

---

## **RJEŠAVANJE PROBLEMA OPASNOG ISTOSMJENOG NAPONA DODIRA PRI POŽARU OBJEKTA S FOTONAPONSKOM ELEKTRANOM**

### **SAŽETAK**

*Trajni opasni napon dodira propisan je za izmjenični napon u električnim instalacijama 50V, a trajni opasni istosmjerni napon dodira bez valovitosti iznosi 120V. Uobičajene FNE danas redovito imaju napon serijskog spoja panela veći 120V. U člancima koji opisuju način gašenja požara u SR Njemačkoj zbog opasnog napona dodira koji se može pojaviti na oštećenom panelu, vatrogasci ne gase direktno raspršenim mlazom vode po fotonaponskoj elektrani, već sprečavaju širenje vatre na susjedne građevine. Prisutnost izmjeničnog napona na opožarenom objektu može se uvijek daljinski isključiti, ali istosmjerni napon FNE sloga ostaje prisutan. Rad opisuje jedan mogući način ograničavanja istosmjernog napona dodira na propisanu veličinu. Na odabranom načinu zaštite izvedena je tehnička dokumentacija, odabrana oprema i usuglašeno rješenje sa stručnjakom za zaštitu od požara u konkretnom projektu rekonstrukcije hotela. Ovim se tehničkim rješenjem smanjuje istosmjerni napon dodira na bezopasnu razinu istodobno s isključivanjem glavnog niskonaponskog elektroenergetskog razvoda zgrade.*

**Ključne riječi:** napon dodira, fotonaponska elektrana, požar

### **1. UVOD**

Pri požaru krovšta na kojem je izgrađena fotonaponska elektrana, postoji opasnost od opasnog napona dodira od istosmjernog izvora iz fotonaponskih panela. Gašenju požara možemo pristupiti na slijedeće načine:

- Navalno vatrogasno vozilo nije spojeno na hidrantsku mrežu te vatrogasac gasi mlazom vode sa vodenim topom, gasi sa izoliranog stajališta i ne smije se dodirivati vozilo od strane ostalog osoblja koje sudjeluje ugašenju, zbog potencijalno opasnog napona dodira.
- Vatrogasci mogu koristiti specijalne maznice za gašenje električne instalacije vodom.
- Osigurati da se ne može pojaviti opisani napon dodira.

Ovim referatom želimo prikazati jednu od tehničkih mogućnosti kojima se može izvesti električna instalacija istosmjernog kruga u fotonaponskoj elektrani takva da nema prisutnosti opasnog napona dodira u slučaju požara.

Opasni trajni istosmjerni napon bez valovitosti je napon iznad 120V=. Sustav izvedenog uzemljenja istosmjernog kruga je IT sustav sa spojenim vodičem za izjednačenje potencijala na sustav uzemljenja. Sagledavajući sustav IT on je definiran time da je sustav izvora napajanja izoliran od uzemljenja i dozvoljen je jedan kvar. Slijedom toga ne postoji opasnost od opasnog napona dodira ukoliko jedan od polova tokom požara dospije na uzemljenje. Opasni naponi dodira mogu se pojaviti u slučaju oštećenja izolacije na oba pola izvora napajanja.

## 2. TEHNIČKE ZNAČAJKE STRUJNOG IZVORA

Izvori električne energije s kojima se tipično susrećemo u praksi gotovo uvijek su naponski izvori. Školska shema i U-I karakteristika realnog naponskog izvora prikazane su slikom 1.

Slika 1. Školska shema i U-I karakteristika realnog naponskog izvora

Kao što znamo iz svakodnevne prakse, naponski izvor ima svoj unutarnji otpor radi kojeg napon na stezaljkama izvora opada s opterećenjem (veće opterećenje odgovara manjem otporu tereta), a struja pri tom raste. U slučaju kratkog spoja, ili opterećivanja vrlo, vrlo malim otporom (npr. zalijevanjem vodom), struja kratkog spoja je tipično više desetaka, pa i stotina puta veća od nazivne, što dovodi do havarijskog stanja, požara i teških posljedica po život i zdravlje. Naravno, za teške posljedice po život i zdravlje nije nužan kratki spoj jer je već i znatno manja struja kvara dovoljna za to. U situacijama kao što je požar i intervencija vatrogasaca, od opasnog napona dodira (koji izaziva opasnu struju kroz ljudsko tijelo) štitimo ih isklupom napajanja instalacija koje su predmet gašenja.

Fotonaponski paneli, međutim, **nisu naponski izvor**, već strujni. Školska shema i U-I karakteristika realnog strujnog izvora prikazane su slikom 2.

Slika 2. Školska shema i U-I karakteristika strujnog izvora

Kod strujnog izvora, njegov unutarnji otpor je znatno veći od očekivanog otpora tereta radi čega struja na stezaljkama opada s padom opterećenja. Naime, što je manje opterećenje izvora (tj. veći otpor tereta), veći dio struje teče kroz unutarnji otpor izvora, a manji kroz teret. Kod posve neopterećenog izvora (otpojene stezaljke) sva struja teče kroz unutarnji otpor izvora, a struja prema van je jednaka nuli, pri čemu je na stezaljkama strujnog izvora prisutan maksimalan napon – tzv. napon otvorenog kruga.

Ono što je ovdje bitno zamijetiti jest da pri kratko spojenim stezaljkama strujnog izvora, kad je opterećenje maksimalno (otpor tereta je jednak nuli), imamo izlaznu struju koja je tek neznatno veća od nazivne, dakle nema nikakve ekscesne situacije, niti potrebe da se izlazni krug strujnog izvora štiti od kratkog spoja.

Ovdje možemo iz svakodnevne prakse uočiti sličnost sa strujnim mjernim transformatorom čiji sekundar je donekle usporediv sa strujnim izvorom, iako vrlo nelinearan (u cijelom opsegu). Kao što znamo, kod SMT većih omjera, sekundari se nikad ne štite osiguračima i važno je osigurati da stezaljke sekundara uvijek budu kratko spojene ili opterećene malim otporom (ampermetrom) kako ne bi došlo do stvaranja zračnog luka uslijed induciranja vrlo velikih napona na otvorenim stezaljkama.

Međutim, u slučaju fotonaponskih panela, inherentna karakteristika fotoosjetljive silicijske pločice (od kakvih se slaže FN panel) je takva da je, u suštini, sama po sebi sigurna. Naime, fotonaponski panel ima stvarnu U-I karakteristiku poput ove na primjeru prikazanom na slici 3. Ona je linearna u jednom ograničenom dijelu, a nelinearnost je povoljna jer ograničava snagu izvora u ekscesnim uvjetima.

### Slika 3. stvarna U-I karakteristika fotonaponskog panela

Primjer na slici 3 prikazuje stvarnu U-I karakteristiku monokristalnog panela nazivne snage 525 Wp pri standardnim testnim uvjetima ( $1000 \text{ W/m}^2$  solarne iradijacije i  $25^\circ\text{C}$ ). Na tom primjeru vidimo kako je struja kratkog spoja oko 13,8 A, a napon otvorenih stezaljki je približno 49V. Radna točka ovisi o ulaznom otporu istosmjernog kruga fotonaponskog izmjenjivača koji je varijabilan, a njime upravlja poseban softverski modul unutar izmjenjivača, poznat pod imenom MPPT (eng. *maximum power point tracker*). Očekivana nazivna struja je oko 13,5 A pri naponu od oko 39V.

Kako bi se postigla optimalna proizvodnja, fotonaponski sustav se projektira na način da se veći broj jednakih FN panela spaja u seriju – tzv. niz (eng. *string*). Kako se radi o strujnim izvorima jednakih U-I karakteristika, time se efektivno dobiva jedan strujni izvor višestruko veće snage, i to takav koji ima jednaku nazivnu struju, ali višestruko veći napon (kako nazivni, tako i napon otvorenih stezaljki). Tipično, današnji fotonaponski sustavi se projektiraju za nazivni napon niza od 800 do 900 V= za manje sustave, odnosno 1300 do 1400 V= za veće. Slika 4 ilustrira ovo na primjeru niza od 22 panela (oko 850 V u normalnom radu).

Slika 4. niz od 22 fotonaponska panela kao složeni strujni izvor

Jasno je da iste okolnosti prikazane slikom 4 vrijede i za jedan sâm panel, kao nelinearni strujni izvor. Upravo to je osobina koja će poslužiti za realizaciju učinkovite zaštite od previsokog napona dodira.

### 3. SMJERNICE ZA ZAŠTITU OD POŽARA

Trenutno u Republici Hrvatskoj nema na snazi relevantnog propisa niti norme koja bi definirala specifične mjere zaštite od požara u pogledu fotonaponske elektrane na krovu zgrade. U Republici Sloveniji postoje relevantne smjernice [1] koje se, među ostalim, bave i ovim problemom.

Specifično na temu istosmjernih krugova i instalacija fotonaponske elektrane referiraju se poglavlja 2.4.2.2, 2.4.4, 2.4.5, pri čemu se poglavlje 2.4.4 upravo načinima sprječavanja nastanka opasnog napona dodira na istosmjernim instalacijama fotonaponske elektrane. Navedene smjernice predviđaju daljinski isklop istosmjernog kruga i prekidanje dobave električne energije prema pretvaraču DC/AC ili, kao alternativu tom rješenju, još nekoliko opcija: primjenu upravljivih optimizatora FN panela, primjenu mikroinvertera (po svakom panelu ili po nekoliko njih) i kratko spajanje po dijelovima fotonaponskih nizova.

Daljinskim isklupom istosmjernog kruga se ne eliminira u potpunosti opasnost od opasnog napona dodira. Od preostalih opcija, troškovno najprihvatljivija, a najmanje jednako pouzdana je kratko spajanje.

U svrhu otklanjanja opasnosti od opasnog napona dodira iz sustava istosmjernog napajanja fotonaponske elektrane postavljamo sljedeći projektni zadatak:

Na ulazu u zgradu postavlja se tipkalo za daljinski isklop električne energije iz distribucijske mreže. Navedenim smo uklonili opasnost od opasnog napona dodira koji dolazi od izmjeničnog napona gdje je maksimalni trajni opasni napon dodira određen sa 50V.

U svrhu sprečavanja opasnog napona dodira sa istosmjernog izvora napajanja izvodimo slijedeće mjere: Ugrađujemo sklopnik koji će parcijalne nizove fotonaponskih panela kratko spojiti. Sklopnik mora biti dimenzioniran za nazivni napon istosmjernog kruga fotonaponske elektrane (do 1000V=) i za prekidanje istosmjerne struje kratkog spoja fotonaponskih panela. Pogonski svitak sklopnika napajamo iz električne instalacije izmjeničnog niskog napona.

Prekidanjem dovoda električne energije iz distribucijske mreže imamo slijedeću situaciju; nema prisutnosti izmjeničnog napona, DC/AC izmjenjivač ne isporučuje napon u električnu instalaciju izmjeničnog napona (najprije radi prorade zaštite od otočnog rada, a zatim radi imobilizacije istosmjernih nizova), te nemamo prisutnost opasnog napona dodira. Prestankom napajanja svitka sklopnika sklopnik ima normalno zatvorene kontakte te, istosmjerni izvor napajanja fotonaponske

panele kratko spaja, čime smo eliminirali prisutnost opasnog napona dodira u istosmjernom krugu fotonaponske elektrane. Navedene smjernice bile su dio projektnog zadatka u projektu koji je izveden temeljem prethodno navedenih zahtjeva.

## **5. ZAKLJUČAK**

Zaključak

zzz bla bla

## **6. LITERATURA**

- [1] Smernica SZPV 512 o požarni varnosti sončnih elektrarn, Slovensko združenje za požarno varstvo, izdanje 02/16, Ljubljana 2016. godine, [http://www.szpv.si/wp-content/uploads/SZPV-512\\_2016.pdf](http://www.szpv.si/wp-content/uploads/SZPV-512_2016.pdf)
- [2]
- [3]