

PROVJERA ZAHTJEVA ZA PRIKLJUČENJE PROIZVOĐAČA ELEKTRIČNE ENERGIJE, MODULA GRUPE „B“ ELEKTROENERGETSKOG PARKA NA ELEKTROENERGETSKU MREŽU, DEFINISANIH MREŽNIM KODEKSOM NEZAVISNOG OPERATORA SISTEMA U BOSNI I HERCEGOVINI-NOSBIH

VERIFICATION OF REQUEST FOR CONNECTION OF ELECTRICITY PRODUCER, MODULE OF GROUP "B" OF THE POWER PARK TO THE POWER GRID, DEFINED BY THE NETWORK CODE OF THE INDEPENDENT SYSTEM OPERATOR IN BOSNIA AND HERZEGOVINA-ISOBİH

Almir TUHČIĆ, Javno preduzeće Elektroprivreda Bosne i Hercegovine d.d - Sarajevo
Eldar HUKIĆ, Regulatorna komisija za energiju u Federaciji Bosne i Hercegovine
Sulejman MAHMUTOVIĆ, MS Power d.o.o. Ilidža, Sarajevo

KRATAK SADRŽAJ

Analiza uticaja i definisanje tehničkih uslova priključenja proizvođača električne energije za modul grupe „B“ elektroenergetskog parka na elektroenergetsku mrežu, maksimalne snage do 10 MW, gdje je mjesto priključenja ispod 110 kV direktno na sabirnice TS 110/x kV. Proizvodni moduli moraju ispunjavati zahtjeve definisane Mrežnim kodeksom Nezavisnog operatora sistema u Bosni i Hercegovini-NOSBiH. U pogledu stabilnosti proizvodni moduli moraju ispunjavati uslove sposobnosti prolaska kroz stanje kvara (Fault ride through – FRT), tj. moraju biti u stanju da ostanu na mreži u toku pojave kvara na prenosnoj mreži i nastave stabilan rad nakon otklonjenih kvarova. Fault ride through - FRT kriva izražava donju granicu vrijednosti linijskih napona u tački priključenja u funkciji vremena prije, tokom i nakon kvara (simetrični i nesimetrični). Investitor je obavezan da prilikom izgradnje fotonaponske elektrane/parka fotonaponskih elektrana, za koje je u elaboratu priključenja potrebno izvršiti analizu dinamike sistema, nabavi i ugradi invertore takvih tehničkih karakteristika koji će moći ispuniti uslove prolaska kroz stanje kvara (Fault ride through – FRT) i koji će biti sposobni da pri maksimalnoj aktivnoj snazi obezbijede reaktivnu snagu u opsegu 0,33 Q/Pmax, kako induktivnog tako i kapacitivnog karaktera.

Ključne reči: dinamička analiza, priključenje, tehnički uslovi, modul grupe „B“, Fault ride through

ABSTRACT

Analysis of the impact and definition of the technical conditions for the connection of electricity producer for the module group "B" of the power park to the power grid, with a maximum power of up to 10 MW, where the connection point is below 110 kV directly to the TS 110/x kV busbars. Production modules must meet the requirements defined by the Network Code of the Independent System Operator in Bosnia and Herzegovina-ISOB&H. In terms of stability, production modules must meet the requirements of the ability to pass through a fault condition (Fault ride through - FRT), i.e. they must be able to remain online during the occurrence of a fault in the transmission network and continue stable operation after the faults have been removed. Fault ride through - FRT curve expresses the lower limit of the value of the line voltages at the connection point as a function of time before, during and after the fault (symmetrical and asymmetric). The investor is obliged to, during the construction of a photovoltaic power plant/park of photovoltaic power plants, for which it is necessary to perform an analysis of system dynamics in the connection study, acquire and install inverters of such technical characteristics that will be able to meet the conditions of passing through the fault state (Fault ride through - FRT) and which will be able to provide reactive power in the range of 0.33 Q/Pmax, both inductive and capacitive, at maximum active power.

Key words: dynamic analysis, connection, technical conditions, group "B" module, Fault ride through

1. UVOD

Energetska tranzicija nametnula je trend promjene karaktera distributivne mreže. Operator distributivnog sistema (ODS) dobija novu ulogu, a to je da planira razvoj distributivnog sistema u skladu sa širenjem zahtjeva za integraciju distributivnih generatora i drugih distributivnih energetskih resursa (DER).

Napajanje područja opštine Bosanski Petrovac vrši se iz TS 110/35/20 kV Bosanski Petrovac u kojoj su ugrađena dva transformatora T1 i T2 prenosnog odnosa 110/21(10,5)/36,75 kV, snage 20/20/14 MVA. U TS 110/35/20 kV Bosanski Petrovac je 2018. godine ugrađen drugi transformator u svrhu zadovoljenja kriterija (n-1) na granici prenosne i distributivne mreže.

U proteklom periodu, na području opštine Bosanski Petrovac od strane JP Elektroprivreda BiH d.d. – Sarajevo, Podružnica „Elektrodistribucija“ Bihać, na distributivnu mrežu su priključena tri parka fotonaponskih elektrana i dvije fotonaponske elektrane sa ukupnom priključna snaga od 1.104 MW. Pored navedenog, izdate su Prethodne elektroenergetske saglasnosti za priključenje četiri parka fotonaponskih elektrana i dvije fotonaponske elektrane, sa ukupnom priključnom snagom od 17.899 MW.

Uvažavajući činjenicu da je drugi transformator ugrađen u svrhu zadovoljenja kriterija (n-1) na granici prenosne i distributivne mreže, ODS je pri izdavanju Elektroenergetskih saglasnosti i priključenju proizvodnih objekata, kao dozvoljeni radni kapacitet TS 110/35/20 kV Bosanski Petrovac, uzimao snagu jednog transformatora.

S obzirom da je prostor opštine Bosanski Petrovac pogodan za izgradnju fotonaponskih elektrana u kratkom vremenskom periodu pojavio se veliki broj novih zahtjeva za priključenjem. JP Elektroprivreda BiH d.d. – Sarajevo, Podružnica „Elektrodistribucija“ Bihać je zaprimila zahtjeve za priključenje sedam parkova fotonaponskih elektrana i tri fotonaponske elektrane sa ukupnom priključnom snagom od 31.789 MW. Za nevedene objekte izvršena je analiza uticaja priključenja. Uzimajući u obzir sve navedene zahtjeve za priključenjem, dolazimo do ukupne priključne snage od 50,792 MW. Minimalno dnevno vršno opterećenje postojećeg konzuma na TS 110/x kV Bosanski Petrovac iznosi cca 2,5 MW. Pored do sada zaprimljenih zahtjeva od ukupno 50,792 MW, postoji konstantan priliv novih zahtjeva za priključenjem na ovom području.

Dakle, na osnovu navedenih informacija o snazi jasno je da zahtjevi za priključnom snagom na ovom području značajno prelaze postojeće kapacitete TS 110/x kV Bosanski Petrovac, od 40 MVA, te je u skladu s tim potrebno da Elektroprijenos BiH donese odgovarajuće odluke o izgradnji svojih objekata, kako bi se obezbijedio pristup mreži svim zainteresovanim stranama, u skladu sa zakonskim i podzakonskim aktima.

Prilikom definisanja potrebnih kapaciteta za priključenje svih fotonaponskih elektrana važno je napomenuti da ODS smatra da je od izuzetnog značaja da se zadržati postojeći kriterij (n-1) na granici prenosne i distributivne mreže, a koji će eventualnom angažovanjem kapaciteta drugog transformatora u TS 110/x kV Bosanski Petrovac, biti ugrožen.

Tehnički proračuni i analiza elektrodistributivne mreže sa ciljem definisanja i ocjene energetskih rješenja priključenja proizvodnog objekta su izvršeni pomoću programskog paketa „PowerCad“, a dinamičke analize u programskom paketu PSS/E.

2. ENERGETSKA RJEŠENJA PRIKLJUČENJA

Pravilnikom o priključku propisano je da se priključak korisnika putem srednjenaponskih vodova 35, 20, 10 i 6 kV na trafostanice „Elektroprenos-Elektroprijenos BiH“ a.d. Banja Luka vrši po zahtjevu nadležnog operatora distribucije, dok je isto tako propisano da „Elektroprenos-Elektroprijenos BiH“ a.d. Banja Luka izdaje uslove za SN priključak na zahtjev nadležnog operatora distribucije. Također je Pravilima za SN priključak u objektima „Elektroprenos-Elektroprijenos BiH“ a.d. Banja Luka propisano da je izrada Elaborata u nadležnosti operatora distribucije koji u toku izrade Elaborata može zatražiti potrebne informacije ili konsultovati „Elektroprenos-Elektroprijenos BiH“ a.d. Banja Luka.

Elaboratom je urađena analize uticaja priključenja fotonaponskih elektrana sa proračunom tokova snaga i naponskih prilika, kao i dinamičkih analiza za sve podnesene zahtjeve za Prethodne elektroenergetske saglasnosti koje podrazumijevaju direktno priključenje na SN sabirnice u TS 110/x kV Bosanski Petrovac.

2.1 Direktno priključenje na SN sabirnice u TS 110/x kV Bosanski Petrovac

Prijedlog načina priključenja pet parkova fotonaponskih elektrana direktno na SN sabirnice TS 110/x kV Bosanski Petrovac je dat u nastavku:

Park I fotonaponskih elektrana zahtijevane priključne snage od 4.995 kW (5×0,999 MW) se priključuje direktno na SN sabirnice u TS 110/x kV Bosanski Petrovac preko podzemnog 20 kV voda XHE49-A 3×240/25 mm² voda dužine cca 4 km od TS 110/x kV Bosanski Petrovac do novog RP 20 kV Gorinčani iz kojeg će se izvršiti priključenje i formirati obračunska mjerna mjesta za 5 elektrana sa pojedinačnim priključnim snagama od 0,999 MW.

Park II fotonaponskih elektrana zahtijevane priključne snage od 7.300 kW (0,50 MW + 2×0,60 MW + 0,72 MW + 4×0,80 MW + 0,82 MW+0,86 MW) se priključuje direktno na SN sabirnice u TS 110/x kV Bosanski Petrovac preko podzemnog 20 kV voda XHE49-A 3×240/25 mm² dužine cca 7 km od TS 110/x kV Bosanski Petrovac do novog RP 20 kV Vedro polje (sekcija 1) iz kojeg će se izvršiti priključenje i formirati obračunska mjerna mjesta za 10 elektrana sa pojedinačnim priključnim snagama od 0,50 MW; 2×0,60 MW; 0,72 MW; 4×0,80 MW; 0,82 MW i 0,86 MW.

Park III fotonaponskih elektrana zahtijevane priključne snage od 5.150 kW (0,40 MW + 2×0,60 MW + 0,75 MW + 2×0,90 MW + 1 MW) se priključuje direktno na SN sabirnice u TS 110/x kV Bosanski Petrovac preko podzemnog 20 kV voda XHE49-A 3×240/25 mm² dužine cca 7 km od TS 110/x kV Bosanski Petrovac do novog RP 20 kV Vedro polje (sekcija 2) iz kojeg će se izvršiti priključenje i formirati obračunska mjerna mjesta za 7 elektrana sa pojedinačnim priključnim snagama od 0,40 MW; 2×0,60 MW; 0,75 MW; 2×0,90 MW; 1 MW.

Izgradnja RP 20 kV Vedro polje je planirana na način da se obezbjedi priključenje ukupno 20 fotonaponskih elektrana sa isto toliko obračunskih mjerenih mjesta, odnosno za sve elektrane Parka I i II fotonaponskih elektrana. Predmetno RP 20 kV Vedro polje bi se sastojalo od dvije odvojene sekcije povezane spojnim poljem koje bi u normalnom pogonu bilo isključeno. Svaka od sekcija bi imala svoje naponske mjerne transformatore i napajala bi se direktno iz TS 110/x kV preko podzemnih 20 kV vodova.

Park IV fotonaponskih elektrana zahtijevane priključne snage od 4.995 kW (5×0,999 MW) se priključuje direktno na SN sabirnice u TS 110/x kV Bosanski Petrovac preko podzemnog 20 kV voda XHE49-A 3×150/25 mm² dužine cca 2 km od TS 110/x kV Bosanski Petrovac do novog RP 20 kV Bujadnice iz kojeg će se izvršiti priključenje i formirati obračunska mjerna mjesta za 5 elektrana sa pojedinačnim priključnim snagama od 0,999 MW.

Park V fotonaponskih elektrana zahtijevane priključne snage od 2.400 kW se priključuje kroz priključenje Parka III fotonaponskih elektrana.

U planiranom RP 20 kV Vedro polje u drugoj sekciji planirano je priključenje i formiranje tri nova obračunska mjerna mjesta za fotonaponske elektrane sa pojedinačnim priključnim snagama od 600 kW i 2×900 kW, odnosno ukupno 10 fotonaponskih elektrana sa isto toliko obračunskih mjerenih mjesta.

2.2 Priključenje na postojeću distributivnu mrežu

Prijedlog načina priključenja dva preostala parka fotonaponskih elektrana i pojedinačnih elektrana na postojeću distributivnu mrežu je dat u nastavku:

Fotonaponska elektrana I zahtijevane priključne snage od 0,36 MW se priključuje na postojeći DV 20 kV Skakavac preko podzemnog 20 kV voda XHE49-A 3×150/25 mm² dužine cca 1,5 km od novog AB stub u trasi magistralnog DV 20 kV Skakavac (stub prije odcjepa za TS 20/0,4 kV Bahići) TS 20/0,4 kV do nove TS 20/0,4 kV.

Fotonaponska elektrana II zahtijevane priključne snage od 0,99 MW se priključuje na postojeći DV 20 kV Skakavac preko podzemnog 20 kV voda XHE49-A 3×150/25 mm² dužine cca 300 m od novog AB stub u trasi magistralnog DV 20 kV Skakavac (stub prije TS 20/0,4 kV Medeno polje 2) do nove TS 20/0,4 kV.

Park VI fotonaponskih elektrana zahtijevane priključne snage od 1.990 kW (2×0,995 MW) se priključuje na postojeći DV 20 kV Krnjeuša preko podzemnog 20 kV voda XHE49-A 3×150/25 mm² dužine cca 700 m od novog AB stub u trasi magistralnog DV 20 kV Krnjeuša (stub prije TS 20/0,4 kV Divna) do nove TS 20/0,4 kV.

U skladu sa provjerom Kriterija dozvoljene promjene napona ukupnu planiranu priključnu snagu je potrebno ograničiti na 1 MW i na osnovu Kriterija dozvoljene snage s obzirom na brze promjene napona maksimalna pojedinačna priključna snaga ne smije biti veća od 0,7 MW.

Fotonaponska elektrana III zahtijevane priključne snage od 600 kW se priključuje na postojeći DV 20 kV Bjelaj preko podzemnog 20 kV voda XHE49-A 3×150/25 mm² dužine cca 500 m od postojeće TS 20/0,4 kV Bjelaj 4 do nove TS 20/0,4 kV.

Park VII fotonaponskih elektrana zahtijevane priključne snage od 3.000 kW (4×0,75 MW) se priključuje na postojeći DV 20 kV Dubovsko preko podzemnog 20 kV voda XHE49-A 3×150/25 mm² dužine cca 2,7 km od postojeće TS 20/0,4 kV Lipa 1 do novog RP 20 kV Lipa iz kojeg će se izvršiti priključenje i formirati obračunska mjerna mjesta za 4 elektrane sa pojedinačnim priključnim snagama od 0,75 MW.

3. PROVJERA ENERGETSKIH KRITERIJA MREŽE

Priključenje distribuiranih generatora na elektrodistributivnu mrežu je moguće pod uslovom da se ne ugrožava pouzdanost i sigurnost rada elektrodistributivne mreže te kvalitet isporučene električne energije krajnjim kupcima, odnosno da su zadovoljeni sljedeći osnovni energetske kriteriji:

- Kriterij dozvoljene promjene napona u mreži,
- Kriterij dozvoljenog termičkog opterećenja vodova,
- Kriterij dozvoljenog termičkog opterećenja transformatora,
- Kriterij stabilnosti proizvodnih modula (uslovi sposobnosti proizvodnih modula prolaska kroz kvar),

- Provjera sposobnosti proizvodnog modula da obezbijedi reaktivnu energiju u opsegu 0,33 Q/Pmax u oba smjera.

Energetski kriteriji mreže moraju biti zadovoljeni za sve scenarije pogona elektrodistributivne mreže i distribuiranih generatora, a najkritičniji scenariji pogona za koje je potrebno vršiti analizu su:

- Maksimalna potrošnja u distributivnoj mreži i minimalna proizvodnja DG (DG isključen),
- Minimalna potrošnja u distributivnoj mreži i maksimalna proizvodnja DG (za dozvoljeni režim rada DG koji ima najnepovoljniji uticaj rada za DG).

Pri određivanju minimalne potrošnje u distributivnoj mreži, za slučaj priključenja fotonaponske elektrane, potrebno je uzeti u proračun minimalno opterećenje koje se dogodilo tokom dana u vrijeme dnevnog svjetla.

3.1 Kriterij dozvoljene promjene napona u mrežu

U programskom paketu PowerCad urađen je proračun tokova snaga, naponskih prilika i gubitaka snage. Proračun je proveden za postojeće stanje distributivne mreže, kao i za predložene varijante priključenja fotonaponskih elektrana. Najveća odstupanja napona od nazivnih napona (u stacionarnom stanju) su $\Delta um = \pm 10\%$ za srednjenaponsku mrežu, odnosno $+5\%$ i -10% za niskonaponsku mrežu.

Tabela 1 - Pregled naponskih prilika i gubitaka snage (sve fotonaponske elektrane)

Naziv	Un[kV]	postojeće stanje		priključenje FNE		Područje
		U[kV]	dU%	U[kV]	dU%	
TS 110 Bosanski Petrovac 35 kV	35	35,65	1,86	35,44	1,26	TS 110 Bosanski Petrovac
TS 35 kV Vrtoče 35 kV	35	35,58	1,66	37,10	6,00	DV 35 Vrtoče
TS 35 kV ASA 1 35 kV	35			36,71	4,89	DV 35 Vrtoče
TS 35 kV ASA 1 35 kV	35			36,34	3,83	DV 35 Vrtoče
TS 110 Bosanski Petrovac 20 kV	20	20,37	1,85	20,34	1,70	TS 110 Bosanski Petrovac
TS 35 kV Vrtoče 20	20	20,41	2,05	21,42	7,10	TS 35 Vrtoče
Mjesto razmjene RS	20	20,30	1,50	20,47	2,35	DV 20 kV Drinić
TS Bunare	20	20,33	1,65	20,29	1,45	DV 20 kV Klenovac
TS Bara 5	20	20,41	2,05	20,54	2,70	UKBDV 20 kV Bukovača
TS SE Credo	20	20,45	2,25	20,44	2,20	UKBDV 20 kV Bukovača
TS Bjelaj 4	20	20,45	2,25	21,58	7,90	DV 20 kV Bjelaj
TS SE Krmjeuša 1	20	20,47	2,35	21,82	9,10	DV 20 kV Krmjeuša
TS SE Medeno polje	20			21,31	6,55	DV 20 kV Kolunić revenik
RP Gorinčani	20			20,43	2,15	KBDV 20 kV Gorinčani
RP Vedro polje	20			20,65	3,25	KBDV 20 kV Vedro polje
TS Bahići 3	20			20,39	1,95	DV 20 kV Skakavac
TS Zenit	20			20,63	3,15	DV 20 kV Skakavac
RP Bujadnice	20			20,44	2,20	KBDV 20 kV Bujadnice
TS Racional*	20			21,93	9,65	DV 20 kV Krmjuša
RP Lipa	20			21,98	9,90	DV 20 kV Dubovsko
*Vrijednost napona uz ograničenje planirane priključen snage parka fotonaponskih elektana na 1 MW.						
Gubici snage u mreži	kW	95,62		1752,00		Ukupni gubici 95,62 kW, sa novim elektranama 1.752,00 kW
Promjena gubitaka snage u mreži	kW	-		1656,74		

U Tabeli 1. dat je pregled naponskih prilika po karakterističnim 20 kV i 35 kV tačkama analiziranog dijela SN mreže (mjesto planiranih priključenja fotonaponskih elektrana i mjesta sa najnižim i najvišim naponima) i uticaj priključenja fotonaponskih elektrana na naponske prilike i gubitke snage u elektrodistributivnoj mreži. Proračun je rađen sa uključena oba transformatora u TS 110/x kV Bosanski Petrovac, iako ni sa takvim pogonom nisu obezbjeđeni kapaciteti za priključenje svih planiranih fotonaponskih elektrana.

Analizirajući dobijene rezultate proračuna tokova snaga (naponskih prilika i gubitaka) može se zaključiti sljedeće:

- naponske prilike su unutar dozvoljenih granica 21,93 kV (9,6%),
- vrijednost gubitaka električne u mreži se višestruko povećava.

3.2 Kriterij dozvoljenog termičkog opterećenja vodova

Opteretivost vodova (S_v) u analiziranim scenarijima ne smije prekoračiti 100% dozvoljenog termičkog opterećenja S_{th} za vodove:

$$S_v \leq S_{th}$$

Proračun tokova snaga izvršen je za postojeće – normalno uklopno stanje mreže i stanje nakon priključenja fotonaponskih elektrana prema predloženim varijantama priključenja na mrežu.

U Tabeli 2 i Tabeli 3 su prikazana opterećenje vodova (karakteristične dionice) prije i poslije uključivanja svih planiranih fotonaponskih elektrana sa ukupnom priključnom snagom od 50,792 MW.

Tabela 2 - Pregled opterećenja karakterističnih dionica (sve fotonaponske elektrane) normalno uklopno stanje

Naziv	In [A]	postojeće stanje		priključenje FNE		Područje
		I[A]	dI%	I[A]	dI%	
DV 35 kV Vrtoče	400	8,62	2,2%	222,30	55,6%	TS 110/x kV Bosanski Petrovac
UKBDV 20 kV Bukovača	170	6,13	3,6%	47,67	28,0%	TS 110/x kV Bosanski Petrovac
DV 20 kV Kolunić Revenik	170	6,05	3,6%	102,60	60,4%	TS 110/x kV Bosanski Petrovac
DV 20 kV Drinić	212	7,17	3,4%	7,20	3,4%	TS 110/x kV Bosanski Petrovac
DV 20 kV Skakavac	212	5,41	2,6%	32,81	15,5%	TS 110/x kV Bosanski Petrovac
KBDV 20 kV Credo	350			113,31	32,4%	TS 110/x kV Bosanski Petrovac
KBDV 20 kV Gorinčani	350			141,20	40,3%	TS 110/x kV Bosanski Petrovac
KBDV 20 kV Vedro polje 1	350			204,50	58,4%	TS 110/x kV Bosanski Petrovac
KBDV 20 kV Vedro polje 2	350			211,40	60,4%	TS 110/x kV Bosanski Petrovac
KBDV 20 kV Bujadnice	345			141,40	41,0%	TS 110/x kV Bosanski Petrovac
DV 20 kV Bjelaj	212	7,70	3,6%	32,02	15,1%	TS 35/x kV Vrtoče
DV 20 kV Krmjeuša	212	6,71	3,2%	58,62	27,7%	TS 35/x kV Vrtoče
DV 20 kV Dubovsko	212	8,13	3,8%	77,54	36,6%	TS 35/x kV Vrtoče

Tabela 3 - Pregled opterećenja karakterističnih dionica (sve fotonaponske elektrane) alternativno uklopno stanje

Naziv	In [A]	postojeće stanje		priključenje FNE		Područje
		I[A]	dI%	I[A]	dI%	
DV 35 kV Vrtoče	400	8,62	2,2%	222,30	55,6%	TS 110/x kV Bosanski Petrovac
UKBDV 20 kV Bukovača	170	6,13	3,6%	47,67	28,0%	TS 110/x kV Bosanski Petrovac
DV 20 kV Kolunić Revenik	170	6,05	3,6%	102,60	60,4%	TS 110/x kV Bosanski Petrovac
DV 20 kV Drinić	212	7,17	3,4%	7,20	3,4%	TS 110/x kV Bosanski Petrovac
DV 20 kV Skakavac	212	5,41	2,6%	32,81	15,5%	TS 110/x kV Bosanski Petrovac
KBDV 20 kV Credo						Isključen ili u kvaru
KBDV 20 kV Gorinčani	443			253,30	57,2%	TS 110/x kV Bosanski Petrovac
KBDV 20 kV Vedro polje 1	443			410,60	92,7%	TS 110/x kV Bosanski Petrovac
KBDV 20 kV Vedro polje 2						Isključen ili u kvaru
KBDV 20 kV Bujadnice				141,40	41,0%	TS 110/x kV Bosanski Petrovac
DV 20 kV Bjelaj	212	7,70	3,6%	32,02	15,1%	TS 35/x kV Vrtoče
DV 20 kV Krmjeuša	212	6,71	3,2%	58,62	27,7%	TS 35/x kV Vrtoče
DV 20 kV Dubovsko	212	8,13	3,8%	77,54	36,6%	TS 35/x kV Vrtoče

Analizirajući dobijene rezultate proračuna tokova snaga (opterećenje vodova) može se zaključiti sljedeće:

- Opterećenja vodova u SN mreži na analiziranom području ne prelazi dozvoljeno termičko opterećenje.

3.3 Kriterij dozvoljenog termičkog opterećenja transformatora

Opteretivost transformatora (Str) u analiziranim scenarijima pogona ne smije prekoračiti 100% dozvoljenog termičkog opterećenja (Sth) transformatora, odnosno 120% termičkog opterećenja transformatora ne duže od 2 sata.

$$Str \leq Sth; \quad Str \leq 1,2 \cdot Sth \text{ do } 2h$$

U Tabeli 4 su prikazana opterećenja transformatora u TS 110 kV Bosanski Petrovac i TS 35 kV Vrtoče prije i poslije uključivanja svih planiranih fotonaponskih elektrana sa ukupnom priključnom snagom od 50,792 MW. Proračun je rađen na način da je izvršeno uključivanje oba transformatora u TS 110/x kV Bosanski Petrovac.

Tabela 4 - Pregled opterećenja transformatora (sve fotonaponske elektrane)

Naziv	Sn [MVA]	postojeće stanje		priključenje FNE		Područje
		S[MVA]	dS%	S[MVA]	dS%	
T1 P: Bosanski Petrovac 110 kV	20	2,24	11,2%	23,90	119,5%	TS 110/x kV Bosanski Petrovac
T1 S: Bosanski Petrovac 20 kV	20	1,68	8,4%	17,01	85,1%	TS 110/x kV Bosanski Petrovac
T1 T: Bosanski Petrovac 35 kV	14	0,53	3,8%	6,80	48,6%	TS 110/x kV Bosanski Petrovac
T2 P: Bosanski Petrovac 110 kV	20		0,0%	23,30	116,5%	TS 110/x kV Bosanski Petrovac

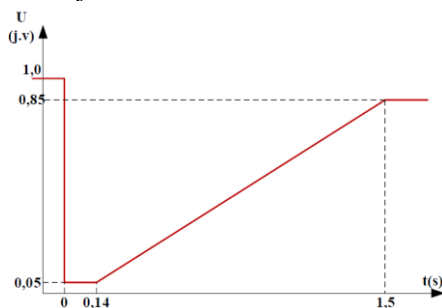
Naziv	Sn [MVA]	postojeće stanje		priklučenje FNE		Područje
		S[MVA]	dS%	S[MVA]	dS%	
T2 S: Bosanski Petrovac 20 kV	20		0,0%	16,59	83,0%	TS 110/x kV Bosanski Petrovac
T2 T: Bosanski Petrovac 35 kV	14		0,0%	6,63	47,4%	TS 110/x kV Bosanski Petrovac
P: Vrtoče 35 kV	4	0,37	9,3%	6,02	150,5%	TS 35/x kV Vrtoče
S: Vrtoča 20 kV	4	0,43	10,9%	6,08	152,0%	TS 35/x kV Vrtoče

Analizirajući dobijene rezultate proračuna tokova snaga (opterećenja transformatora) može se zaključiti sljedeće:

- Dozvoljeno termičko opterećenje T1 i T2 u TS 110/x kV Bosanski Petrovac je izvan dozvoljenih granica.
- Dozvoljeno termičko opterećenje T1 u TS 35/x kV Vrtoče 2 je izvan dozvoljenih granica.

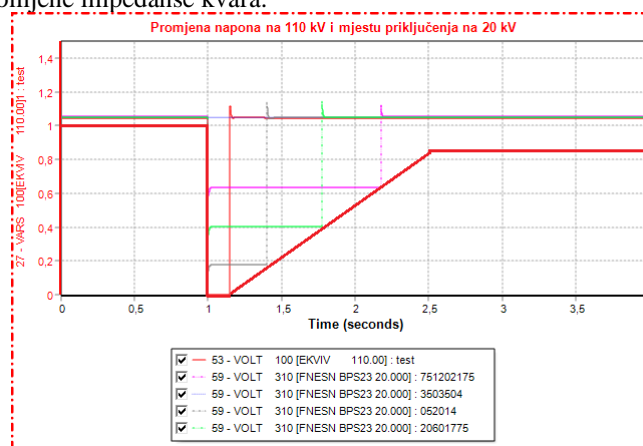
3.4 Provjera prolaska kroz stanje kvara u mreži (FRT-Fault Ride Through)

U ovom dijelu prikazan je način provjere prolaska kroz stanje kvara koji je generisan na prenosnoj mreži na 110 kV naponskom nivou. Provjera prolaska kroz stanje kvara u mreži izvršena je u skladu sa Mrežnom kodeksu. U pogledu stabilnosti proizvodni moduli moraju ispunjavati uslove sposobnosti prolaska kroz stanje kvara (Fault ride through – FRT), odnosno moraju biti u stanju da ostanu priključeni na mrežu u toku pojave kvara na prenosnoj mreži i nastave stabilan rad nakon otklonjenih kvarova. FRT (Fault ride through) kriva izražava donju granicu vrijednosti linijskih napona u tački priključenja u funkciji vremena prije, tokom i nakon kvara (simetrični i nesimetrični). Na sljedećoj slici prikazana je FRT kriva za module elektroenergetskih parkova.

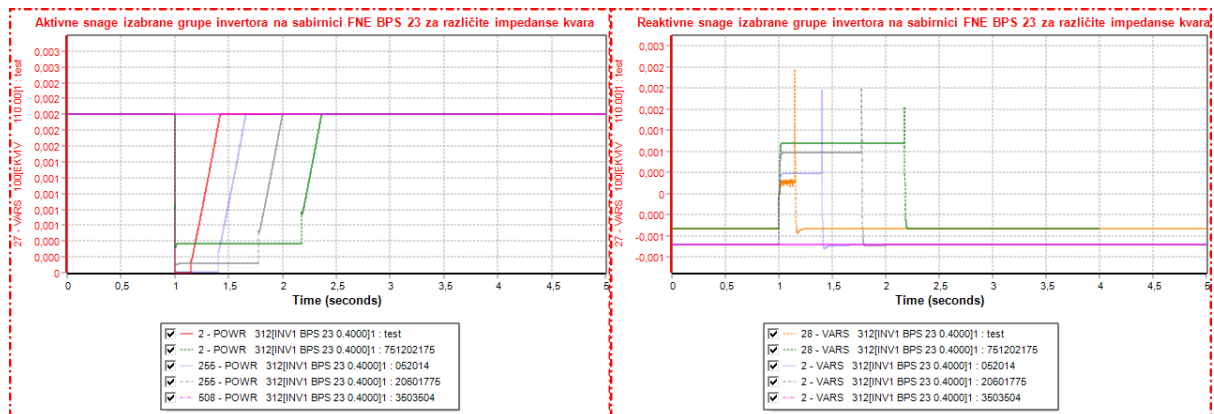


Slika 1 - FRT kriva za module elektroenergetskih parkova

3.4.1 Modeli izabranih invertora za analizu dinamike sistema Podaci o dinamičkim modelima analiziranih invertora dostavljeni su od strane investitora u obliku koji je kompatibilan sa korištenim programskim paketom PSS/E. Za provjeru prolaska kroz stanje kvara u mreži, sa aspekta fotonaponske elektrane ključan je napon na sabirnicama priključenja. Simulacija je izvršena tako da je simuliran direktan kratak spoj na prenosnoj mreži na 110 kV naponskom nivou, u trajanju $t(s)$ od 0,14 s, a zatim je vrijeme trajanja kvara produžavano na način da je kvar ostvarivan putem promjene impedanse kvara.



Slika 2 - Naponi na sabirnici priključenja na 20 kV i napon na mjestu kvara 110 kV, za različite impedanse kvara

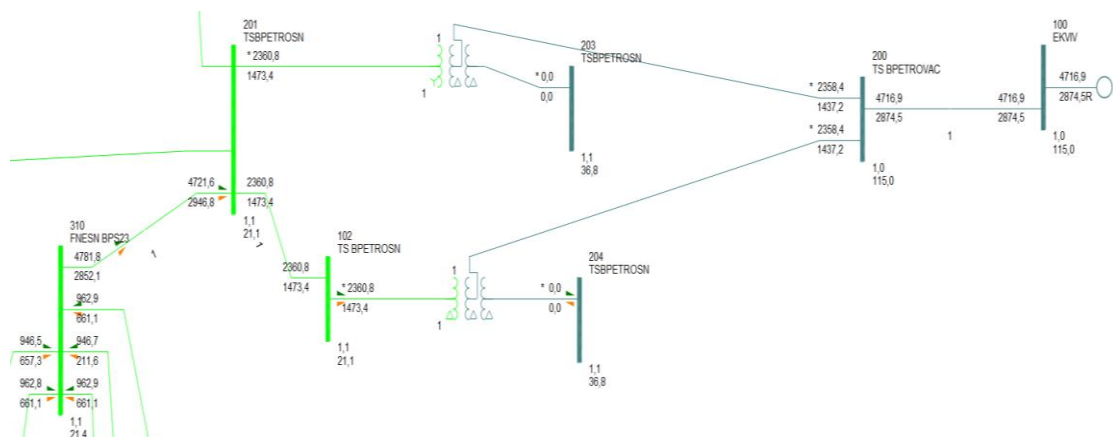


Slika 3 - Aktivne i reaktivne snage izabrane grupe invertora na sabirnici FNE za različite impedanse kvara

Za potrebe analize dinamike sistema investitor je dostavio podatke za dinamički simulacioni model invertora. Analizirajući rezultate napona na sabirnicama priključenja proizvodnih objekata, u pogledu stabilnosti, isti ispunjavaju uslove prolaska kroz stanje kvara (Fault ride through – FRT). Svi dobijeni rezultati napona, za različite impedanse kvara, se nalaze iznad FRT krive koja izražava donju granicu vrijednosti linijskih napona u tački priključenja u funkciji vremena prije, tokom i nakon kvara.

3.5 Provjera sposobnosti proizvodnog modula da obezbjedi reaktivnu energiju u opsegu 0,33 Q/Pmax u oba smjera

Fotonaponska elektrana mora biti sposobna da pri maksimalnoj aktivnoj snazi obezbjedi reaktivnu snagu u opsegu 0,33 Q/Pmax, kako induktivnog tako i kapacitivnog karaktera. Modul elektroenergetskog parka mora biti sposoban osigurati injektiranje/apsorpciju dodatne reaktivne struje na mjestu priključenja u odnosu na stanje prije kvara, prilikom sniženih/povišenih napona, do svojih maksimalnih vrijednosti. Zahtjevi za dodatnom reaktivnom strujom modula elektroenergetskih parkova priključenih na distributivni sistem utvrđuju se u skladu sa EN 50549-2. U slučaju nesimetričnih (jednopolnih ili dvopolnih) kvarova, modul elektroenergetskog parka obezbjeđuje direktnu, inverznu i nultu komponentu dodatne reaktivne struje, prema zahtjevima ODS-a. Analizom su provjereni svi kriteriji stabilnosti proizvodnih modula u skladu sa zahtjevima Mrežnog kodeksa, za svaku elektranu koja se priključuje direktno na SN sabirnice u objektu TS 110/x kV Bosanski Petrovac. U nastavku je prikazana provjera sposobnosti proizvodnih modula odabrane FNE da obezbjedi reaktivnu energiju u opsegu 0,33 Q/Pmax u oba smjera. Za potrebe analize dinamike sistema investitor parka fotonaponskih elektrana investitor je dostavio tehničke opise i korisničke upute koji se odnosi na dinamički simulacioni model invertora.



Slika 4 - Provjera sposobnosti modula da obezbjedi reaktivnu energiju u opsegu 0,33 Q/Pmax u oba smjera

Odabrani park fotonaponskih elektrana je sposoban da pri zahtijevanoj maksimalnoj priključnoj snazi parka elektrana od 4.995 kW obezbjedi reaktivnu snagu u iznosu od 2.946,8 kVar u tački priključenja, čime je zadovoljen kriteriji da su invertori sposobni obezbijediti reaktivnu snagu u opsegu 0,33 Q/Pmax, u oba smjera.

4. PROVJERA OSNOVNIH KRITERIJA ZA PRIKLJUČENJE ELEKTRANE

U skladu sa tehničkom preporukom TP-17 JP EPBiH tačka 4.10.2 osnovni kriteriji koji trebaju biti zadovoljeni za priključenje elektrane na distributivnu mrežu su:

- kriterij dozvoljene snage s obzirom na brzu promjenu napona,
- kriterij snage kratkog spoja,
- kriterij flikera,
- kriterij dozvoljenih viših harmonika struja.

4.1 Kriterij dozvoljene snage s obzirom na brzu promjenu napona

Brza promjena napona u zajedničkoj priključnoj tački koja je posljedica uključenja i planiranog isključenja elektrane mora biti manja od vrijednosti propisane Mrežnim pravilima ODS. Za svaki generator j u sklopu elektrane i , brzu promjenu napona u zajedničkoj priključnoj tački potrebno je procijeniti prema sljedećem izrazu:

$$\Delta u^{i,j} = k_u^{i,j} (\psi_s^i) \frac{S_g^{i,j}}{S_{k3}^i} \times 100 [\%]$$

gdje je:

- $S_g^{i,j}$ - nazivna prividna snaga generatora j u sklopu elektrane i ,
- S_{k3}^i - snaga (trajno održivog) trolnog kratkog spoja u zajedničkoj priključnoj tački za elektranu i ,
- $k_u^{i,j} (\psi_s^i)$ -faktor promjene napona za uključenje/isključenje generatora j u sklopu elektrane i na impedansu ugla ψ_s^i , u skladu sa standardom IEC 61400-21-1:2019 ili tehničkim smjericama FGW TG3. Faktor promjene napona generatora se mjeri za uglove impedanse 30°, 50°, 70° i 85°, a za druge vrijednosti ugla impedanse se proračunava linearnom interpolacijom.
- ψ_s^i - ugao impedanse sistema u zajedničkoj priključnoj tački za elektranu i .

Brza promjena napona mora biti manja od vrijednosti propisane Mrežnim pravilima, odnosno promjena napona na mjestu priključenja distribuirane elektrane pri njenom uključenju ili isključenju ne smije biti veća od 4% (SN mreža), odnosno 5% (NN mreža). Brza promjena napona za slučaj istovremenog uključenja/isključenja N_i generatora računa se kao suma brzih promjena napona izazvanih pojedinačnim uključenjem/isključenjem:

$$\Delta u^i = \sum_{j=1}^{N_i} \Delta u^{i,j}$$

Kada kriterij dozvoljene snage nije ispunjen kod jednovremenog uključivanja/isključivanja elektrane sa više generatora, moguće je vršiti pojedinačno uključivanje/isključivanje generatora u vremenskim intervalima:

$$\Delta t^{i,j} = 23 \cdot (\Delta u^{i,j})^3$$

$\Delta t^{i,j}$ - minimalno vrijeme između uključenja/isključenja generatora j i sljedećeg generatora u sklopu elektrane i .

Ispitivanje kriterija brze promjena napona ni u kojem slučaju nije zamjena i ne isključuje potrebu za analizom naponskih prilika u kritičnim stacionarnim stanjima (analiza tokova snaga). Ista ograničenja za odstupanja napona u stacionarnom stanju se primjenjuju i za zajedničku priključnu tačku i za priključnu tačku elektrane.

U nastavku je dat proračun za odabrani park fotonaponskih elektrana u slučajevima neplaniranih isključenja koje su rezultat djelovanja zaštita. Analiza je urađena za direktno priključenje na SN sabirnice u TS 110/x kV a za Park IV fotonaponskih elektrana zahtijevane priključne snage od 4.995 kW. Park fotonaponskih elektrana se priključuje direktno na SN sabirnice u TS 110/x kV preko podzemnog 20 kV voda dužine cca 2 km od TS 110/x kV do novog RP 20 kV Bujadnice iz kojeg će se izvršiti priključenje i formirati obračunska mjerna mjesta za 5 elektrana sa pojedinačnim priključnim snagama od 0,999 MW.

Ispad jedne elektrane - paralelan rad TR u TS 110 kV:

$S_{nDG} = 0,999 \text{ MVA}$, $S_{k3(na SN)} = 140 \text{ MVA}$, za $k=1$

$$\Delta u = k \frac{S_{nDG}}{S_{k3(na SN)}} \times 100 [\%]$$

$$\Delta u = 1 \frac{0,999}{140} \times 100 = 0,714 \%$$

Ispad jedne elektrane - odvojen rad TR u TS 110 kV:

$S_{nDG} = 0,999 \text{ MVA}$, $S_{k3(na SN)} = 90 \text{ MVA}$, za $k=1$

$$\Delta u = k \frac{S_{nDG}}{S_{k3(na SN)}} \times 100 [\%]$$

$$\Delta u = 1 \frac{0,999}{90} \times 100 = 1,11 \%$$

Brzina promjene snage prilikom uključanja ne smije biti veća od 10% nazivne aktivne snage u minuti (EN 50549-1:2019 i EN 50549-2:2019). Prilikom planiranih isključenja snagu elektrana je potrebno linearno smanjiti na tehnički minimum, uz brzinu promjene aktivne snage između 19,8% nazivne aktivne snage u minuti (0,33% nazivne aktivne snage u sekundi) i 39,6% nazivne aktivne snage u minuti (0,66% nazivne aktivne snage u sekundi), pa tek onda isključiti. Brza promjena napona za predložni način priključenja u slučajevima neplaniranih isključenja koja su rezultat djelovanja zaštita u zajedničkim priključnim tačkama preostalog dijela sistema nije veća od 5%.

4.2 Kriterij snage kratkog spoja

Priključenje DG ne smije dovesti do povećanja snaga kratkog spoja iznad vrijednosti za koje je dimenzionisana rasklopna oprema. Budući da se fotonaponska elektrana na mrežu priključuje isključivo preko invertora i tako ne može razviti struje veće od nazivnih, fotonaponska elektrana ne doprinosi porastu snage kratkog spoja. Snage kratkog spoja će ostati u dozvoljenim granicama (za 10 kV mrežu do 250 MVA, a za 20 kV mrežu do 500 MVA).

4.3 Kriterij flikera

Proizvođač je u dužan dostaviti rezultate mjerenja, kojim će dokazati da je zadovoljen kriterij flikera, a najkasnije prije probnog pogona. Investitor je obavezan da provede ispitivanja nakon puštanja u probni pogon fotonaponske elektrane.

4.4 Kriterij dozvoljenih struja viših harmonika

Prekidačko djelovanje poluvodičkih elemenata u invertoru uzrokuje harmonička izobličena struje i napona, koja u određenoj mjeri mogu značajno narušiti kvalitetu električne energije. Pritom su i sami invertori osjetljivi na harmonička izobličanja, pa prilikom značajnih iznosa viših harmonika napona mogu neispravno djelovati. Dakle, prilikom analize uticaja priključka fotonaponske elektrane na mrežu potrebno je ispitati nivo emisije viših harmonika u odnosu na dozvoljeni nivo. Za h -ti viši harmonik struje elektrane i postavlja se sljedeće ograničenje

$$I_h^i \leq i_h S_{k3}^i \alpha_h \sqrt{\frac{S_{dg}^i}{\sum_{k=1}^{N_{TS}} S_{dg}^k}}$$

gdje je:

- i_h - dozvoljena ukupna vrijednost h -tog višeg harmonika struje za sve elektrane priključene na istu transformatorsku stanicu, svedena na snagu trolnog kratkog spoja,
- S_{k3}^i - snaga (trajno održivog) trolnog kratkog spoja u zajedničkoj priključnoj tački za elektranu i ,
- S_{dg}^i - odobrena (prividna) priključna snaga elektrane i ,
- $\sum_{k=1}^{N_{TS}} S_{dg}^k$ - ukupna odobrena (prividna) priključna snaga svih N_{TS} elektrana koje su (ili će biti) priključene na istu transformatorsku stanicu,
- α_h - eksponent za sumiranje viših harmonika struje iz različitih izvora.

Proizvođač mora dostaviti dokaz o zadovoljavanju ovog kriterija najkasnije prije probnog pogona.

5. ZAKLJUČAK O PROVEDENOJ ANALIZI PRIKLJUČENJA ELEKTRANA

Provjerom osnovnih kriterija za priključenje distribuiranih generatora, kao i provjerom energetske kriterija prema važećoj tehničkoj preporuci TP-17, ocijenjena je mogućnost priključenja. Proračuni iz poglavlja 3. i 4. su rađeni sa pogonom oba energetska transformatora T1 i T2 u TS 100/35/20 kV Bosanski Petrovac (paralelan rad), a što je u skladu sa dopisom i tadašnjim stavom kompanije „Elektroprenos-Elektroprijenos BiH“ a.d. Banja Luka, gdje se navodi da u TS 110/35/20 kV Bosanski Petrovac postoje dva transformatora i da isti mogu raditi paralelno. Dozvoljeno termičko opterećenje transformatora i sa pogonom oba energetska transformatora T1 i T2 u TS 110/35/20 kV Bosanski Petrovac je izvan dozvoljenih granica odnosno kapacitet nije dovoljan za pokrivanje ukupne priključne snage od 50,792 MW. Prema tome za priključenje predmetnih fotonaponskih elektrana neophodno je obezbjeđivanje kapaciteta kroz povećanje kapaciteta postojeće TS 110/x kV Bosanski Petrovac ili izgradnjom nove/novih TS 110/x kV, a koje su u nadležnosti „Elektroprenos-Elektroprijenos BiH“ a.d. Banja Luka. Potrebno je naglasiti kako kod određivanja potrebnih kapaciteta za priključenje svih planiranih fotonaponskih elektrana Operator distributivnog sistema (ODS) insistira da se obavezno zadovolji, kriterij (n-1) na granici prenosne i distributivne mreže, a u skladu sa važećim Mrežnim kodeksom kompanije „Elektroprenos-Elektroprijenos BiH“ a.d. Banja Luka. U zavisnosti od načina povećanja kapaciteta, za priključenje planiranih fotonaponskih elektrana neophodno je formiranje posebnih SN odvoda u postojećoj TS 110/35/20 Bosanski Petrovac ili u novim TS 110/x kV. Rješenja koja podrazumijevaju formiranje posebnih SN izlaza iz postojeće TS 110/35/20 kV Bosanski Petrovac sa kablovima presjeka 240 mm² i dužinama reda cca 7 km predstavljaju moguća

rješenja sa aspekta dozvoljenih promjena napona i dozvoljenog termičkog opterećenja vodova, ali uvažavajući ukupnu planiranu priključnu snagu i činjenicu da iznad planirane lokacije već prolazi postojeći DV 110 kV, kao bolje i kvalitetnije rješenje nameće se izgradnja nove TS 110/x kV. U skladu sa svim navedenim i uvažavajući prostorni raspored planiranih fotonaponskih elektrana, kao kvalitetno Rješenje za priključenje svih planiranih FNE i obezbjeđivanje potrebnih kapaciteta nameće se izgradnja novih TS 110/x kV na predmetnom području i to dvije nove TS 110/x kV. Izgradnjom novih razmatranih TS 110/x kV stvorili bi se uslovi za priključenje svih planiranih fotonaponskih elektrana za koje su do sada podneseni zahtjevi za prethodne elektroenergetske saglasnosti tako i za priključenje dodatnih fotonaponskih elektrana na predmetnom području.

LITERATURA

- [1] „Opšti uslovi za isporuke električne energije – pročišćen tekst“, 2023. godina
- [2] „Pravilnik o mjernom mjestu krajnjeg kupca“, 2009. godina
- [3] „Tehnička preporuka TP-17, Tehnička preporuka za priključenje i pogon distribuiranih generatora“, 2022. godina.
- [4] „Studija energetskog sektora u BiH“, 2008 godina,
- [5] „Perspektiva 35 kV naponskog nivoa u JP EP BiH“, 2014 godina
- [6] „Mrežna pravila distribucije operatora distributivnog sistema JP EP BiH d.d. Sarajevo“, 2018. godina