komponente varijabilnosti snaga, efikasnosti bloka kao celine, rezerve u reaktivnoj snazi i rezerve u naponu, preostali životni vek opreme, itd. U radu je dat metodološki pristup nalaženju kriterijuma za izbor optimalnih radnih tačaka generatora.

2.1 Optimizacija sa ograničenjima

Pri raspodeli reaktivnih snaga među generatorima optimalno je ravnomerno opteretiti generatore prividnom snagom čime se ujednačava zagrevanje generatora i obezbediti da generatori ne rade na svojim dopuštenim termičkim i naponskim granicama kako to definiše [2], gde su, prema istom dokumentu, definisane zone ubrzanog starenja generatora. Ovakav pristup je povoljan i za prenosnu mrežu koja zahteva maksimalnu promenu reaktivne snage pri pojavi poremećaja u mreži što znači održavanje maksimalne reaktivne margine. Prema tome, optimizacija se mora vršiti sa čvrstim ograničenjima:

$$0 < S_g < 1 \text{ r.j.} \quad (1)$$

$$0.95 < V_g < 1,05 \text{ r.j.} \quad (2)$$

$$Q_{gMIN} = f(Q_{gMIN} \text{ prema } PQ, V_{110 \text{ kV}}) \quad (3)$$

$$Q_{gMAX} = f(Q_{gMAX} \text{ prema } PQ, V_{110 \text{ kV}}) \quad (4)$$

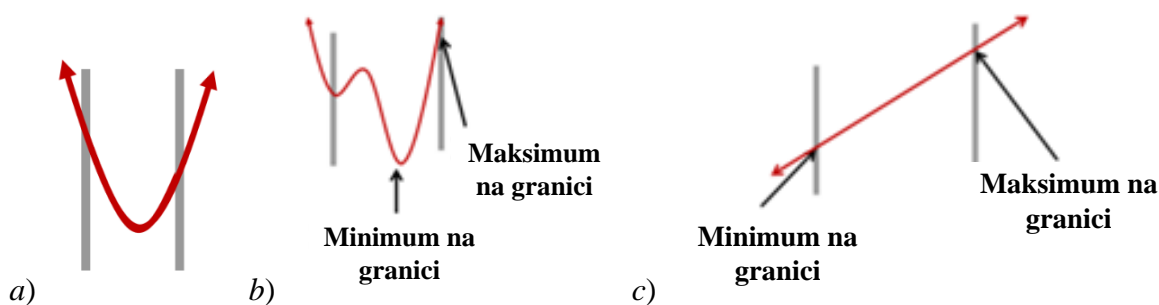
$$Q_{gMIN} < Q_g < Q_{gMAX} \quad (5)$$

$$Q_{ZADATO} = Q_{g1} + Q_{g2} \quad (6)$$

Optimizacija sa ograničenjima, takođe poznata kao optimizacija ograničenja, je proces optimizacije ciljne funkcije u odnosu na skup varijabli odlučivanja uz nametanje ograničenja na te varijable. U problemu optimizacija sa ograničenjima postoji ciljna funkcija koju treba minimizirati ili maksimizirati. Ograničenja su tvrda ograničenja koje postavljamo na vrednost promenljive kako bismo sprečili da funkcija cilja propagira u deo prostora promenljivih gde su neželjene radne tačke. Lokacija optimuma kod nelinearnih funkcija (maksimalne ili minimalne vrednosti) se može pojaviti na granicama ili između ili izvan njih. Nasuprot tome, kod linearnih funkcija, maksimalne ili minimalne vrednosti se javljaju samo na granicama, kao što je prikazano na slici 2:

Sledeća formulacija opisuje opšti (kanonski) oblik problema ograničene minimizacije:

$$\begin{aligned} & \min f(x) \\ & \exists g_i(x) = c_i \text{ za } i = 1, \dots, n \text{ (ograničenja tipa jednakosti)} \\ & \exists h_j(x) \geq d_j \text{ za } j = 1, \dots, m \text{ (ograničenja tipa nejednakosti)} \end{aligned} \quad (7)$$



Slika 2 Optimizacija sa ograničenjima: a) i b) nelinearna funkcija i njeni optimumi, c) linearna funkcija i njeni optimumi

gde je x vektor promenljivih odlučivanja; $f(x)$ je ciljna funkcija koju treba optimizovati; $g_i(x)=c_i$ za $i=1, \dots, n$ i $h_j(x)=d_j$ za $j=1, \dots, n$ su ograničenja koja treba da budu zadovoljena.

Poteškoća u alokaciji reaktivnih snaga u ovom slučaju proističe iz suprotstavljenih uslova

$$\Delta V_g = V_{g1} - V_{g2} \leq \Delta V_{g_MAX} \quad (8)$$

$$\Delta S_g = S_{g1} - S_{g2} \leq \Delta S_{g_MAX} \quad (9)$$

tj. minimizacija po uslovu razlike napona na krajevima generatora ΔV_g direktno utiče na porast ΔS_g .

Prvi uslov obezbeđuje ravnomerno naponsko naprezanje i ravnomernu udaljenost radne tačke generatora od naponskih ograničenja. Drugi uslov obezbeđuje ravnomerno zagrevanje generatora. Treći uslov je povezan sa održavanjem maksimalne reaktivne rezerve pri porastu i propadu napona u tački priključenja:

$$\Delta Q_{rezeve_MAX} = f(Q_{g1MAX}, Q_{g2MAX}, Q_{g1MIN}, Q_{g2MIN}, V_{110\text{ kV}}, V_{g1MAX}, V_{g2MAX}, V_{g1MIN}, V_{g2MIN}) \quad (10)$$

U ovom slučaju uz ograničenja (1), (2), (3), (4) i (5) dodata su i ograničenja definisana sa (8) i (9).

U zavisnosti od funkcije cilja i ograničenja, postoji puno metoda optimizacije sa ograničenjima. Mnogi algoritmi za optimizaciju sa ograničenjima mogu se svesti na optimizaciju bez ograničenja, jednostavnim korišćenjem metode kazne, „penalty“ metode [3]. Međutim, ovakvi načini rešavanja često dovode do nedostatka konvergencije [4] pa postoji potreba za primenom optimizacije sa ograničenjima. Pošto optimizacija po uslovima (8), (9) i (10) uz primenu „penalty“ funkcije kada se bilo koja promenljiva približava svom ograničenju nije dala željenu raspodelu definisanu na slici 1, optimizaciju sa ograničenjima rešavana je drugim metodama. Linearno programiranje pokriva slučajeve u kojima je funkcija cilja linearna i sva ograničenja su takođe linearna, te stoga nije moglo da bude primenjeno zbog nelinearnosti funkcije cilja. Generalizovani redukovani gradijent (GRG) metod posmatra gradijent ili nagib ciljne funkcije kako se ulazne vrednosti (ili promenljive odluke) menjaju i utvrđuje da je dostigao optimalno rešenje kada su delimični derivati jednaki nuli. U najboljem slučaju, sama metoda GRG Solving – kao i praktično svi „klasični“ algoritmi nelinearne optimizacije – može pronaći lokalno optimalno rešenje. Korišćenjem ovog metoda po uslovima optimizacije (8), (9) i (10) ne dobijaju se jedinstvena rešenja, već rešenja zavise od početnih uslova. Ova metoda je zgodna jer dovoljno brzo daje rezultat i mogla bi se koristiti kod automatske alokacije reaktivnih snaga.

U računarskoj inteligenciji (CI), evolucioni algoritam (EA) je podskup evolucionog izračunavanja, [4]. Spada u grupu genetskih algoritama. Korisno je razumeti šta metoda evolucionog rešavanja može, a šta ne može, i šta svaka od mogućih poruka rezultata rešavanja znači za ovaj metod. U najboljem slučaju, evoluciona metoda – kao i drugi genetski ili evolucioni algoritmi – biće u stanju da pronađe dobro rešenje za relativno dobro skaliran model. Pošto se evoluciona metoda ne oslanja na informacije o izvodima ili gradijentu, ne može da utvrdi da li je dato rešenje optimalno – tako da nikada ne zna kada da se zaustavi [5]. Ona samo zna da je novi kandidat rešenja „bolji“ od drugih rešenja koja su ranije pronađena. Dakle, evoluciona metoda se zaustavlja i vraća rešenje ili kada određena heuristička pravila (o kojima se govori u nastavku) ukazuju da je dalji napredak malo verovatan, ili kada premaši ograničenje vremena ili napora koje je postavljeno. Takođe, evoluciona metoda traje najduže do ograničenja računskog vremena i to je čini neodgovarajućom za upravljanje u realnom vremenu tj. automatsku alokaciju reaktivnih snaga u realnom vremenu.

Objašnjenje prethodnih metoda je važno da bi se na pravilan način izabrala metoda koja se najbolje uklapa u definisani problem i da bi se na pravi način spoznala korisnost dobijenih rezultata.

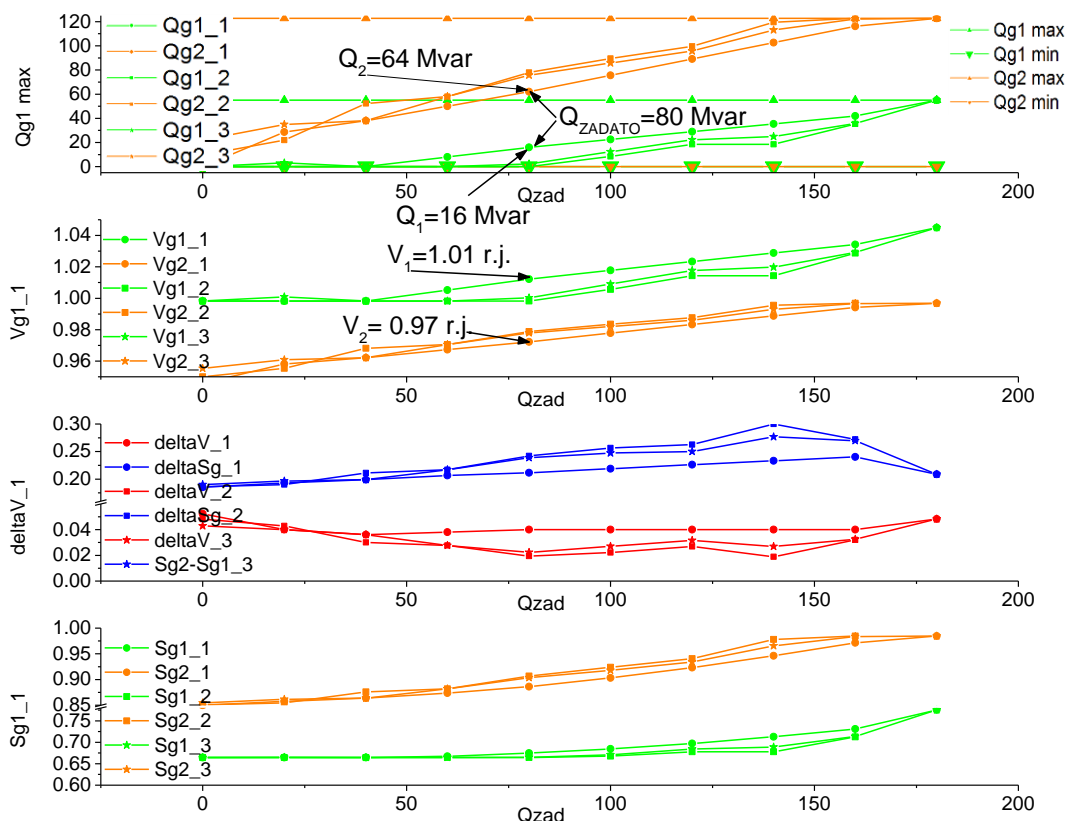
3 ODREĐIVANJE ŽELJENE ALOKACIJE REAKTIVNIH SNAGA PRIMENOM EVOLUCIONOG METODA I RAZLIČITIH CILJNIH FUNKCIJA OPTIMIZACIJE

Primenom evolucionog proračuna po optimizacionim funkcijama tipa (8), (9) i (10) dobijene su raspodele reaktivnih snaga između generatora 1 i 2 za ukupno zadatu reaktivnu snagu Q_{ZADATO} od strane dispečera prenosne mreže. Rezultati su prikazani na slici 3. Na slici 3 uočava se da je postignuta željena raspodela definisana u tabeli II ($Q_{zadato}=80$ Mvar, $Q_1=16$ Mvar, $Q_2=64$ Mvar, $V_1=1,01$ r.j. i $V_2=0,97$ r.j. sa optimizacijom po uslovu (10) koja se na slici odnosi na tragove označene simbolom kruga. Tragovi označeni simbolom kvadrata podrazumevaju optimizaciju po kriterijumu (8) tj. minimizacije razlike napona na krajevima generatora, dok su tragovi označeni simbolom zvezdica podrazumevaju optimizaciju po kriterijumu (9) tj. uravnoteženog zagrevanja generatora. Što se dopuštene granice u (8) postave strože tj. dopušta se manja razlika napona, to se uslov po prividnoj snazi širi da bi rešenje konvergiralo, i obrnuto.

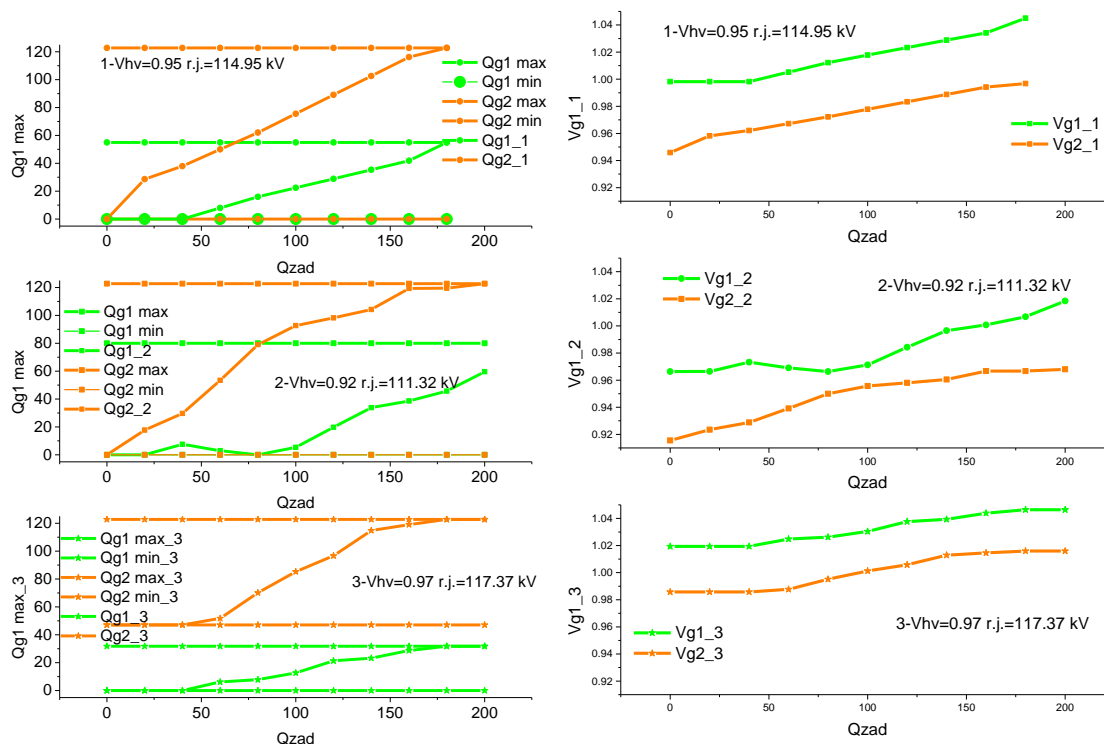
4 VALIDACIJA OPTIMIZACIONOG POSTUPKA ZA RAZLIČITE NAPONE U TAČKI PRIKLJUČENJA

Nakon što smo izabrali kriterijum (10) kao najpoželjniji kriterijum za optimizaciju, u sledećem koraku je bilo potrebno proveriti robusnost optimizacije pri različitim naponima u tački priključenja. Rezultati su prikazani na slici 4.

Na slici 4 se jasno uočava da se reaktivni opsezi generatora menjaju sa promenama napona u tački priključenja, što definiše raspoloživu reaktivnu rezervu na sabirnicama elektrane. Na slici se takođe uočava da nivo potrebnih napona na krajevima generatora, koji obezbeđuju Q_{ZADATO} zavisi od napona u tački priključenja. Izabrani prenosni odnos $k=3$ obezbeđuje maksimalnu reaktivnu rezervu kada je napon u mreži najniži i iznosi 0,92 r.j. ili 111.32 kV. Za napone u mreži 0,97 r.j. ili 117.37 kV reaktivni opsezi generatora 1 i 2 su potpuno razmaknuti, naponi su visoki i generatori udaraju u ograničenja. To znači da je za visoke vrednosti napona u mreži potrebno promeniti podešenje prenosnog odnosa.



Slika 3 Određivanje željene alokacije reaktivnih snaga primenom evolucionog metoda i različitih ciljnih funkcija optimizacije

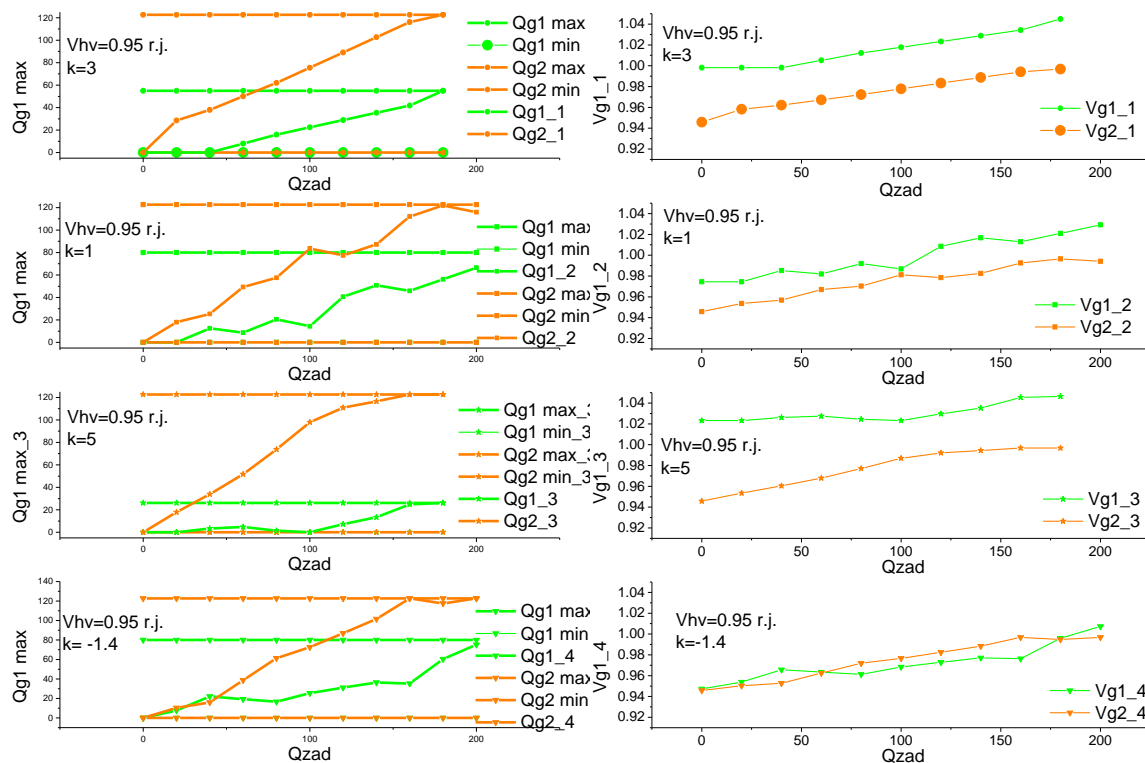


Slika 4 Validacija optimizacionog postupka za različite napone u tački priključenja za $k=3$
Trebalo bi imati na umu da proračuni nisu u sebe uključivali modelovanje mreže na koju je elektrana priključena, tj. ona je modelovana idealnim naponskim izvorom. U stvarnosti Theveninov ekvivalent mreže ima i pripadajuću imendansu tako da je mreža „mekša“ te nivo generisanih

reaktivnih snaga utiče na napon na visokonaponskim sabirnicama, a isti na ograničenja na generatoru.

5 ODREĐIVANJE OPTIMALNOG PODEŠENJA PRENOSNOG ODNOSA BLOK-TRANSFORMATORA PRIMENOM OPTIMIZACIJE SA OGRANIČENJIMA

U poslednjem koraku određeno je optimalno podešenje prenosnog odnosa izvršavanjem evolucionog algoritma za najčešće očekivanu vrednost napona u mreži 0,95 r.j. ili 114.5 kV, za položaje preklopke $k=1$, $k=3$, $k=5$ i $k=-1,4$. Poslednje podešenje bi odgovaralo kada bi prenosni odnosi na oba generatora bili jednaki 121/Nazivni napon generatora i služi za poređenje. Rezultati proračuna prikazani su na slici 5.

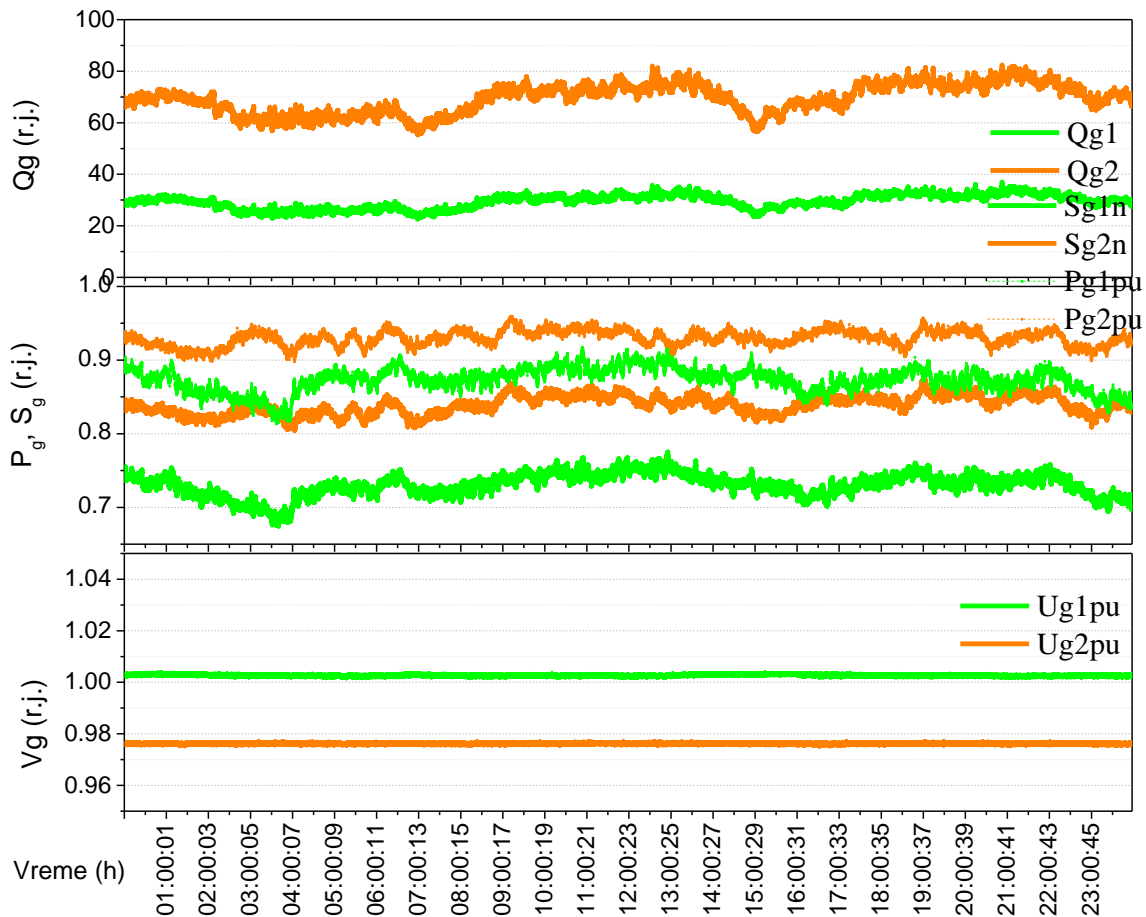


Slika 5 Određivanje optimalnog podešenja prenosnog odnosa blok-transformatora primenom optimizacije sa ograničenjima

Sa slike 5 se vidi da identičan prenosni odnos obezbeđuje jednake napone na krajevima generatora u relativnim jedinicama. Takođe pokazuje se da je reaktivna rezerva maksimalna na oba generatora. Sa slika se vidi i da se za položaj preklopke $k=1$ obezbeđuje najmanja razlika između napona i najširi reaktivni opseg.

Na slikama 4 i 5 se uočava linearna promena reaktivnih snaga za segmente $Q_{zad\ data}$ kada nisu ugrožena ograničenja po naponu. Takođe se primećuje asimptotski prilazak ograničenjima na krajevima segmenta, što je takođe poželjno. Raspodele reaktivnih snaga za prenosni odnos $k=1$ nemaju linearni segment i to je posledica karakteristika primenjenog evolucionog algoritma.

Preklopka na blok-transformatoru je pomerena iz položaja 3 u položaj 1 i dobijeni su rezultati kao na slici 6.



Slika 6 Raspodela reaktivnih snaga, napona, aktivnih i prividnih snaga pri optimalno izabranom prenosnom odnosu $k=1$

U narednom koraku je potrebno definisati klustere naponskih opsega u tački priključenja i odgovarajuće optimalne položaje preklopki. Takođe je potrebno na osnovu rezultata primene evolucionog algoritma definisati adaptivni upravljački algoritam. Taj algoritam vrši automatsku alokaciju reaktivnih snaga. Opseg zadate reaktivne snage Q_{zadato} će biti podeljen na intervale u okviru kojih će biti definisane linearne zavisnosti pojedinih generatora. Raspodela intervala i koeficijenti linearnih zavisnosti su predmet adaptacije. Time bi se postigla prihvatljivo suboptimalna raspodela napona na generatorima uz prihvatljivo odstupanje u zagrevanju generatora i maksimalno mogućom reaktivnom rezervom kojom se podržava stabilnost EES.

6 ZAKLJUČAK

Energetska tranzicija i energetska kriza menjaju prioritete i dinamiku angažovanja termoelektrana. Uloga konvencionalnih elektrana unekoliko će se promeniti u energetskom sistemu budućnosti. Proces upravljanja u termoelektranama će se oblikovati tako da obezbede dobru podršku sistemu kada obnovljivi izvori nisu raspoloživi zbog neraspoloživosti resursa. Zbog novih uslova rada termoelektrane će biti prinuđene da dobro osmisle sisteme „asset management-a“. Automatska alokacija reaktivnih snaga obezbeđuje ravnomerno naprezanje generatora i blok-transformatora. Ona takođe vodi računa o raspoloživoj reaktivnoj rezervi na sabirnicama elektrane za potrebe pokrivanja dinamike obnovljivih izvora. Razvoj algoritama raspodele postaje sve složeniji. U radu je pokazano da će biti potrebno kombinovati off-line algoritme iz familije algoritama veštačke inteligencije za razvoj brzih adaptivnih on-line regulacionih algoritama.

7 LITERATURA

- [1] Thermal power plants, Strom-Forschung, supported by Federal Ministry For Economic Affairs And Climate Action, dostupno na adresi <https://www.strom-forschung.de/research-topics/thermal-power-plants>.
- [2] INTERNATIONAL STANDARD IEC 60034-1
- [3] Kurt Bryan and Yosi Shibberu, Penalty Functions and Constrained Optimization, dostupno na adresi <https://www.rose-hulman.edu/~bryan/lottamath/penalty.pdf>
- [4] Vikhar, P. A , "Evolutionary algorithms: A critical review and its future prospects". Proceedings of the 2016 International Conference on Global Trends in Signal Processing, Information Computing and Communication (ICGTSPICC). Jalgaon: 261–265. doi:10.1109/ICGTSPICC.2016.7955308. ISBN 978-1-5090-0467-6. S2CID 22100336
- [5] Wenyu Sun; Ya-Xiang Yuan (2010). Optimization Theory and Methods: Nonlinear Programming, Springer, ISBN 978-1441937650. p. 541
- [6] Excel Linear Programming, dostupno na adresi, <https://www.solver.com/>

8 ZAHVALNICA

Ovaj rad je podržalo Ministarstvo nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije kroz Ugovor o realizaciji i finansiranju naučnoistraživačkog rada NIO u 2023. godini (broj ugovora 451-03-47/2023-01/200038).

**SELECTION OF THE OPTIMAL OPERATING POINT OF DIFFERENT
GENERATORS CONNECTED TO THE POINT OF COMMON COUPLING
THROUGH STEP-UP TRANSFORMERS OF DIFFERENT RATIOS**

JASNA DRAGOSAVAC*, JELENA NIKOLIĆ, DEJAN ŽUKOVSKI**, ZLATKO
SIMEUNOVIĆ **,
ŽARKO JANDA*, JELENA PAVLOVIĆ*, SAVA DOBRIČIĆ***

*** NIKOLA TESLA INSTITUTE OF ELECTRICAL ENGINEERING, UNIVERSITY
OF BELGRADE**

BELGRADE

**** PUBLIC COMPANY „ELEKTROPRIVREDA SRBIJE”, BRANCH TE
“KOSTOLAC A“**

KOSTOLAC

SERBIA

Abstract - New operational and design practices impose a number of challenges in the problem of operating generators connected to the same high-voltage buses. At the same time, it is necessary to ensure the maximum reactive margin of the generators with the opposite requirement for uniform heating of the generators. In the Thermal Power Plant "Kostolac A", the step-up transformer of generator A1 was replaced. A step-up transformer with a load tap changer is installed. The total range of tapping does not cover the ratio of the step-up -transformer generator A2. In the paper, through a series of calculations, an analysis of the optimal allocation of reactive power among generators was carried out using the constrained optimization procedure. For the chosen optimization criterion, the reversible influence of the voltage at the connection point was analyzed. It was shown that, depending on the conditions at the connection point, it may happen that the reactive regulation ranges of generators A1 and A2 do not overlap at all and that it is necessary to choose the most favourable transmission ratio according to the voltage at the connection point. The calculations were performed and the optimal position of the tap was selected.

Key words — Synchronous generator, step-up transformer, optimal transmission ratio, optimal allocation of reactive power, optimal voltage distribution, reactive reserve

* jasna.dragosavac@ieent.org

**IZBOR OPTIMALNE RADNE TAČKE RAZLIČITIH GENERATORA POVEZANIH
NA ISTE VISOKONAPONSKE SABIRNICE PREKO BLOK-TRANSFORMATORA
RAZLIČITIH PRENOSNIH ODNOSA**

**SELECTION OF THE OPTIMAL OPERATING POINT OF DIFFERENT
GENERATORS CONNECTED TO THE POINT OF COMMON COUPLING
THROUGH STEP-UP TRANSFORMERS OF DIFFERENT RATIOS**

JASNA DRAGOSAVAC*, JELENA NIKOLIĆ, DEJAN ŽUKOVSKI**, ZLATKO
SIMEUNOVIĆ **,
ŽARKO JANDA*, JELENA PAVLOVIĆ*, SAVA DOBRIČIĆ***

***ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКИ ИНСТИТУТ НИКОЛА ТЕСЛА АКЦИОНАРСКО
ДРУШТВО БЕОГРАД, УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ**

BEOGRAD

****ЈАВНО ПРЕДУЗЕЋЕ „ЕЛЕКТРОПРИВРЕДА СРБИЈЕ”, ОГРАНАК ТЕ
“КОСТОЛАЦ А“**

KOSTOLAC

SRBIJA

Kratak sadržaj — Nove operative i projektantske prakse nameću niz izazova u problemu upravljanja generatorima koji rade povezani na iste visokonaponske sabirnice. Pri tome je potrebno očuvati maksimalnu reaktivnu marginu generatora uz kontinualno uravnoteženo zagrevanja generatora. U Termoelektrani „Kostolac A“ zamenjen je blok transformator generatora A1. Izabran je blok transformator sa promenljivim prenosnim odnosom. Ukupni regulacioni opseg blok transformatora ne pokriva prenosni odnos blok-transformatora generatora A2. Problem u alokaciji reaktivnih snaga se ispoljava u nemogućnosti postizanja ravnomerne raspodele napona na krajevima generatora, reaktivnih i prividnih snaga. Kada se naponi generatora A1 i A2 izjednače reaktivne snage se značajno razlikuju i to procentualno u odnosu na raspoloživ opseg. U radu su kroz niz proračuna sprovedena analiza optimalne alokacije reaktivnih snaga među generatorima postupkom optimizacije sa ograničenjima. Za proračun je korišćena evoluciona metoda koja daje najbolje rezultate za konkretnu primenu. Proračuni su vršeni za tri vrste optimizacionih funkcija: minimizacija razlike napona na krajevima generatora, minimizacija razlike generisanih prividnih snaga i optimizacija po maksimumu reaktivne rezerve. Izabrana je optimizacija po maksimizaciji reaktivnih rezervi. Za izabrani optimizacioni kriterijum analiziran je uticaj napona u tački priključenja. Pokazalo se da se, u zavisnosti od uslova u tački priključenja, može desiti da se reaktivni regulacioni opsezi generatora A1 i A2 uopšte ne preklapaju i da je potrebno prema naponu u tački priključenja izabrati najpovoljniji prenosni odnos. Proračuni su izvršeni i izabran je optimalni položaj preklopke za postojeće uslove u tački priključenja.

Ključne reči — Sinhroni generator, blok-transformator, optimalni prenosni odnos, optimalna alokacija reaktivnih snaga, optimalna raspodela napona, reaktivne rezerva

* jasna.dragosavac@ieent.org