

ANALIZA TOKOVA SNAGA U SLUŽBI POPRAVKE FAKTORA SNAGE I PRORAČUN STRUJA KRATKIH SPOJEVA U MREŽI INDUSTRIJSKOG KOMPLEKSA NAPAJANOG IZ PRENOSNE MREŽE

LOAD FLOW ANALYSIS IN PURPOSE OF POWER FACTOR CORRECTION AND SHORT CIRCUIT CALCULATION IN THE NETWORK OF AN INDUSTRIAL COMPLEX SUPPLIED BY POWER TRANSMISSION GRID

Brankica POPOVIĆ ZDRAVKOVIĆ, Energoprojekt Entel a.d. Beograd, Srbija
Nada VRCELJ, Energoprojekt Entel a.d. Beograd, Srbija

KRATAK SADRŽAJ

Proces priključenja novog postrojenja na prenosnu mrežu sa sobom nosi obavezu da tokom svih očekivanih radnih režima novog postrojenja budu ispunjeni određeni zahtevi navedeni u „Pravilima o radu prenosnog sistema“ koje propisuje svaki operator prenosnog sistema. Ovi zahtevi se, između ostalog, odnose na ograničenja u smislu vrednosti napona i faktora snage u tački priključenja novog postrojenja na prenosnu mrežu. Dodatno, u procesu projektovanja, analize tokova snaga i struja kratkih spojeva su uobičajene i potrebne za potvrdu konfiguracije novoprojektovane mreže i proveru parametara električnih komponenti novog postrojenja, a prvenstveno njihovog kapaciteta. U radu je prikazana metodologija određivanja snage kondenzatorskih baterija za potrebe popravke faktora snage u tački priključenja, koje su predviđene projektom izgradnje novog postrojenja industrijskog kompleksa u Abu Dabiju. Analiza tokova snaga i proračun struja kratkih spojeva podrazumevaju simulaciju svih karakterističnih radnih režima u mreži koji se mogu očekivati tokom rada novog postrojenja, a u sprezi sa dozvoljenim radnim režimima u pogledu vrednosti napona i faktora snage u tački njegovog priključenja. U radu su prikazani rezultati analize tokova snage i proračuna struja kratkih spojeva za različite scenarije, gde su posmatrani odzivi i stanja relevantnih veličina u razmatranoj mreži. Na osnovu dobijenih rezultata formulisane su preporuke za izbor kapaciteta i koraka kondenzatorskih baterija, kao i preporuke za dimenzionisanje sabirnica, a uvažavajući očekivane vrednosti struja kratkih spojeva.

Ključne reči: analiza tokova snaga, dimenzionisanje opreme, industrijski kompleks, popravka faktora snage, proračun struja kratkih spojeva

ABSTRACT

The process of connecting a new facility to the transmission network is followed by the obligation of complying to certain requirements, specified within the "Grid Code" prescribed by each transmission system operator, and that during all expected operating regimes of the new facility. These requirements, among others, refer to limitations in terms of voltage and power factor values at the point of connection of the new facility to the transmission network. In addition, during the design process, load flow analysis and short circuit calculation are common and necessary to confirm the configuration of the newly designed network and check the parameters of the electrical components of the new facility, primarily their capacity. This paper presents the methodology for determining the size of capacitor banks in purpose of power factor correction at the point of connection, foreseen by the construction project of the new facility of an industrial complex in Abu Dhabi. Load flow analysis and short circuit calculation involves simulation of all characteristic operating regimes in the network that can be expected during the operation of the new facility, in conjunction with the permissible operating regimes in terms of voltage and power factor values at the point of its connection. The paper presents results of load flow analysis and short circuit calculation for different scenarios, where the responses and states of relevant parameters in the considered network are observed. Based on the obtained results, recommendations for selection of size and step of capacitor banks were formulated, as well as recommendations for the switchgear, taking into account the expected values of short-circuit currents.

Key words: equipment sizing industrial complex, load flow analysis, power factor correction, short circuit calculation

1. UVOD

U radu su predstavljeni rezultati analize tokova snaga i proračuna struja kratkih spojeva u modelu električne mreže koja napaja industrijski kompleks u Abu Dabiju. Industrijski kompleks koji je predmet ove analize predstavlja novo postrojenje za preradu sirove nafte na polju površine 1125 km², za koje je planirano da izgradnja bude realizovana u dve faze. U toku prve faze, odnosno do 2030. godine, se očekuje izgradnja i puštanje u rad jednog dela kompleksa, ukupne maksimalne snage oko 26 MVA. Kompleks bi bio u potpunosti završen tri godine kasnije i imao bi ukupnu maksimalnu snagu oko 61 MVA. U obe faze, po pitanju ukupne maksimalne snage kompleksa, projektom treba da bude uvažena margina od 25 %, tako da ukupna maksimalna snaga kompleksa iznosi oko 76.25 MVA. U toku projektovanja, osnovni ciljevi su bili korišćenje tehnologije *CO2 Capture* i proizvodnja nafte implementacijom ekološki održivog rešenja, što bi, kao rezultat, imalo smanjenje emisije CO₂ i poboljšanje energetske efikasnosti u proizvodnji nafte. Važno je napomenuti da je analiza predstavljena u ovom radu deo kompleksnog projekta koji je uspešno priveden kraju.

Kako bi simulacije tokova snage pri različitim pogonskim stanjima budućeg industrijskog kompleksa bile verodostojne, razvijen je detaljan model interne mreže kompleksa u okviru koga su modelovane komponente mreže svih naponskih nivoa koji će biti korišćeni pri eksploataciji ovog postrojenja. Na osnovu prirode tehnoloških procesa koji će se odvijati na naftnom polju definisana je potreba za napajanjem električnom energijom opreme sledećih radnih napona: 0.415 kV, 3.3 kV, 6.6 kV, 11 kV, 33 kV i 220 kV. Individualno su modelovani svi generatori i transformatori, motori snage veće od 10 MW, kao i pripadajuća kablovska i nadzemna mreža. Ostali potrošači su modelovani po grupama na osnovu njihovih karakteristika (naponski nivo, namena opreme i sl.).

Na osnovu rezultata analize tokova snaga date su preporuke sa aspekta zadovoljenja zahteva za priključenje na prenosnu mrežu u Abu Dabiju (*TRANSCO – The electricity Grid Code*), kako u pogledu vrednosti napona i faktora snage u tački priključenja, tako i u vezi sa potrebnom snagom kondenzatorskih baterija na sabirnicama naponskog nivoa 33 kV. Pomenuti zahtevi se odnose na sve posmatrane radne režime industrijskog kompleksa. Dodatno, simulacijom tokova snaga izvršena je verifikacija izabranih kapaciteta električnih elemenata mreže, kao i provera da li vrednosti napona na svim naponskim nivoima mreže, u svim radnim režimima, mogu biti održani u dozvoljenom opsegu.

Proračun struja kratkih spojeva je izvršen radi procene očekivanih mehaničkih i termičkih naprezanja usled pojave struja kratkih spojeva za sve sabirnice novoprojektovanog postrojenja, a sve u cilju očuvanja bezbednosti mreže i pouzdanosti napajanja potrošača ovog industrijskog kompleksa. Osim maksimalnih vrednosti struja kratkih spojeva, analizirane su i njihove minimalne vrednosti za potrebe podešenja zaštitnih uređaja.

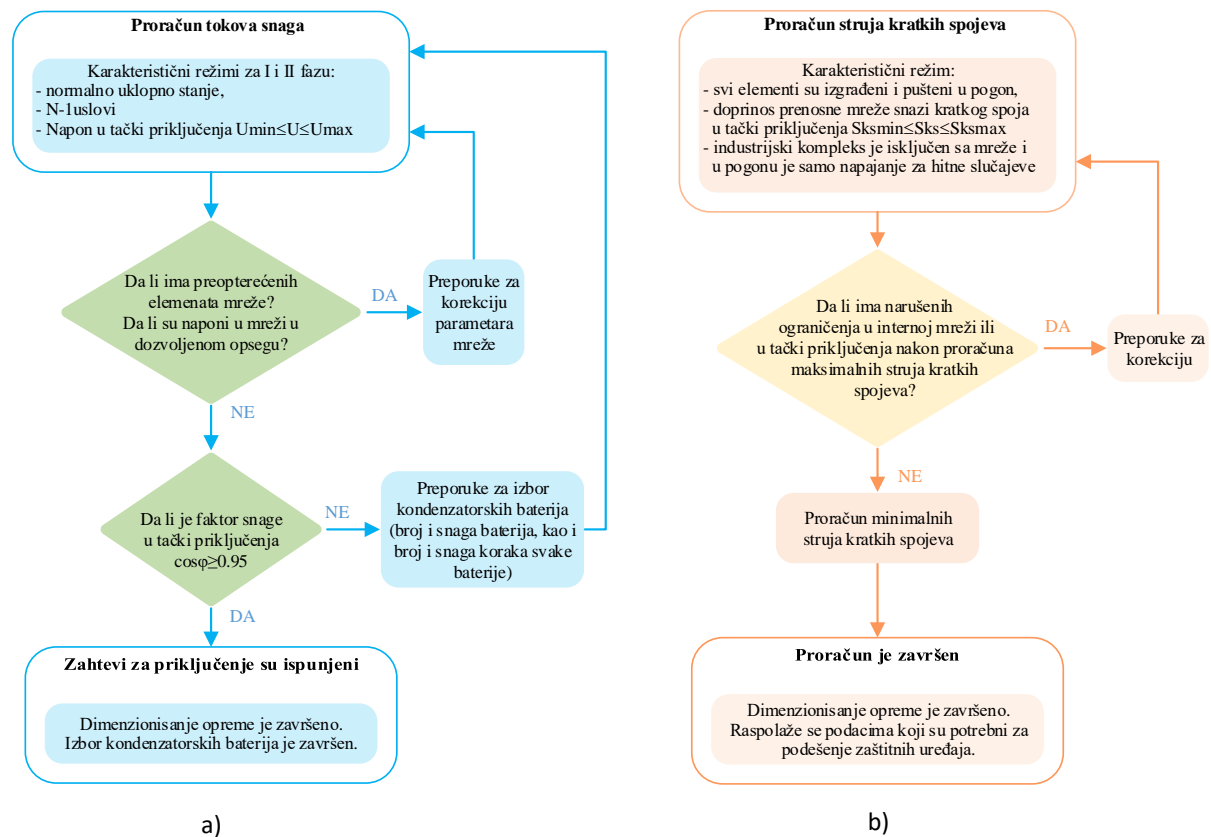
Za kreiranje ekvivalentnog modela posmatrane mreže kao i sprovođenje simulacija i proračuna u okviru ovog rada korišćen je softverski paket ETAP, namenjen analizi, ispitivanju i projektovanju elektroenergetskih sistema.

2. METODOLOGIJA

Proračuni tokova snaga po granama elektroenergetske mreže i određivanje naponskih prilika u čvorovima mreže predstavljaju polaznu osnovu za sve ostale vrste proračuna, i prema tome su izuzetno važni u svim fazama projektovanja. Simulacijama tokova snaga pri karakterističnim pogonskim stanjima mreže može se utvrditi ili potvrditi topologija mreže, kao i osnovni električni parametri elemenata mreže. Proračuni tokova snaga se koriste u procesu planiranja, eksploatacije i upravljanja sistemima. Kao rezultati u ovim proračunima za analizirani radni režim se generišu vrednosti aktivne i reaktivne snage na nadzemnim i kablovskim vodovima i transformatorima, njihova opterećenost i gubici, kao i naponske prilike na sabirnicama.

Tok aktivnosti koje su sprovedene u toku simulacija tokova snaga radi popravke faktora snaga u tački priključenja industrijskog kompleksa, koji je tema ovog rada, je prikazan na Slici 1 (a). Za potrebe samog proračuna, odnosno za rešavanje balansnih jednačina sistema, je korišćen *Newton Raphson-ov* iterativni postupak, koji je integralni deo softverskog paketa ETAP.

Nakon ustanovljenja korektnog ekvivalentnog modela mreže, pristupilo se sprovođenju simulacija za sve radne režime koji se smatraju mogućim u toku eksploatacije ovog postrojenja, a u sprezi sa očekivanim naponskim prilikama u tački njegovog priključenja. Osim dimenzionisanja opreme koje je sprovedeno u skladu sa principima konkretnih tehničkih specifikacija i kriterijuma, na osnovu proračuna tokova snaga u modelu za sve posmatrane radne režime, su definisani i zahtevi za popravku faktora snage u tački priključenja industrijskog postrojenja. Nakon toga je izvršena simulacija tokova snaga sa uključenim predloženim merama kompenzacije reaktivne snage kako bi se procenio njihov uticaj na sve relevantne parametre interne mreže postrojenja, kao i na prenosnu mrežu na koju se postrojenje priključuje.



Slika 1 – Metodologija za proračun tokova snaga i struja kratkih spojeva

U okviru ovog rada je istražen zahtev prenosne mreže da vrednost faktora snage ($\cos\varphi$) u tački priključenja u svim režimima rada postrojenja ne bude manja od 0,95. Kako bi se ispunio ovaj zahtev, odabrane su odgovarajuće snage kondenzatorskih baterija koje će biti uključene u mrežu. U nastavku je data metodologija za izbor potrebne snage kondenzatorskih baterija.

Ako je proračun tokova snaga u režimu rada bez kondenzatorskih baterija proizveo vrednosti aktivne snage P_1 , reaktivne snage Q_1 i faktora snage $\cos\varphi_1$, gde je vrednost $\cos\varphi_1$ manja od željene, 0,95. Da bi se postigao cilj da $\cos\varphi_2 \geq 0,95$, mora se odrediti nova vrednost za Q_2 , korišćenjem vrednosti P_1 i $\cos\varphi_2 = 0,95$. Prema ovome se nova vrednost za reaktivnu snagu tada izračunava na sledeći način:

$$Q_2 = P_1 \cdot \tan[\cos^{-1}(0,95)]$$

Na osnovu izračunate vrednosti, odgovarajuća ukupna snaga kondenzatorskih baterija kojom se može regulisati faktor snage na željeni nivo određena je kao:

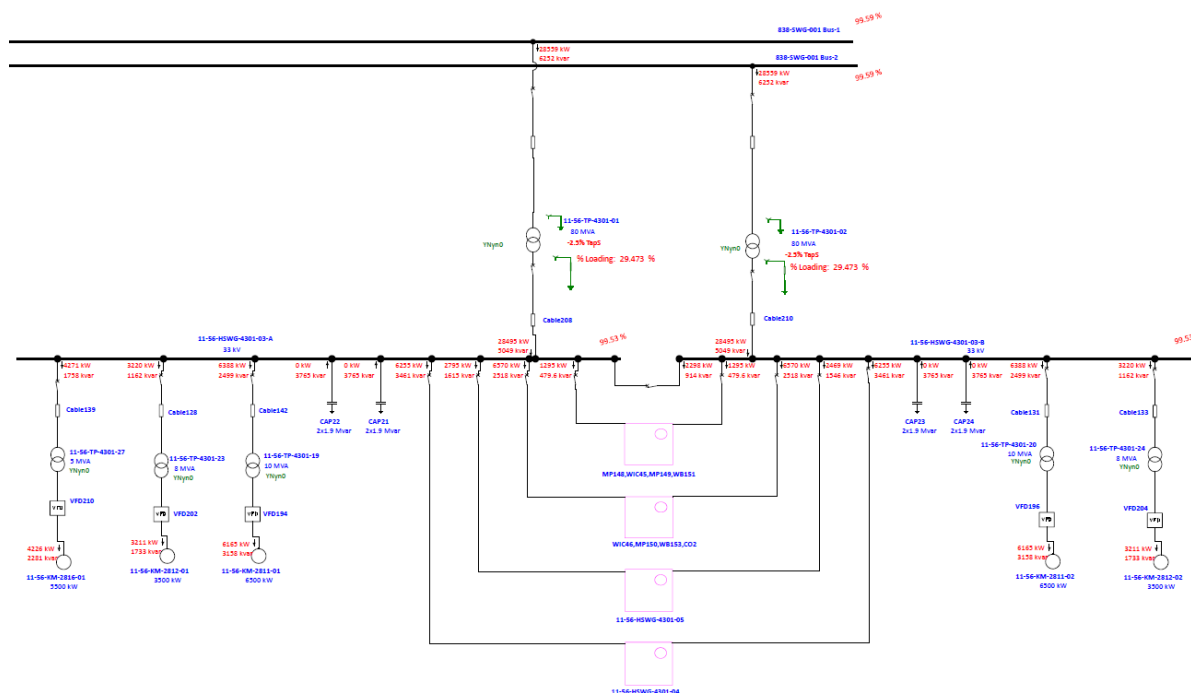
$$Q_B = Q_1 - Q_2$$

Ove vrednosti su zaokružene u skladu sa komercijalno dostupnim veličinama kondenzatorskih baterija. Pored toga, izvršene su i analize na osnovu kojih je data preporuka u vezi sa brojem višestepenih kondenzatorskih baterija i snagom koraka svake od njih radi usklađivanja sa raznim nivoima opterećenja – cilj je da se u svim radnim režimima postrojenja u tački priključenja ima faktor snage jednak ili veći od 0,95.

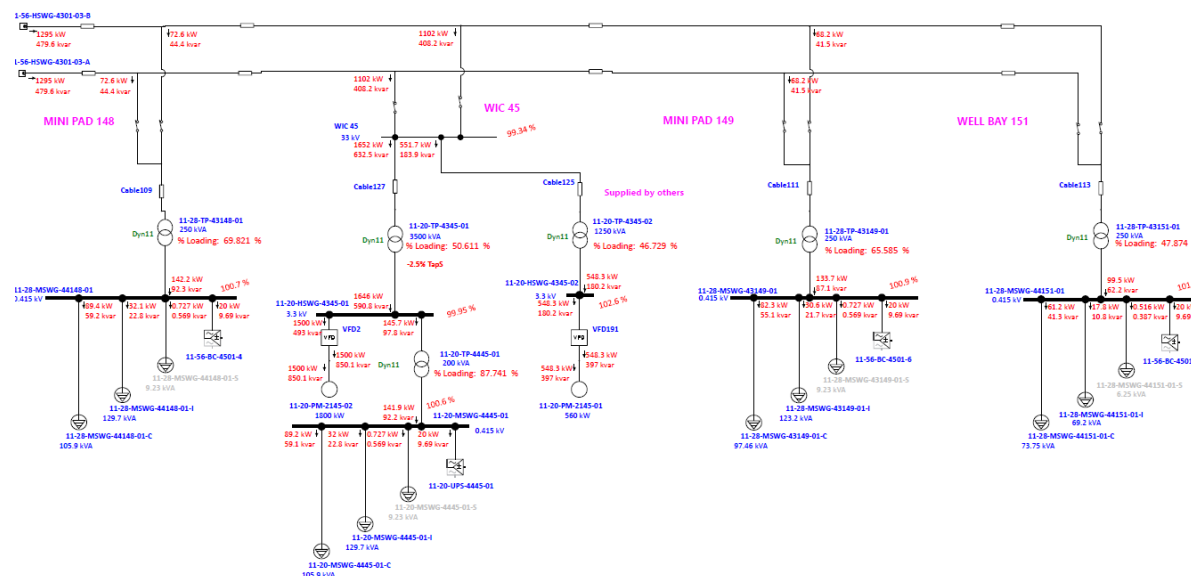
Proračun struja kratkih spojeva je izvršen u modelu mreže koji predstavlja postrojenje kada su svi radovi završeni i postrojenje je u pogonu, odnosno stanje koje će se imati 2033. godine. Uticaj priključenja novog industrijskog kompleksa na prenosnu mrežu je razmatran za različite nivoe snage kratkog spoja (S_{ks}) na mestu priključenja $S_{ksmin} \leq S_{ks} \leq S_{ksmax}$. Tok aktivnosti koje su bile sprovedene za potrebe dimenzionisanja sabirnica i pripadajuće rasklopne opreme u uslovima povećanih mehaničkih i termičkih naprezanja pri kratkim spojevima je prikazan na Slici 1 (b). Proračun struja kratkih spojeva sproveden u ovoj analizi zasnovan je na principima internacionalnog standarda IEC 60909 za proračun struja kratkih spojeva u trofaznim sistemima naizmenične struje.

3. REZULTATI ANALIZE TOKOVA SNAGA

Budući da je prema Grid Code-u nacionalnog operatera prenosne mreže Abu Dabija (*TRANSCO – The electricity Grid Code*) dozvoljena varijacija napona na svim naponskim nivoima $\pm 5\%$ u normalnim uslovima, a posebno $\pm 10\%$ za kratko vremensko trajanje za sabirnice naponskog nivoa 220 kV, u analizi su obuhvaćeni scenariji sa vrednostima od 90 %, 100 % i 110 % nazivnog napona u tački priključenja. Ove vrednosti su izabrane kako bi se u analizu uključili svi granični slučajevi, veoma značajni za dimenzionisanje kondenzatorskih baterija, ali i ostale opreme. Dalje, ograničenje od $\pm 5\%$ primenjeno je na vrednosti napona u svim čvorovima mreže novoprojektovanog postrojenja, koji obuhvataju naponske nivoe: 220 kV, 33 kV, 11 kV, 6.6 kV, 3.3 kV i 0.415 kV. Simulirani scenariji u okviru proračuna tokova snaga dati su u Tabeli 1. U ovoj analizi predstavljena su dva nivoa potrošnje, potrošnja 1 (26 MVA) i potrošnja 2 (61 MVA), spregnuti sa različitim naponskim uslovima na POC (*Point Of Connection*), za slučajeve kada je $V_{POC} [\%] = \{90,100,110\}$ za normalni radni režim gde su svi elementi mreže raspoloživi i u pogonu. Dodatno, analiziran je i slučaj ispada jednog 33 kV kablovskog voda, u uslovima kada je $V_{POC} [\%] = 100$ za oba nivoa potrošnje. Izgled dela mreže industrijskog kompleksa, koja je predmet ove analize, prikazan je na Slici 2a i Slici 2b.



Slika 2a – Jednopolna šema dela mreže razmatranog industrijskog kompleksa – deo 1



Slika 2b – Jednopolna šema dela mreže razmatranog industrijskog kompleksa – deo 2

Na Slici 2a može se uočiti tačka priključenja naponskog nivoa 220kV, ali i pojednostavljeno prikazani delovi interne mreže postrojenja sa simbolom kompozitne mreže u softverskom paketu ETAP. Slika 2b predstavlja sadržaj jednog od ova četiri simbola sa prethodne slike.

Tabela 1 - Opis izvedenih scenarija u okviru proračuna tokova snaga

Scenarij	Radni režim	Vrednost napona na POC (%)	Status kondenzatorskih baterija	Potrošnja 1	Potrošnja 2
1A	Normalni	100	-	+	+
1B	Normalni	100	4 jedinice x 2 koraka		+
1C	Normalni	100	2 jedinice x 1 korak	+	
2A	Normalni	110	-	+	+
2B	Normalni	110	4 jedinice x 2 koraka		+
2C	Normalni	110	2 jedinice x 1 korak	+	
3A	Normalni	90	-	+	+
3B	Normalni	90	4 jedinice x 2 koraka		+
3C	Normalni	90	2 jedinice x 1 korak	+	
4A	N-1	100	-	+	+
4B	N-1	100	4 jedinice x 2 koraka		+
4C	N-1	100	2 jedinice x 1 korak	+	

Sprovođenjem simulacija prema datim scenarijima u skladu sa predstavljenom metodologijom, proizvedeni su rezultati proračuna tokova snaga, kao i zaključak o potrebnoj snazi kondenzatorskih baterija za oba nivoa potrošnje:

Potrošnja 1 - 2 jedinice x 1 korak x 1,9 MVar = 3,8 MVar;

Potrošnja 2 - 4 jedinice x 2 koraka x 1,9 MVar = 15,2 MVar.

U Tabeli 2 dati su rezultati proračuna tokova snaga u službi popravke faktora snage za sve posmatrane scenarije, gde se može primetiti se da uključenjem kondenzatorskih baterija u izabranom iznosu postiže željena vrednost faktora snage.

Tabela 2 - Rezultati proračuna tokova snaga u službi popravke faktora snage

Scenarij	Radni režim	Vrednost napona na POC (%)	Status kondenzatorskih baterija	Faktor snage (%)	
				Potrošnja 1	Potrošnja 2
1A	Normalni	100	-	92,80	89,42
1B	Normalni	100	4 jedinice x 2 koraka	-	97,69
1C	Normalni	100	2 jedinice x 1 korak	96,59	-
2A	Normalni	110	-	93,61	90,39
2B	Normalni	110	4 jedinice x 2 koraka	-	98,23
2C	Normalni	110	2 jedinice x 1 korak	97,33	-
3A	Normalni	90	-	91,89	88,08
3B	Normalni	90	4 jedinice x 2 koraka	-	97,00
3C	Normalni	90	2 jedinice x 1 korak	95,95	-
4A	N-1	100	-	90,76	84,52
4B	N-1	100	4 jedinice x 2 koraka	-	95,26
4C	N-1	100	2 jedinice x 1 korak	95,33	-

Istovremeno je utvrđeno da su predložene nazivne snage transformatora i prenosne moći nadzemnih i kablovskih vodova odgovarajuće za sve posmatrane scenarije, što je delom prikazano u Tabeli 3. Dodatno, potvrđeno je da regulacioni opseg regulacionih transformatora, omogućava da naponske prilike u čvorovima predmetne mreže ostanu u opsegu dozvoljenih vrednosti od 95 % - 105 % svoje nazivne vrednosti, kao što je dato u Tabeli 4. U daljem tekstu prikazani su rezultati proračuna za nivo potrošnje maksimalne snage od oko 61 MVA, tj. **Potrošnje 2**.

Rezultati u Tabeli 3 pokazuju da je varijacija opterećenja transformatora minimalna osim kod transformatora prenosnog odnosa 220/34,5 kV, što upućuje na dobro odabrane električne parametre transformatorskih jedinica kao i opseg i korak regulacije napona. Isti zaključak važi i za transformatore prenosnog odnosa 220/34,5 kV sa izuzetkom kod scenarija 4a i 4b koji obračuju u uslov N-1 u mreži. Za većinu transformatora u mreži se može reći da je njihovo opterećenje u zoni optimalnog, imajući u vidu generisanje gubitaka u transformatorima, kako zavisnih od opterećenja, tako i nezavisnih.

Tabela 3 - Opterećenje transformatora za scenarije u okviru nivoa **Potrošnje 2**

Oznaka transformatora	Prenosni odnos (kV/kV)	S ONAN/ OFAF (MVA)	Opterećenje transformatora (%)								Max Opt (%)
			1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B	
11-56-TP-4301-01	220/34,5	80/100	32,5	29,5	32,2	29,3	32,9	29,7	0,9	1	32,9
11-56-TP-4301-02	220/34,5	80/100	32,5	29,5	32,2	29,3	32,9	29,7	68,4	60,5	68,4
11-56-TP-4301-03	33/11,5	20/25	28,6	28,6	28,7	28,5	28,6	28,6	28,6	28,6	28,7
11-56-TP-4301-04	33/11,5	20/25	28,6	28,6	28,7	28,5	28,6	28,6	28,6	28,6	28,7
11-77-TP-4302-01	33/11,5	20/25	22,8	22,7	22,7	22,8	22,8	22,8	22,8	22,8	22,8
11-77-TP-4302-02	33/11,5	20/25	22,8	22,7	22,7	22,8	22,8	22,8	22,8	22,8	22,8
11-56-TP-4301-27	33/6,9	5	70	70	70	70	70,1	70	70	70	70,1
11-56-TP-4301-05	33/3,45	10/12,5	25,9	25,9	25,9	25,9	25,9	25,9	25,9	25,9	25,9
11-56-TP-4301-06	33/3,45	10/12,5	23,4	23,3	23,4	23,4	23,4	23,4	23,3	23,3	23,4
11-20-TP-4345-01	33/3,45	3,5	50,6	50,6	50,6	50,5	50,7	50,6	50,6	50,8	50,8
11-20-TP-4346-01	33/3,45	3,5	50,6	50,8	50,8	50,6	50,7	50,7	50,5	50,7	50,8
11-20-TP-4345-02	33/3,45	1,25	46,7	46,7	46,7	46,7	46,7	46,7	46,7	46,7	46,7
11-20-TP-4346-02	33/3,45	1,25	46,7	46,7	46,7	46,7	46,8	46,7	46,7	46,7	46,8
11-28-TP-43148-01	33/0,433	0,25	69,9	69,8	69,9	70,5	68,5	69,4	70	69,4	70,5
11-28-TP-43149-01	33/0,433	0,25	65,7	65,6	65,6	66,3	64,3	65,2	65,8	65,2	66,3
11-28-TP-43150-01	33/0,433	0,25	69,3	69,2	69,3	69,9	68	68,9	68,7	68,1	69,9
11-28-TP-43151-01	33/0,433	0,25	47,9	47,9	47,9	47,9	47,8	47,9	47,9	47,9	47,9
11-28-TP-43153-01	33/0,433	0,25	46,6	46,6	46,6	46,6	46,5	46,6	46,6	46,5	46,6
11-56-TP-4401-07	11/0,433	2,5	37,1	37	37,3	37,2	37	37	37,1	37	37,3
11-56-TP-4401-08	11/0,433	2,5	28,1	28,1	28,3	27,9	28,1	28,1	27,9	28,1	28,3
11-56-TP-4401-09	11/0,433	2,5	40,1	40,1	40,5	39,5	40,1	40	39,4	40	40,5
11-56-TP-4401-10	11/0,433	2,5	35	35	35,2	34,6	35	34,9	34,5	34,9	35,2
11-56-TP-4401-11	11/0,433	2,5	47,1	47	48,1	45,4	47	46,7	47,3	46,8	48,1
11-56-TP-4401-12	11/0,433	2,5	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2
11-77-TP-4402-03	11/0,433	2,5	52,8	51,8	51,8	52,3	52,7	52,4	53,3	52,8	53,3
11-77-TP-4402-04	11/0,433	2,5	25,2	24,9	24,9	25	25,2	25,1	25,3	25,2	25,3
11-56-TP-4401-17	3,3/0,433	2,5	47,8	47,8	47,8	47,8	47,8	47,8	47,8	47,8	47,8
11-56-TP-4401-18	3,3/0,433	2,5	34,1	34,1	34,1	34,2	34,1	34,2	34,1	34,1	34,2
11-56-TP-4401-15	3,3/0,433	0,8	78,1	78,1	78,1	78,2	78,1	78,1	78,1	78,1	78,2
11-20-TP-4445-01	3,3/0,433	0,2	87,9	87,7	87,8	85,1	89,5	87,2	88	90,8	90,8
11-20-TP-4446-01	3,3/0,433	0,2	86,9	90,1	90,2	87,7	88,5	89,6	86,2	88,7	90,2

Na osnovu rezultata datih u Tabeli 4 može se zaključiti da pri graničnim vrednostima napona na POC, tj. $V_{POC} [\%] = \{90,100,110\}$, vrednosti napona na sabirnicama u internoj mreži minimalno variraju oko nazivne vrednosti za sve naponske nivoe. Ovo je posledica dobro izabranih prenosnih odnosa i opsega i koraka regulacije transformatora, ali i dobro izabranih električnih parametara kablova, trasa i načina polaganja, uprkos tome da na dužine kablova nije moglo značajno da se utiče zbog velike površine koju zauzima novo polje nafte.

Na osnovu dobijenih rezultata zaključuje se da priključenje novoprojektovanog postrojenja za preradu nafte neće ugroziti normalni rad prenosne mreže u pogledu tokova snaga, ali, isto tako, zahtevi Grid Code-a mogu biti zadovoljeni u ovom slučaju, uz uključanje kondenzatorskih baterija na sabirnice 33 kV ukupnog kapaciteta 15,2 MVar sa korakom od 1,9 MVar.

Tabela 4 - Naponske prilike na sabirnicama za scenarije u okviru nivoa Potrošnje 2

Sabirnice	Naponski nivo (kV)	Napon (%)							
		1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B
838-SWG-001 Bus-1	220	99,5	99,59	109,56	109,64	89,42	89,52	99,46	99,56
838-SWG-001 Bus-2	220	99,5	99,59	109,56	109,64	89,42	89,52	99,46	99,56
11-56-HSWG-4301-03-A	33	99,63	99,53	99,57	100,18	98,36	99,18	99,9	99,36
11-56-HSWG-4301-03-B	33	99,63	99,53	99,57	100,18	98,36	99,18	99,9	99,36
11-56-HSWG-4301-04-A	11	100,74	100,64	99,4	98,76	100,66	100,27	101,03	100,46
11-56-HSWG-4301-04-B	11	100,74	100,64	99,4	98,76	100,66	100,27	101,03	100,46
11-77-HSWG-4302-01-A	11	100,47	99,1	99,14	99,77	100,37	99,99	101,09	100,5
11-77-HSWG-4302-01-B	11	100,47	99,1	99,14	99,77	100,37	99,99	101,09	100,5
11-20-HSWG-4345-01	3,3	100,04	99,95	99,98	98,04	101,25	99,58	100,14	102,13
11-20-HSWG-4345-02	3,3	102,72	102,62	102,66	103,3	101,37	102,24	102,82	102,25
11-20-HSWG-4346-01	3,3	99,35	99,25	99,28	99,92	100,53	98,88	101,25	100,66
11-20-HSWG-4346-02	3,3	102,01	101,91	101,95	102,6	100,65	101,53	101,36	100,78
11-56-HSWG-4301-05-A	3,3	99,96	101,14	99,9	99,24	101,17	99,49	100,24	100,97
11-56-HSWG-4301-05-B	3,3	100,03	101,22	99,97	99,31	99,98	99,57	100,32	101,04
11-56-HSWG-4301-05-C	3,3	100,03	101,22	99,97	99,31	99,98	99,57	100,32	101,04
11-20-MSWG-4445-01	0,415	100,67	100,57	100,61	98,62	101,91	100,19	100,77	102,8
11-20-MSWG-4446-01	0,415	99,96	102,2	102,24	100,54	101,17	101,81	99,49	101,3
11-28-MSWG-43149-01	0,415	100,95	100,85	100,89	101,51	99,64	100,48	101,05	100,49
11-28-MSWG-44148-01	0,415	100,79	100,69	100,73	101,35	99,48	100,32	100,89	100,33
11-28-MSWG-44150-01	0,415	99,94	99,85	99,88	100,51	98,62	99,47	99,31	98,75
11-28-MSWG-44151-01	0,415	101,72	101,62	101,66	102,31	100,37	101,24	101,82	101,25
11-28-MSWG-44153-01	0,415	100,86	100,76	100,8	101,45	99,49	100,38	100,21	99,62
11-56-E-6101	0,415	101,54	102,82	101,48	100,77	101,49	101,05	101,85	102,63
11-56-ESWG-4401-07	0,415	101,54	102,82	101,48	100,77	101,49	101,05	101,85	102,63
11-56-MDB-4401-01A	0,415	101,14	101,04	102,31	99,11	101,06	100,66	98,85	100,86
11-56-MDB-4401-02	0,415	101,54	102,82	101,48	100,77	101,49	101,05	101,85	102,63
11-56-MDB-4401-02A	0,415	101,2	101,1	102,37	99,16	101,11	100,71	98,9	100,91
11-56-MSWG-4400-08-A	0,415	101,85	103,11	101,78	101,08	103,15	101,35	102,15	102,92
11-56-MSWG-4400-08-B	0,415	101,26	102,54	101,19	100,48	101,2	100,76	101,57	102,34
11-56-MSWG-4401-01-A1	0,415	100,81	100,71	101,96	101,29	100,73	100,33	101,11	100,53
11-56-MSWG-4401-01-B1	0,415	101,23	101,13	102,4	99,2	101,15	100,75	98,94	100,95
11-56-MSWG-4401-02-A	0,415	101,14	101,04	102,31	99,11	101,06	100,66	98,85	100,86
11-56-MSWG-4401-02-B	0,415	101,2	101,1	102,37	99,16	101,11	100,71	98,9	100,91
11-56-MSWG-4401-03-A	0,415	100,88	100,78	102,01	98,89	100,8	100,41	101,18	100,6

4. REZULTATI PRORAČUNA STRUJA KRATKIH SPOJEVA

Proračun struja kratkih spojeva je izvršen za nivo potrošnje maksimalne snage od oko 61 MVA, sa svim elementima mreže u pogonu što obuhvata poslednju fazu izgradnje postrojenja za preradu nafte. Proračun je urađen uvažavajući principe internacionalnog standarda IEC 60909, što uključuje primenjivanje faktora c , koji se koriste za uzimanje u obzir mogućih varijacija napona sistema sa vrednostima datim u Tabeli 5.

Tabela 5 - Vrednosti faktora c prema standardu IEC 60909

Naponski nivo	c_{max}	c_{min}
< 1 kV	1,05	0,95
> 1 kV	1,1	1

Prilikom proračuna je, takođe, uvažen i doprinos tj. uticaj mreže prema parametrima datim u Tabeli 6.

Tabela 6 - Uticaj mreže na proračun struja kratkih spojeva u tački priključenja 220kV

Opis	Maksimum	Minimum
Struja trofaznog kratkog spoja u tački priključenja 220 kV	28,9 kA	16,4 kA
Odnos X/R za trofazni kratak spoj u tački priključenja 220 kV	13,5	13,1
Struja jednofaznog kratkog spoja sa zemljom u tački priključenja 220 kV	31,9 kA	19,1 kA
Odnos X/R jednofaznog kratkog spoja sa zemljom u tački priključenja 220 kV	13,7	13,2

Proračun je obuhvatio sledeće vrste kvarova: trofazni - LLL, jednofazni sa zemljom - LG, dvofazni - LL i dvofazni kratak spoj sa zemljom - LLG. Rezultati proračuna dati su u Tabeli 7, gde je na osnovu dobijenih vrednosti predložena maksimalno dozvoljena struja kratkih spojeva za sve posmatrane sabirnice.

Tabela 7. Rezultati proračuna struja kratkih spojeva

Sabirnice	Naponski nivo (kV)	Maksimum				Minimum				Predlog MAX struje kvara (kA)
		LLL	LG	LL	LLG	LLL	LG	LL	LLG	
838-SWG-001 Bus-1	220	19,02	11,7	16,45	17,1	12,13	8,85	10,51	11,17	40
838-SWG-001 Bus-2	220	19,02	11,7	16,45	17,1	12,13	8,85	10,51	11,17	40
11-56-HSWG-4301-03-A	33	17,49	0,84	15,03	15,24	10,44	0,76	9,04	9,23	25
11-56-HSWG-4301-03-B	33	17,49	0,84	15,03	15,24	10,44	0,76	9,04	9,23	25
WIC 45	33	10,28	0,8	8,87	9,05	7,2	0,72	6,23	6,4	25
WIC 46	33	9,78	0,79	8,43	8,62	6,87	0,72	5,95	6,12	25
11-56-HSWG-4301-04-A	11	20,25	0,21	17,25	17,3	11,1	0,19	9,61	9,66	40
11-56-HSWG-4301-04-B	11	20,25	0,21	17,25	17,3	11,1	0,19	9,61	9,66	40
11-77-HSWG-4302-01-A	11	12,66	0,21	10,93	10,98	9,13	0,19	7,91	7,96	40
11-77-HSWG-4302-01-B	11	12,66	0,21	10,93	10,98	9,13	0,19	7,91	7,96	40
11-20-HSWG-4345-01	3,3	12,43	0,11	10,76	10,79	9,28	0,1	8,04	8,06	50
11-20-HSWG-4345-02	3,3	5,61	0,1	4,86	4,89	4,25	0,1	3,68	3,71	50
11-20-HSWG-4346-01	3,3	12,33	0,11	10,67	10,7	9,22	0,1	7,98	8,01	50
11-20-HSWG-4346-02	3,3	5,6	0,1	4,85	4,87	4,24	0,1	3,67	3,7	50
11-56-HSWG-4301-05-A	3,3	25,25	0,11	21,56	21,59	15,51	0,1	13,43	13,45	40
11-56-HSWG-4301-05-B	3,3	30,91	0,21	26,57	26,62	15,51	0,1	13,43	13,45	40
11-56-HSWG-4301-05-C	3,3	30,91	0,21	26,57	26,62	15,51	0,1	13,43	13,45	40
11-20-MSWG-4445-01	0,415	6,61	6,71	5,73	6,74	4,64	4,76	4,02	4,75	25
11-20-MSWG-4446-01	0,415	6,93	7,03	6	7,06	4,87	4,99	4,22	4,99	25
11-28-MSWG-43149-01	0,415	9,51	9,51	8,24	9,53	6,81	6,84	5,9	6,83	25
11-28-MSWG-44148-01	0,415	9,62	9,58	8,33	9,62	6,81	6,84	5,9	6,84	25
11-28-MSWG-44150-01	0,415	9,51	9,51	8,24	9,54	6,8	6,83	5,89	6,83	25
11-28-MSWG-44151-01	0,415	10,74	10,3	9,3	10,61	6,81	6,84	5,89	6,83	25
11-28-MSWG-44153-01	0,415	10,66	10,25	9,23	10,55	6,8	6,83	5,89	6,83	25
11-56-E-6101	0,415	27,06	25,72	22,82	26,57	15,04	15,82	13,02	15,59	40
11-56-ESWG-4401-07	0,415	27,06	25,72	22,82	26,57	15,04	15,82	13,02	15,59	40
11-56-MDB-4401-01A	0,415	58,46	59,04	50,02	58,96	37,61	39,56	32,57	38,86	80
11-56-MDB-4401-02	0,415	27,06	25,72	22,82	26,57	15,04	15,82	13,02	15,59	40
11-56-MDB-4401-02A	0,415	59,45	59,62	50,75	59,74	37,61	39,56	32,57	38,86	80
11-56-MSWG-4400-08-A	0,415	38,81	30,66	32,74	36,23	21,92	20,64	18,98	21,84	80
11-56-MSWG-4400-08-B	0,415	37,43	30,16	31,74	35,34	21,92	20,64	18,98	21,84	80
11-56-MSWG-4401-01-A1	0,415	60,61	60,33	51,64	60,65	37,61	39,56	32,57	38,86	80
11-56-MSWG-4401-01-B1	0,415	60,26	60,12	51,38	60,36	37,61	39,56	32,57	38,86	80
11-56-MSWG-4401-02-A	0,415	58,46	59,04	50,02	58,96	37,61	39,56	32,57	38,86	80
11-56-MSWG-4401-02-B	0,415	59,45	59,62	50,75	59,74	37,61	39,56	32,57	38,86	80
11-56-MSWG-4401-03-A	0,415	55,95	57,6	48,25	56,95	37,61	39,56	32,57	38,86	80

Kao podloge prilikom izbora predloženih vrednosti korišćeni su interni standardi za industrijsko postrojenje i komercijalno dostupne tehničke specifikacije za sabirnice i rasklopnu opremu. Kako bi se postigla fleksibilnost dizajna, pri izboru maksimalno dozvoljenih struja kratkih spojeva, uvažena je margina koja dozvoljava prilagođavanje realnim uslovima prilikom izgradnje postrojenja.

5. ZAKLJUČAK

Analize tokova snaga koje su prikazane u radu sprovedene su sa ciljem da omoguće proveru ponašanja karakterističnih veličina elemenata sagledavane industrijske mreže postrojenja za preradu sirove nafte u Abu Dabiju, i to u uslovima normalnog rada, kao i u slučaju ispada, a za dva nivoa potrošnje pomenute mreže. Analizom je određena potrebna snaga i korak kondenzatorskih baterija u službi popravke faktora snage na vrednost koja je jednaka ili veća od 0,95 u tački priključenja ovog postrojenja na prenosnu mrežu. Ostvarena je verifikacija nazivne snage transformatora i prenosne moći nadzemnih i kablovskih vodova u svim radnim režimima. Potvrđeno je da raspoloživi opseg regulacije transformatora zadovoljava uslov da se vrednost napona na svim sabirnicama održi u opsegu od 95% - 105% svoje nazivne vrednosti. Na osnovu proračuna struja kratkih spojeva, određene su maksimalne i minimalne vrednosti struja kratkih spojeva za sve sabirnice u predstavljenoj mreži. Na osnovu dobijenih rezultata zaključuje se da novoprojektovano postrojenje za preradu nafte neće ugroziti normalan rad prenosne mreže, ali samo uz primenu preporučenih rešenja, uslova i ograničenja.

Analiza tokova snaga i proračun struja kratkih spojeva su početni, ali i jedni od najvažnijih koraka u analizi rada buduće mreže, imajući u vidu da se na rezultatima i primeni rešenja dobijenih u ovoj inicijalnoj fazi analiza zasnivaju dalja sagledavanja i odabir ostale opreme. Analize u daljim fazama obuhvataju proveru tranzijentne stabilnosti i analizu viših harmonika, kako bi se procenio uticaj uključenja kondenzatorskih baterija u cilju popravke faktora snage u prelaznim procesima ali i njihov uticaj na kvalitet električne energije.

LITERATURA

- [1] Milenko B. Đurić, 2005, "Elementi EES-a"
- [2] Nikola Rajaković, 2002, "Analiza elektroenergetskih sistema 1"
- [3] Nikola Rajaković, 2007, "Analiza elektroenergetskih sistema 2"
- [4] John Grainger, William Stevenson, 1994, "Power System Analysis"
- [5] ETAP User Manual, version 22
- [6] Projektna dokumentacija - Arhiva Energoprojekt Entel-a
- [7] TRANSCO Grid Code, 2020
- [8] IEC 60909 International Standard