



R A1 08

**MOGUĆNOST RADA GENERATORA G1 U TE „KOSTOLAC A“ U USLOVIMA
POSTOJANJA OGRANIČENJA PO MAKSIMALNO DOZVOLJENOJ SNAZI NA
BLOK TRANSFORMATORU**

Jasna Dragosavac, Žarko Janda, Zoran Ćirić *

Jelena Nikolić, Dejan Žukovski, Zlatko Simeunović **

*** Elektrotehnički institut “Nikola Tesla”, Univerzitet u Beogradu**

**** Javno preduzeće „Elektroprivreda Srbije“, Ogranak TE KO Kostolac**

BEOGRAD

SRBIJA

Kratak sadržaj -

U TE Kostolac pri zameni blok-transformatora generatora A1 blok-transformatorom snage 80MVA i prenosnog odnosa 115 kV/ 10,5 kV potrebno je definisati radnu oblast generatora u P-Q dijagramu na način da generator i transformator ne budu ni naponski ni temperaturno ugroženi pri različitim radnim uslovima u tački priključenja.

Napon na krajevima generatora mora biti u granicama 95% do 105% nominalne vrednosti što se obezbeđuje regulatorom napona sistema za regulaciju pobude. Pri tome veličina generisane reaktivne snage zavisi od vrednosti napona na VN sabirnicama blok-transformatora.

Proračuni raspoloživih opsega u tački priključenja i rezultati su prikazani u radu i treba da služe kao podloga rukovaocu za upravljanje radnom tačkom generatora u datoj situaciji.

***Ključne reči* – blok transformator, napon.sinhroni generator, pogonski dijagram.**

* jasna.dragosavac @ieent.org

1. UVOD

Reaktivna snaga koja teče kroz blok-transformator nije regulisana veličina prema [1] u mrežama 110 kV, 220 kV i 400 kV već posledica razlike napona koja se ima između krajeva generatora i tačke priključenja na mrežu. Održavati se može na određenoj vrednosti ili unutar određenog opsega samo konstantnim delovanjem na vrednost reference generatora u automatskom regulatoru napona sistema za regulaciju pobude. Za nominalno izabran blok-transformator rukovaoc bloka, sem u graničnim režimima ekstremno niskih i visokih napona u mreži, ne mora voditi računa o vrednosti reaktivne snage koja teče kroz transformator jer je obično generator limitirajući deo opreme.

Uloga termo jedinica u uslovima visokog učešća obnovljivih izvora promenila je uslove eksploatacije blokova. Kada su energenti u energetske obnovljivim izvorima raspoloživi, energije u mreži često ima više nego što je potrebno, cena električne energije pada (jer je ponuda veća od potražnje, a cena samog obnovljivog energenta jednaka nuli), tradicionalni termo izvori su prinuđeni da snize nivo generisane aktivne snage na tehnički minimum, daleko od optimalne tačke iskorišćenja bloka kao celine. Neretko, zbog viška energije u mreži prinuđeni su i na zaustavljanje bloka. To dovodi do manjeg ukupnog broja radnih sati na mreži i manjeg zbira radnih sati na mreži kada rade u energetske najefikasnijoj radnoj tački, što je najčešće nominalna radna tačka. Zbog toga su, ne samo tehnički, već i ekonomski uslovi poslovanja termo blokova postali složeniji.

U Evropi već dve decenije traje trend rekonstrukcije postojeće opreme koja je dotrajala da bi joj se produžio radni vek, povećala pouzdanost, smanjila emisija CO₂ (direktno ili indirektno), uskladila energetska efikasnost opreme sa novom zakonskom politikom ili povećala snaga opreme. Razlog za preduzimanje ovako opsežnih zahvata na već dotrajaloj opremi su produženje životnog veka i veoma oštri ekološki i ekonomski uslovi poslovanja tradicionalnih izvora..

Termoelektrana TE „Kostolac“ je već 50 godina u radu. Oprema je dotrajala, na pojedinim delovima su izvršene rekonstrukcije i koje su obezbedile povećanje pouzdanosti celog postrojenja. U novembru 2017 došlo je do pojave kvara na blok transformatoru generatora A1 u TE „Kostolac A“ i odrade zaštite (Buholc i diferencijale). Kvar je zahtevao isključenje iz pogona radi popravke. Da negativni ekonomski efekti zbog kvara ne bi bili uvećani za trošak neisporučene električne energije, transformator u kvaru privremeno je zamenjen transformatorom manje snage koji je bio na raspolaganju. Specifičnost generatora A1 je da radi sa dva kotla i da je dozvoljeni opseg za regulaciju aktivne snage značajno širi zbog izuzetne fleksibilnosti kotlovske postrojenja. Ova tehnička karakteristika posebno je značajna u uslovima visokog učešća distribuirane proizvodnje koja se ne može prognozirati pa se ovakvi termo blokovi mogu relativno brzo odazvati na zahtevanu promenu aktivne snage. Mogućnost rada sa nižom aktivnom snagom omogućila je i da se privremeno blok na mrežu veže preko blok transformatora niže snage i da se električna energija isporučuje u mrežu. Pre puštanja u rad sa privremenim, manjim blok-transformatorom bilo je neophodno izračunati koji su radni režimi generatora dozvoljeni, a da pri njima ne dođe do preopterećenja privremenog blok transformator. Takođe je bilo potrebno definisati druge postupke koje je neophodno sprovesti da bi se omogućio bezbedan rad opreme u privremenim uslovima.

2. KRITERIJUMI ZA IZBOR PARAMETARA VELIKIH TRANSFORMATORA ZA PRIMENU U ELEKTRANAMA

Kriterijumi za dimenzionisanje blok-transformatora prema generatoru i turbini su višestruki. U savršenim uslovima izvodi se simulacija tokova snaga sa generatorom koji radi sa punom aktivnom snagom (bilo da je turbina ili generator ograničavajući faktor) i prema tome se veličina transformatora dimenzioniše tako da transformator može da prenese punu izlaznu snagu generatora u MVA. Ukoliko su simulacioni modeli dovoljno detaljni i ukoliko su svi parametri modela raspoloživi tj. odgovaraju stvarnim parametrima opreme dobijena snaga dobro odgovara potrebama. Praksa je ukazala da je potrebno imati širi uvid u opremu, položaj i značaj objekta i eventualno ostaviti prostora za nadogradnju na turbini ili generatoru. Sve gore navedeno je tipično pokriveno izborom transformatora snage 125% od nazivnih MW izlazne snage generatora. Nije dobro zadržati se samo na rezultatima simulacije. Simulacija daje početnu procenu. Uštede se mogu ostvariti upotrebom dodatnih paketa ventilatora na transformatorima čime se mogu dobiti dodatni kapacitet transformatora po ceni relativno male investicije i intervencije. Potrebno je uvažiti i specifične prosečne i ekstremne vrednosti temperature ambijenta jer na primer, u hladnim danima izlaz turbine može da raste brže od sposobnosti blok transformatora da se oslobodi toplote. Potrebno je proveriti kapacitete generatora i transformatora preko punog specificiranog ambijentalnog temperaturnog opsega, ne samo u standardnim uslovima za koje se transformator projektuje. Proizvođači bi trebalo da budu u mogućnosti da daju podatke o temperaturama najtoplije tačke na maksimalnoj, minimalnoj i nominalnoj temperaturi ambijenta. Neće uvek svi generisani MW biti preneseni preko blok transformatora. U zavisnosti gde se oduzima sopstvena potrošnja snaga blok transformatora se može smanjiti. U poslednje vreme parametri blok-transformatora se biraju tako da budu i manji od 100% snage u MVA. Potrebno je obratiti pažnju da je u [2], predviđeni nominalni životni vek transformatora na temperaturi ulja od 110° C u rasponu od 7,4 godina do 20,55 godina, zavisno o tome koji su kriterijumi završetka životnog veka odabrani. U zavisnosti od tehno-ekonomske analize može se predvideti rezerva u kapacitetu da bi se dobila rezerva u temperaturi i time produžio životni vek. Ako se rezerva ne predviđa obavezno je uzeti u obzir tačnost merenja, gubitke i sl. Ukoliko je transformator sa promenljivim prenosnim odnosom i bez rezerve proveriti da li su svi kriterijumi očuvani za sve pozicije preklopke. Osim nominalne snage važno je na odgovarajući način izabrati prenosni odnos i impedansu samog transformatora, uobičajeno od dostupnih kataloških vrednosti. Izbor ovih parametara vezan je za rezultate simulacije i dobru prognozu sadašnjih i budućih (horizont projektovanog životnog veka transformatora) karakteristika tačke priključenja na mrežu.

Prethodni pregled dat je radi provere mogućnosti primene manjih blok-transformatora, kada se to ne može izbeći, u cilju dobijanja početne procentualne provere snage. Postojeći blok-transformator u TE „Kostolac A“ dimenzionisan je na 109% nominalne snage generatora. Za nominalnu vrednost napona na visokonaponskoj (VN) strani blok-transformatora izabrana je vrednost od 115 kV dok je na niskonaponskoj strani (NN) izabrana vrednost od 10,5 kV koja odgovara nominalnom naponu generatora. Ovaj transformator bilo je potrebno zameniti raspoloživim čiji se parametri razlikuju od postojećeg (Tabela 2-I), definisati dozvoljene radne oblasti generatora koje ne ugrožavaju privremeni transformator i mogućnost paralelnog rada se blokom A2 čiji se prenosni odnos blok transformatora ne poklapa.

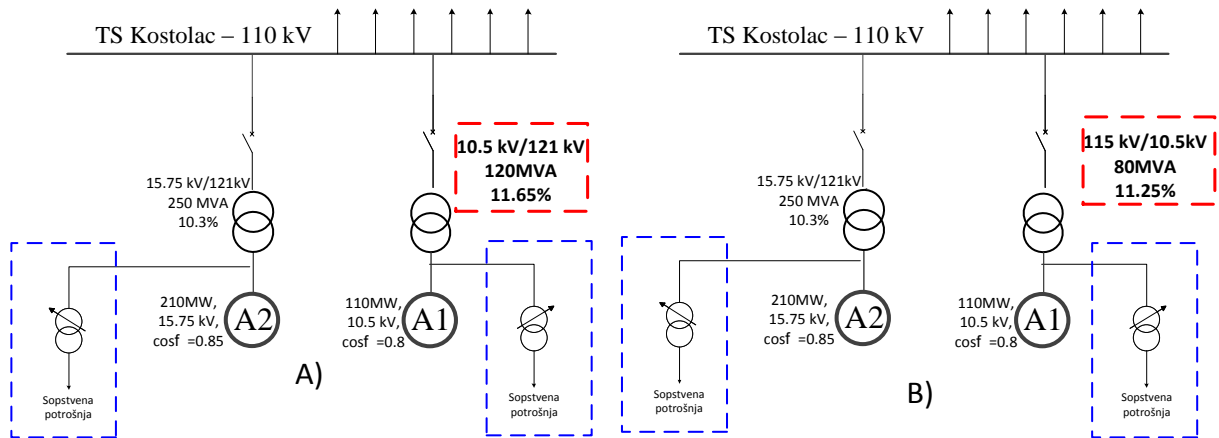
Tabela 2-I

	S_{n_VN} [Mva]	U_{n_VN} [kV]	U_{n_NN} [kV]	u_{KS} [%]
Blok-transformator A2	220	121	15,75	12
Postojeći blok-transformator A1	120	121	10,5	11,65
Privremeni blok-transformator A1	80	115	10,5	11,25
Razlika u % privremeni/postojeći blok-transformator A1	67	95	100	Neprimenjivo

3. POREĐENJE PRIVREMENOG I POSTOJEĆEG TRANSFORMATORA

Na Sl. 3-1 je prikazana uprošćena jednopolna šema elektrane sa dva bloka. Pored transformatora generatora A1 upisani su podaci originalnog i privremenog transformatora. Potrebno je proračunati dozvoljeni opseg aktivnih i reaktivnih snaga koji će operator bloka koristiti u toku upravljanja njegovim radnim režimom. Pri tome je bitno da ne dođe do preoterećenja blok-transformatora manje snage. Sa slike uočavamo da je reaktansa novog transformatora slična po vrednosti sa reaktansom starog blok transformatora. Snaga je značajno manja i iznosi 67% nominalne snage starog transformatora i 73% nominalne aktivne snage generatora. Tehnički minimum bloka nije ograničavajući faktor s obzirom na fleksibilnost specifičnog dizajna kotlovskeg postrojenja. Poređenjem nominalne snage privremenog transformatora i generatora uočava se da je rad sa snagama većim od 70MW moguć samo ukoliko se tokovi reaktivnih snaga održavaju u uskim opsezima. Nominalna snaga blok-transformatora od 80 MVA ograničava izlaznu snagu generatora na manje od 80 MW na niskonaponskoj strani blok-transformatora zbog uzimanja u obzir reaktivne snage potrebne za magnećenje transformatora, bez obzira da li se reaktivna snaga uzima iz mreže ili iz generatora. Takođe je potrebno obezbediti paralelan rad na mreži sa blokom A2. Parametri blok-transformatora bloka A2 prikazani su na slici Sl. 3-1 i dati u Tabeli 3-I. Prenosni odnos blok-transformatora generatora A2 nije izabran na identičan način kao i generatora A1. Nominalni napon visokonaponske VN strane iznosi 121 kV, a niskonaponske NN strane 15.75 kV što odgovara nominalnom naponu generatora A2. Nominalni napon VN strane privremenog transformatora je za približno 5% (u odnosu na nominalni napon tačke priključenja) niži u odnosu na nominalni napon VN strane blok-transformatora generatora A2. Razlika u prenosnim odnosima blok-transformatora ima za posledicu nejednaku raspodelu napona na generatorima, sve izraženo u r.j. Zbog uskog dopuštenog normalnog radnog opsega napona na krajevima generatora od $\pm 5\%$ nominalne vrednosti različiti prenosni odnosi dodatno utiču na suženje dozvoljenog radnog opsega na generatoru A1 ali se očekuje i dodatno ograničenje na generatoru A2 da bi generator A1 mogao da ostane vezan na mrežu. Prema tome pri definisanju radnih režima na generatoru A1 sa privremenim blok-transformatorom potrebno je u proračune uvesti kao ograničenje:

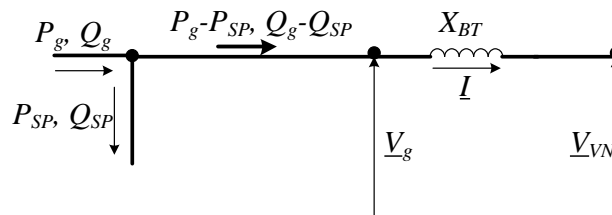
- Maksimalno dozvoljeno zagrevanje blok transformatora,
- Dopuštene vrednosti napona na krajevima generatora A1,
- Vrednost napona u tački priključenja.



Sl. 3-1 Uprošćena jednopolna šema elektrane TE “Kostolac A”:
 A) sa projektovanim blok-transformatorom generatora A1,
 B) sa privremenim blok-transformatorom generatora A1.

4. PRORAČUN DOZVOLJENOG RADNOG OPSEGA

Transformatori se mogu približno prikazati pomoću π -ekvivalentnih kola sa dva kraja, kao na Sl. 4-1. U rednoj grani uzeta je u obzir samo induktivnost dok su paralelne grane potpuno zanemarene. Ovo je uprošćeni model definisan sa naponima V_g i V_{VN} , reaktansom X_{BT} i ulaznom aktivnom i reaktivnom snagom. Sada je neophodno izvesti vezu ovog modela sa naponima



Sl. 4-1 Ekvivalentna šema generatora (sa cilindričnim rotorom) i blok-transformatora

Kompleksna struja I_{BT} koja teče kroz reaktansu blok-transformatora X_{BT} iznosi:

$$\underline{I}_{BT} = \frac{V_g - V_{VN}}{jX_{BT}} \quad (1)$$

gde su

V_g napon na ulaznom kraju π -ekvivalentnog kola, u ovom slučaju napon generatora,

V_{VN} napon na izlaznom kraju π -ekvivalentnog kola, napon u tački priključenja na mrežu tj. visokonaponska strana blok-transformatora.

Pretpostavljajući da se referentna fazna osa poklapa sa fazorom napona na krajevima generatora $\underline{V}_g = V_g \angle 0$ i da je u tački priključenja napon fazno pomeren za ugao δ , $\underline{V}_{VN} = V_{VN} \angle -\delta = V_{VN} e^{-j\delta}$, prividna, aktivna i reaktivna snaga na ulaznom kraju su dati sa:

$$\underline{S} = \underline{V} \underline{I}^* = P + jQ = \frac{V_g V_{VN} \sin(\delta)}{X_{BT}} + j \frac{V_g V_{VN} \cos(\delta) - V_{VN}^2}{X_{BT}}, \quad (2)$$

aktivna snaga ulaznog kraja iznosi:

$$P_g - P_{SP} = \frac{V_g V_{VN} \sin(\delta)}{X_{BT}}, \quad (3)$$

a reaktivna snaga ulaznog kraja je

$$Q_g - Q_{SP} = \frac{V_g^2 - V_g V_{VN} \cos(\delta)}{X_{BT}}, \quad (4)$$

gde su:

P_g aktivna snaga na izlazu iz generatora,

Q_g reaktivna snaga na izlazu iz generatora,

P_{SP} aktivna snaga sopstvene potrošnje ukoliko se uzima sa krajeva generator (ukoliko se uzima sa opšte grupe $P_{SP}=0$) i

Q_{SP} reaktivna snaga sopstvene potrošnje ukoliko se uzima sa krajeva generator (ukoliko se uzima sa opšte grupe $Q_{SP}=0$).

Eliminacijom ugla δ kombinovanjem (3) i (4)

$$Q_g - Q_{SP} = V_g \frac{V_g - V_{VN} \sqrt{1 - \left(\frac{(P_g - P_{SP}) X_{BT}}{V_g V_{VN}} \right)^2}}{X_{BT}} \quad (5).$$

dobija se izraz za reaktivnu snagu generatora (5) kao funkcija napona na krajevima generatora, napona u tački priključenja i generisane aktivne snage generatora (6).

$$Q_g = Q_g(V_g, V_{VN}, P_g) \quad (6).$$

Ciljna funkcija je da nađemo dozvoljene vrednosti reaktivne snage Q_g za različite vrednosti aktivne snage P_g i napona u tački priključenja tako da napon na krajevima generatora ostaje u granicama dozvoljenog i da je struja kroz transformator jednaka ili manja od nominalne struje transformatora.

Pošto reaktivna snaga zavisi od P_g , V_g i V_{VN} , za datu minimalnu i maksimalnu vrednost napona V_{gmin} i V_{gmax} na krajevima generatora, pri zadatoj vrednosti aktivne snage P_g (vrednost aktivne snage sa kojom blok trenutno radi) možemo izračunati dozvoljeni opseg reaktivnih snaga za različite vrednosti napona u tački priključenja V_{VN} :

$$Q_{g_V_{gmin}} = Q_g(V_{gmin}, V_{VN}, P_g) \quad (7)$$

$$Q_{g_V_{gmax}} = Q_g(V_{gmax}, V_{VN}, P_g) \quad (8).$$

Snaga koja teče kroz transformator mora biti manja od snage pri kojoj se dostiže nominalna struja transformatora I_{BTn}

$$\sqrt{3} \cdot I_{BTn}^2 \cdot V_g^2 \geq (P_g - P_{SP})^2 + (Q_g - Q_{SP})^2 \quad (9)$$

$$Q_{g_IBTN}(P_g, V_g) = \sqrt{\sqrt{3} \cdot I_{BTn}^2 \cdot V_g^2 - (P_g - P_{SP})^2} + Q_{SP} \quad (10).$$

Iz prethodnog izraza Q_g se može izraziti kao

$$Q_{g_IBTN} = Q_g(V_g, P_g) \quad (11).$$

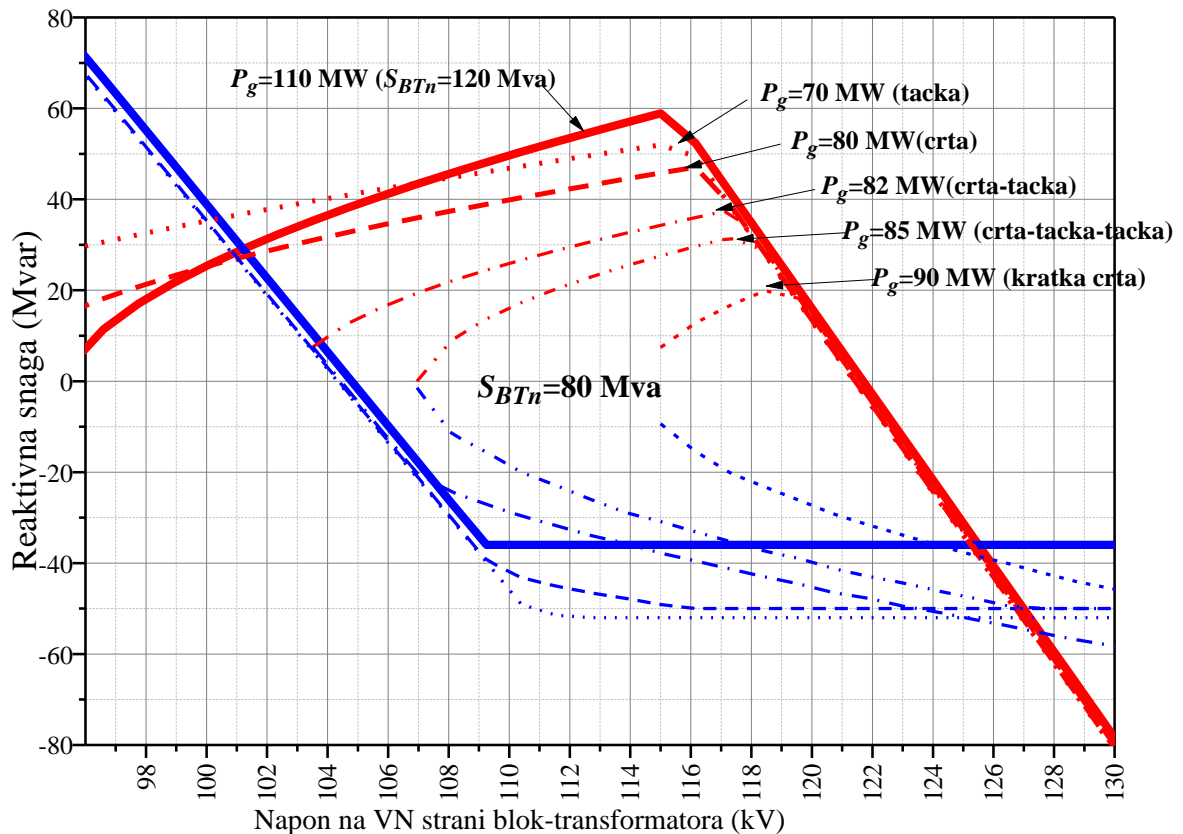
Prethodne izraze rešavamo primenom Levenberg-Marquardt metodom za ciljane vrednosti aktivne snage i, konačno, funkcije za minimalno i maksimalno raspoloživu reaktivnu snagu pri zadatoj snazi dobijaju se kao najkritičnija od svih vrednosti:

$$Q_{g\min}(P_g, V_{VN}) = \max(Q_{g_Vg\min}, Q_{g_Vg\max}, Q_{g_IBTN}) \quad (12)$$

$$Q_{g\max}(P_g, V_{VN}) = \min(Q_{g_Vg\min}, Q_{g_Vg\max}, Q_{g_IBTN}) \quad (13).$$

Mogućnost rada generatora izračunate su u prvoj iteraciji za nominalnu snagu generatora $P_g=110$ MW i nominalnu snagu blok-transformatora $S_g = 120$ Mva. U sledećim iteracijama proračuni su vršeni sa snagom blok-transformatora $S_g = 80$ Mva. Vrednost aktivne snage na krajevima generatora je predstavljala parametar i menjana je u koracima počev od 85 MW. Rezultati su prikazani na slici Sl. 4-2.

Na Sl. 4-2 je data veličina dozvoljenog reaktivnog opsega na krajevima generatora za napon u tački priključenja koji se čita na apcisi, [3]. Dozvoljeni opseg je ograničen minimalno dozvoljenom reaktivnom snagom predstavljenom plavom bojom i maksimalno dozvoljenom reaktivnom snagom, predstavljeno crvenom bojom. Duž između ove dve vrednosti pokazuje između kojih vrednosti reaktivna snaga na krajevima generatora mora da se menja i da pri tome napon na krajevima generatora bude u opsegu 0,9 do 1,05 r.j., reaktivna snaga generatora bude između dozvoljenih vrednosti za posmatranu aktivnu snagu, a prema pogonskom dijagramu generatora, i da struja blok-transformatora ne bude veća od nominalne. Za različite vrednosti aktivnih snaga linije su isctane različitim šablonima. Napajanje sopstvene potrošnje bloka se vrši sa krajeva generatora. Naponski opseg proširen je sa 0,95 r.j. na 0,9 r.j. zbog različitog prenosnog odnosa transformatora generatora A1 i A2. Transformator sopstvene potrošnje opremljen je automatskom regulacijom napona, a sam generator nije ugrožen pri radu sa naponom od 0,9r.j.

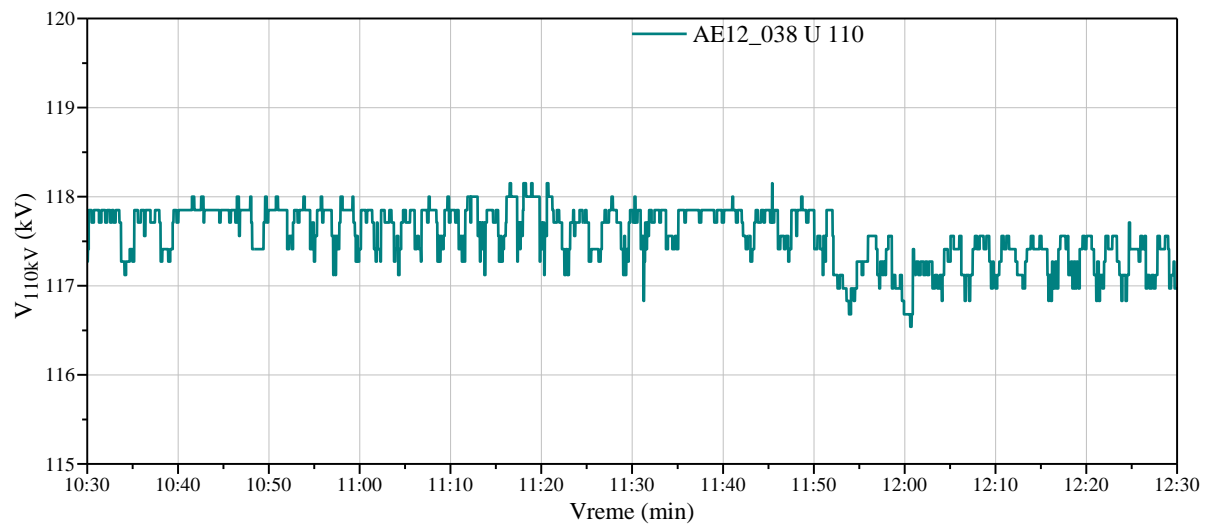
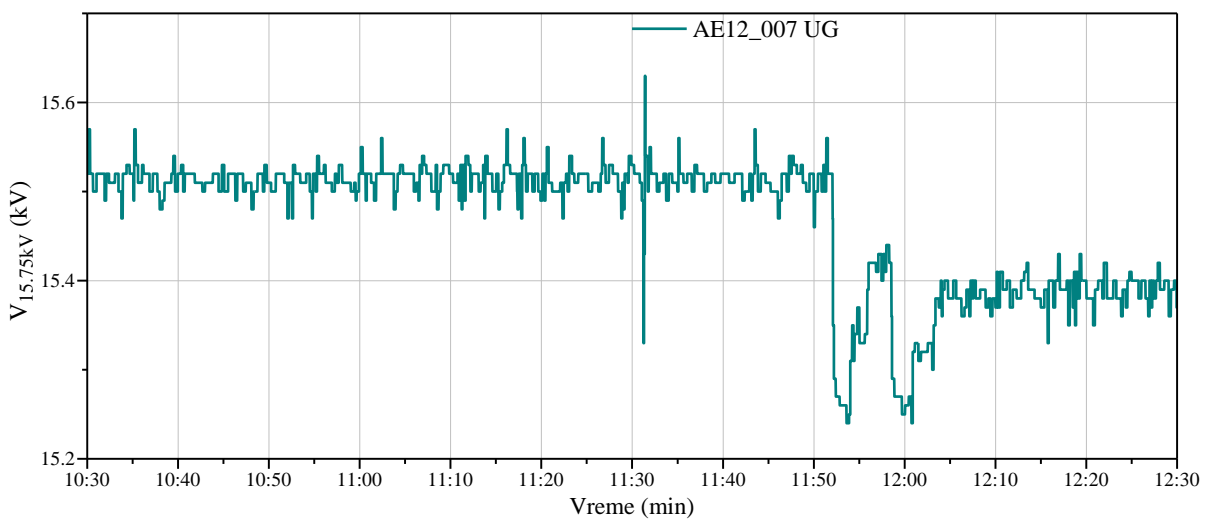
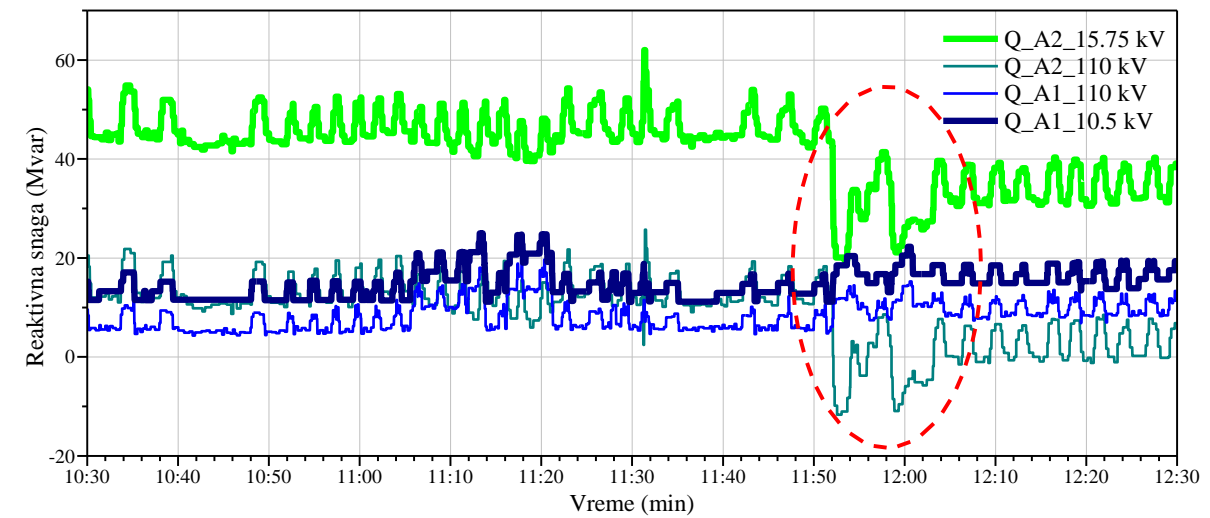


Sl. 4-2 Zavisnost maksimalno/minimalno dozvoljene reaktivne snage generatora Q_{gmax} / Q_{gmin} u zavisnosti od veličine napona na VN strani blok-transformatora za slučaj kada je aktivna snaga generatora $P_g=75$ MW, $P_g=80$ MW, $P_g=82$ MW, $P_g=85$ MW i $P_g=90$ MW i maksimalna snaga transformatora $S_g=80$ Mva.

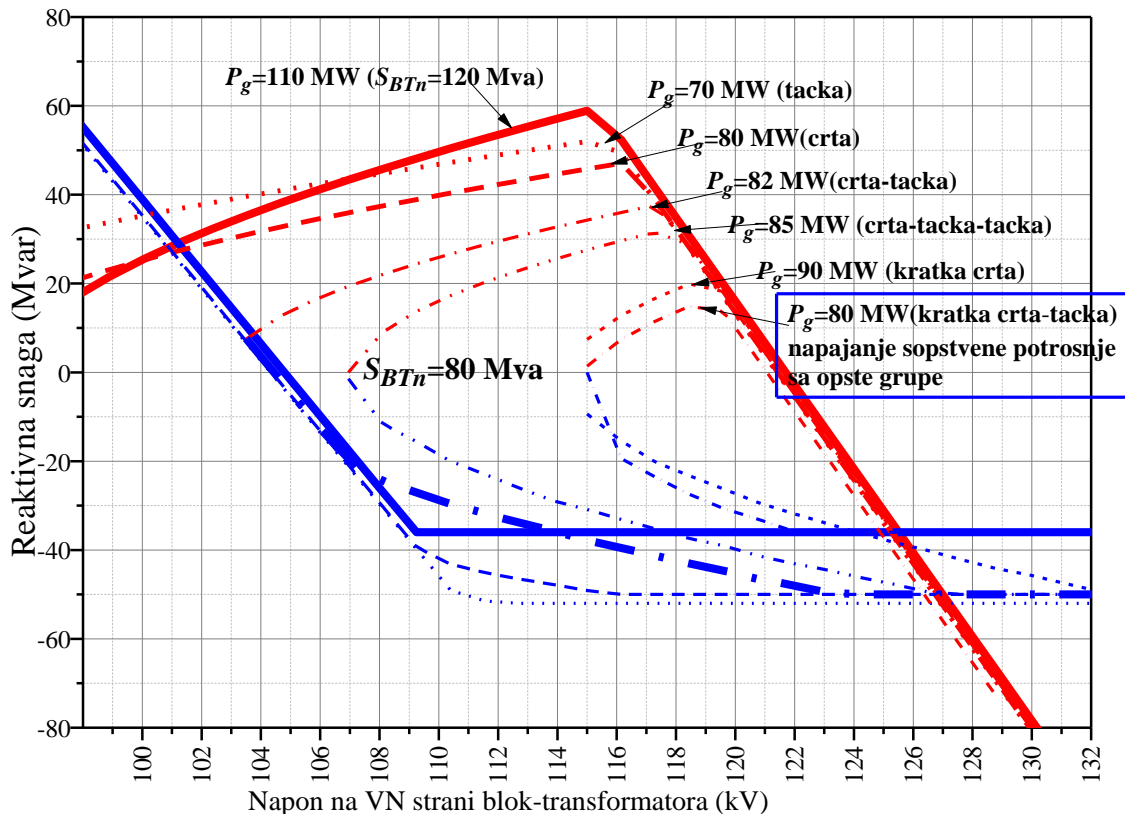
Debelim punim linijama prikazana je reaktivna mogućnost generatora pri nominalnoj aktivnoj snazi i snazi blok-transformatora $S_g = 120$ Mva. Nominalni radni opseg prikazan je kao referentni za potrebe utvrđivanja uticaja radnog režima na mogućnost naponske regulacije. Linijom tipa tačka-tačka prikazana je reaktivna mogućnost generatora i blok transformatora pri generisanoj aktivnoj snazi od 70 MW i snazi blok-transformatora $S_g = 80$ Mva. Ova linija pokazuje da je reaktivna mogućnost generatora u skoro potpunosti očuvana pa je u situaciji u mreži u kojima se traži značajno učešće generatora A1 u regulaciji napona moguće pružiti potpunu podršku prenosnoj mreži uz odgovarajuće snižavanje aktivne snage na 70 MW. Ukoliko je napon u mreži konstantan i nisu potrebne varijacije u reaktivnoj snazi moguće je raditi i sa višim vrednostima aktivnih snaga. Pri snazi generatora od 80 MW dozvoljena reaktivna oblast se sužava u induktivitetu za najviše 14 Mvar i suženje oblasti se smanjuje sa opadanjem napona u tački priključenja. Pri naponu 104 kV u tački priključenja ne javlja se suženje opsega u odnosu na nominalni režim. U kapacitivnoj oblasti je za $P_g = 80$ MW u potpunosti očuvana reaktivna mogućnost kao kod transformatora pune snage. Pri snazi generatora 90 MW reaktivna radna oblast generatora postaje uska. Na **Sl. 4-4** prikazan je normalan rad generatora na mreži sa snagama $P_{g:A1} = 77$ MW i $P_{g:A2} = 205$ MW. U toku normalnog rada u mreži dolazi do periodičnih poremećaja u naponu mreže 110 kV što se reflektuje na krajevima generatora oscilacijama reaktivne snage od približno 5 Mvar na generatoru A1 i 9 Mvar na generatoru A2. To znači da širina reaktivnog opsega ne sme biti manja od 10 Mvar na generatoru A1. Pri aktivnoj snazi od 90 MW rad na mreži nije moguć. Najširi opseg ima se pri naponu u tački priključenja od 119 kV i on iznosi ± 20 MVar. Pri $P_g = 80$ MW (linije crta-tačka-tačka) reaktivna oblast je sužena ali

pri naponima većim od 110 kV moguć je rad sa smanjenom reaktivnom podrškom mreži. Kapacitivna oblast je sužena u odnosu na nominalni režim. Ukoliko rukovalac bloka vodi računa o naponu sabirnica i po potrebi koriguje njegovu vrednost delovanjem na pobudu generatora A2 moguć je rad generatora A1 sa generisanom aktivnom snagom od 85 MW. Dijagram je iscrtan i za $P_g = 82$ MW kada je radna oblast u kapacitetu skoro u potpunosti očuvana, a u induktivnom području nešto sužena. Mogućnosti uticaja na napon mreže sa promenom nivoa generisane reaktivne snage generatora A2 su ograničene. Na **Sl. 4-4** su prikazani dijagrami generisanih reaktivnih snaga generatora A1 i A2, napon na sabirnicama 110 kV i napon na generatoru A2. Uokvireni detalj prikazuje delovanje na referencu napona generatora A2 koja je za posledicu imala promenu reaktivne snage od 32Mvar i promenu napona 0,75 kV. Nominalna reaktivna snaga generatora A2 iznosi 122 Mvar. Prema tome generatorom A2 može se, u slučaju potrebe povećati/sniziti napon sabirnica ali je taj uticaj relativno ograničen.

Situacija je unekoliko drugačija kada se napajanje sopstvene potrošnje bloka uzima sa opšte grupe, a ne sa krajeva generatora. U proračunima je uzeto da je veličina aktivne snage sopstvene potrošnje $P_{SP} = 10,2$ MW, a reaktivne $Q_{SP} = 4,4$ Mvar. Na **Sl. 4-3** je prikazan radni opseg generatora kada se snaga sopstvene potrošnje preuzima sa opšte grupe. Tada ukupno generisana aktivna snaga teče kroz blok-transformator pa je potrebno raditi sa opsezima koji odgovaraju aktivnim snagama manjim za približno 11Mva na **Sl. 4-4**.



Sl. 4-4 Normalan rad generatora na mreži sa snagama $P_{g:A1} = 77$ MW i $P_{g:A2} = 205$ MW



Sl. 4-5 Zavisnost maksimalno/minimalno dozvoljene reaktivne snage generatora Q_{gmax} / Q_{gmin} u zavisnosti od veličine napona na VN strani blok-transformatora za slučaj kada je aktivna snaga generator $P_g=75$ MW, $P_g=80$ MW, $P_g=82$ MW, $P_g=85$ MW i $P_g=90$ MW i maksimalna snaga transformatora $S_g=80$ Mva. Uokvireni detalj se odnosi na slučaj kada se sopstvena potrošnja generatora uzima sa opšte grupe.

5. POSTUPCI PRI RADU SA BLOK-TRANSFORMATOROM MANJE SNAGE OD SNAGE GENERATORA

Da bi se omogućilo rukovaocu da upravlja radnom tačkom generatora koji radi sa blok-transformatorom manje snage neophodno je da se izvrše proračuni raspoloživih reaktivnih snaga za različite vrednosti aktivnih snaga i napona u tački priključenja za 2 slučaja: kada se sopstvena potrošnja napaja sa krajeva generatora i kada se sopstvena potrošnja napaja iz opšte grupe. Potrebno je prepodesiti zaštite transformatora tako da odgovaraju privremenom rešenju.

Potrebno je prepodesiti i limiter maksimalne struje statora u okviru automatskog regulatora napona sistema za regulaciju pobude tako da odgovaraju maksimalno dozvoljenoj stuji blok-transformatora.

Sa dijagrama raspoloživih reaktivnih opsega potrebno je definisati snage pri kojima se ima pun raspoloživ reaktivni opseg i pri kojima je neophodno posebnu pažnju obratiti na napon u tački priključenja. U konkretnom slučaju za snage veće od 80 MW bilo je potrebno pratiti vrednosti napona u mreži i po potrebi delovanjem na pobudu generatora A2 povećati napon tako da se reaktivni opseg generatora A1 proširi. Uticaj ograničenja snage blok-transformatora u kapacitivnoj zoni je manji i potrebno ga je razmatrati tek pri snagama većim od 85 MW.

Ukoliko postoje sistemi za automatizaciju upravljanja reaktivnim snagama, kao što je uređaj za grupnu regulaciju reaktivnih snaga potrebno je prepodesiti radnu oblast na i ograničenja na operatorskoj stanici grupnog regulatora i zaštite na blok transformatoru. Na dalje grupni regulator upravlja radnim režimom generatora.

6. ZAKLJUČAK

U radu je prikazana mogućnost rada generatora koji je na mrežu povezan preko blok-transformatora znatno manje snage od projektovane. Rad sa privremenim blok-transformatorom imao je za cilj da se minimizuju gubici zbog neproizvedene aktivne snage pri kvaru na samom transformatoru. U radu su predstavljeni postupci i proračuni koje je neophodno sprovesti da bi se obezbedio bezbedan rad za sve delove opreme pri radu sa blok-transformatorom manje snage. Pokazano je da pri radu sa 80 MW (72% nominalne aktivne snage) generator nema značajno smanjenje mogućnosti regulacije napona, ostaje vezan na mrežu i doprinosi ostvarenju profita. Pokazano je da je moguć rad i sa višim aktivnim snagama pri čemu je neophodno aktivnije učešće rukovodaca u kontroli generatara. Posebno je istaknuta specifičnost bloka A1 u TE „Kostolac“ kod koga generator snage 110 MW radi sa dva kotla pa je moguć rad i sa nižim aktivnim snagama što čini dodatni kvalitet u svetlu pomoćnih sistemskih usluga u uslovima velikog učešća obnovljivih izvora koji se ne mogu prognozirati. Bitno je naglasiti da je dobro da se sopstvena potrošnja bloka napaja sa krajeva generatora jer se može raditi sa višim aktivnim snagama, a da pri tome bude očuvan reaktivni opseg. Automatizacija upravljanja radnim režimima generatora olakšava kontrolu blokova u ovakvim radnim režimima. Automatizacija može da omogući da se uzimanjem u obzir celokupnog niza, generator, sopstvena potrošnja blok-transformator generiše dozvoljena radna oblast i da se radna tačka svih delova uvek održava u bezbednim granicama u okviru adaptivne pogonske karte bloka. Koordinacijom sa osnovnim zaštitnim krugovima koji deluju u dva stepena, npr. kod transformatora, dodatno se podešavanjem zaštita u prvom i drugom stepenu može se balansirati između investicija, ostvarenih prihoda i upravljanja životnim vekom transformatora) može se postići optimalno upravljanje opremom, njenim životnim vekom. Na taj način se postiže bolje upravljanje opremom i produžava njen životni vek.

Proračuni raspoloživih opsega u tački priključenja i rezultati su prikazani u radu i treba da služe kao podloga rukovodcu za upravljanje radnom tačkom generatora u datoj situaciji.

7. ZAHVALNICA

Ovaj rad je podržalo Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja u okviru projekta “Povećanje energetske efiksnosti HE i TE EPS-a razvojem tehnologije u uređeja energetske elektronike za regulaciju i automatizaciju”, evidencioni broj TR 33024.

6 LITERATURA

- [1] *Pravila o radu prenosnog sistema*, Elektromreža Srbije, dostupno na http://www.ems.rs/page.php?kat_id=37
- [2] *C57.116-1989*, IEEE guide for transformers directly connected to generators
- [3] T.J. Miller, *Reactive Power Control in Electric Systems*, John Wiley & Sons, New York, 1982.

GENERATOR G1 IN SPP "KOSTOLAC A" LIMITATIONS WHEN OPERATING WITH STEP-UP TRANSFORMER OF LOWER RATED POWER

Jasna Dragosavac, Žarko Janda, Zoran Ćirić *

Jelena Nikolić, Dejan Žukovski, Zlatko Simeunović **

* Electrical Engineering Institute “Nikola Tesla”, University of Belgrade

** Public Enterprise „Elektroprivreda Srbije“, SPP Nikola Tesla - B

Belgrade

SERBIA

Abstract

In the SPP Kostolac, when temporarily replacing existing step-up transformer of unit A1 with a smaller one, 80 MVA, 115 kV / 10.5 kV, it was necessary to define the working area of the generator in the PQ diagram in such a way that the generator and the transformer are neither voltage nor temperature vulnerable at different operating conditions in the network.

The voltage at the generator's terminals must be within the limits of 95% to 105% of the rated value. The value of generated reactive power is dependent on the difference of stator voltage and step-up transformer high side voltage.

The calculations give permissible operating areas at different network conditions and generated real power level. These areas serve as a basis for the operator to run the generator and step-up transformer safely when step-up transformer's rated power is smaller than generator's.

Key words – step-up transformer, voltage, synchronous generator, capability curve.

* jasna.dragosavac @ieent.org