

# Modeliranje i analiza tokova snaga u mreži s FN elektranama

---

**Kelemen, Mario**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2019**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:662477>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-08-14**

*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I  
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA**

**Sveučilišni studij**

**MODELIRANJE I ANALIZA TOKOVA SNAGA U  
MREŽI S FOTONAPONSKIM ELEKTRANAMA**

**Završni rad**

**Mario Kelemen**

**Osijek, 2019.**

## SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b> .....	<b>3</b>
<b>1.1. Zadatak završnog rada</b> .....	<b>3</b>
<b>2. BITNI ELEMENTI U FOTONAPONSKOJ MREŽI</b> .....	<b>4</b>
<b>2.1. Fotonaponski modul</b> .....	<b>4</b>
<b>2.2. Izmjenjivač</b> .....	<b>6</b>
<b>2.3. Sabirnica</b> .....	<b>6</b>
<b>3. MODELIRANJE MREŽE</b> .....	<b>7</b>
<b>3.1. Postavljanje fotonaponskih modula</b> .....	<b>8</b>
<b>3.2. Postavljanje izmjenjivača</b> .....	<b>14</b>
<b>4. TOKOVI SNAGA</b> .....	<b>17</b>
<b>4.1. Tokovi snaga – općenito</b> .....	<b>17</b>
<b>4.2. Tokovi snaga u modeliranoj fotonaponskoj mreži</b> .....	<b>18</b>
<b>5. ZAKLJUČAK</b> .....	<b>26</b>
<i>Literatura</i> .....	<b>27</b>
<b>SAŽETAK</b> .....	<b>28</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>29</b>
<b>ŽIVOTOPIS</b> .....	<b>29</b>

## 1. UVOD

Danas je u svijetu rasprostranjena uporaba obnovljivih izvora energije. Takvoj vrsti energije se moramo okretati jer fosilnih goriva ima sve manje. Sunčeva energija je jako zastupljena kao obnovljivi izvor čiste i sigurne energije. Hidroelektrane i elektrane na vjetar ne možemo imati kod kuće, ali solarne elektrane možemo svi. Smanjenjem cijene fotonaponskih sustava i razvojem tehnologije dolazi do sve veće isplativosti ugradnje istih. Tako proizvodnja fotonaponskim elektranama ima značajne ekonomske i društvene koristi. Mnoge zemlje potiču razvoj solarnih elektrana. Sve više industrija i kućanstava postavlja solarne izvore energije na svoje krovove. Jasno je da udio instaliranih kapaciteta fotonaponske proizvodnje raste i rasti će i u budućnosti. Postoji Off-grid način rada koji nema utjecaja u postojeću mrežu. To je sustav sam za sebe, primjerice za napajanje nekog postrojenja gdje nije omogućena uporaba mreže, vlastite vikendice bez spajanja na mrežu. Drugi način je On-grid koji se koristi za vlastite potrebe ali sustav je spojen na mrežu te manjak energije uzima iz mreže, a višak šalje u mrežu. Takvi veliki priključci na mrežu uzrokuju promjene raspodjele tokova snaga u mreži. Snaga će poteći i u suprotnom smjeru. Neće više ići od distribucijske mreže prema potrošačima, nego će krenuti i od potrošača nazad u distribucijsku mrežu. To predstavlja i problem za distributere, jer naš sustav je napravljen za tok snage od proizvodnje prema potrošaču. Nužno je proučiti utjecaj solarnih elektrana na distribucijsku mrežu i njene komponente. Vrijeme je za izmjene u infrastrukturi mreže.

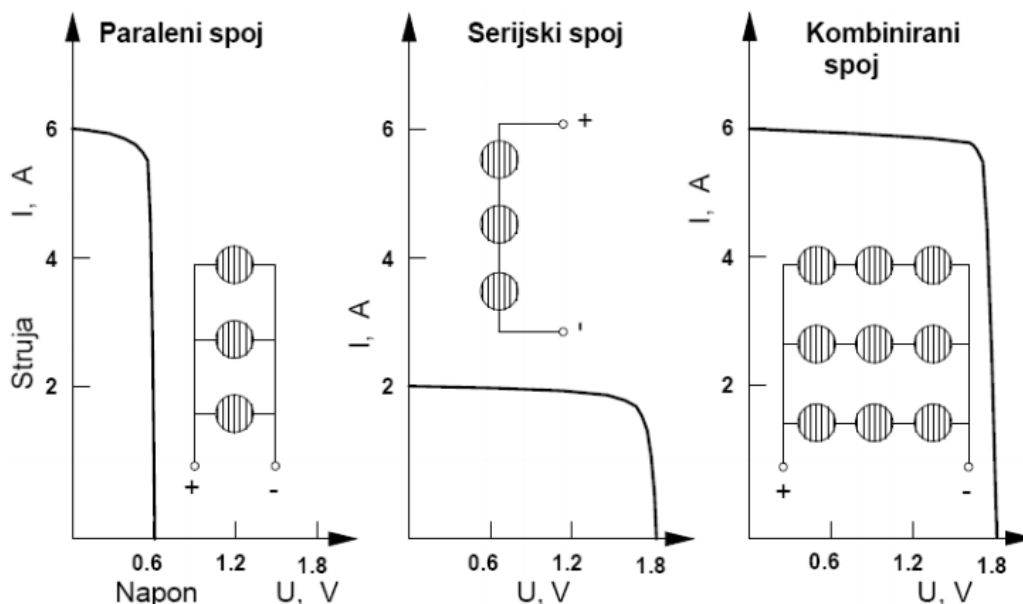
### 1.1. Zadatak završnog rada

Zadatak ovog završnog rada je modelirati jednu manju mrežu s fotonaponskim elektranama pomoću programa EasyPower i napraviti analizu tokova snaga u takvoj realnoj mreži. Uz to je potrebno kompenzirati Jalovu energiju i opisati dijelove potrebne da bi se fotonaponska elektrana priključila na mrežu, te sam program i njegove značajke.

## 2. BITNI ELEMENTI U FOTONAPONSKOJ MREŽI

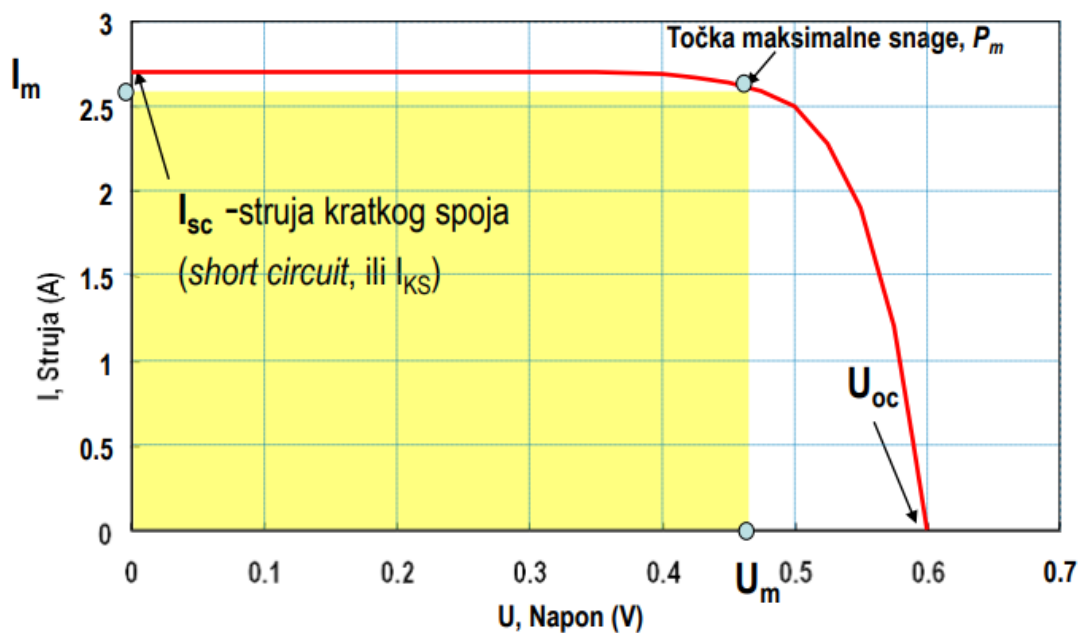
### 2.1. Fotonaponski modul

Jezgra svih solarnih sustava je fotonaponski modul, koji energiju sunčevog svjetla koristi kako bi kroz fotonaponski efekt proizveli električnu energiju. Fotonaponski modul direktno pretvara svjetlosnu energiju u struju istosmjernog karaktera. Sastoji se od više fotonaponskih članaka, gdje svaki ima izlazni napon od 500 mV do 700 mV. Ti se fotonaponski članci povezuju kako bi se tvorio modul zadanog napona 12 V. Fotonaponske članke povezujemo serijski da bi ostvarili željeni napon na izlazu, a paralelno za ostvarenje željene vrijednosti struje. Razlike tih spojeva se mogu vidjeti na strujno-naponskim karakteristikama na slici 2.1.



Slika 2.1. I-U karakteristike paralelnog, serijskog i kombiniranog spoj fotonaponskih ćelija [1]

Fotonaponski članci sačinjeni su od dva poluvodiča. Ti poluvodiči su različito nabijeni, te pod utjecajem Sunčeve svjetlosti između njih teče struja. Kako su članci spojeni serijski, dođe li iz bilo kojeg razloga do zasjenjenja jednog, primjerice zbog lišća, drugog smeća ili samog oblaka, to će imati utjecaj na cijeli fotonaponski modul. Zato možemo imati premostive diode zbog kojih bi se maksimizirao izlazni dio nad kojim nema zasjenjenja. Slika 2.2. prikazuje I-U karakteristiku fotonaponskog modula.



Slika 2.2. I-U karakteristika fotonaponskog modula [2]

Vidljivo je da fotonaponski modul maksimalnu snagu daje pri nešto manjem naponu od napona praznog hoda, baš zbog specifičnosti ove krivulje. Više o tom proračunu bit će u poglavljima kasnije.

Učinkovitost samih fotonaponskih modula nije baš velika, a i opada s porastom temperature. Iskoristivo je 77 % Sunčeve svjetlosti, ali oko 43 % grije kristal i ništa više. Tako da je efikasnost 28 % na 0 °C, a samo 14 % na 100 °C. Zato postoje i izvedbe modula s koncentradorima. Oni u sebi imaju leće i ogledala pomoću kojih se svjetlost bolje usmjerava prema ćelijama. Fotonaponski moduli se mogu upotrebljavati na dva načina. Jedan je u svrhu dodatnog izvora energije, a drugi je samostalni način kao primjerice na satelitima, kalkulatorima, prometnim signalizacijama, vikendicama ili drugim objektima gdje nije dostupna distribucijska mreža.

Fotonapon nam daje visoku pouzdanost, niske troškove rada, minimalnu potrebu za održavanjem, nije nam potrebno nikakvo gorivo niti skupi troškovi prijevoza istog, takav sustav je primjenjiv bilo gdje, nema buke, omogućavaju električnu energiju tamo gdje je do sada nije bilo i ono najbitnije, ne zagađuje okoliš. Niti narušava biljni i životinjski svijet niti proizvodi stakleničke plinove. No ima i negativna strana a to je što okoliš zagađuje proizvodnja tih fotonaponskih panela, a i kada bi proizvodili električnu energiju samo iz ovog načina bila bi nam potrebna jako velika površina.

## **2.2. Izmjenjivač**

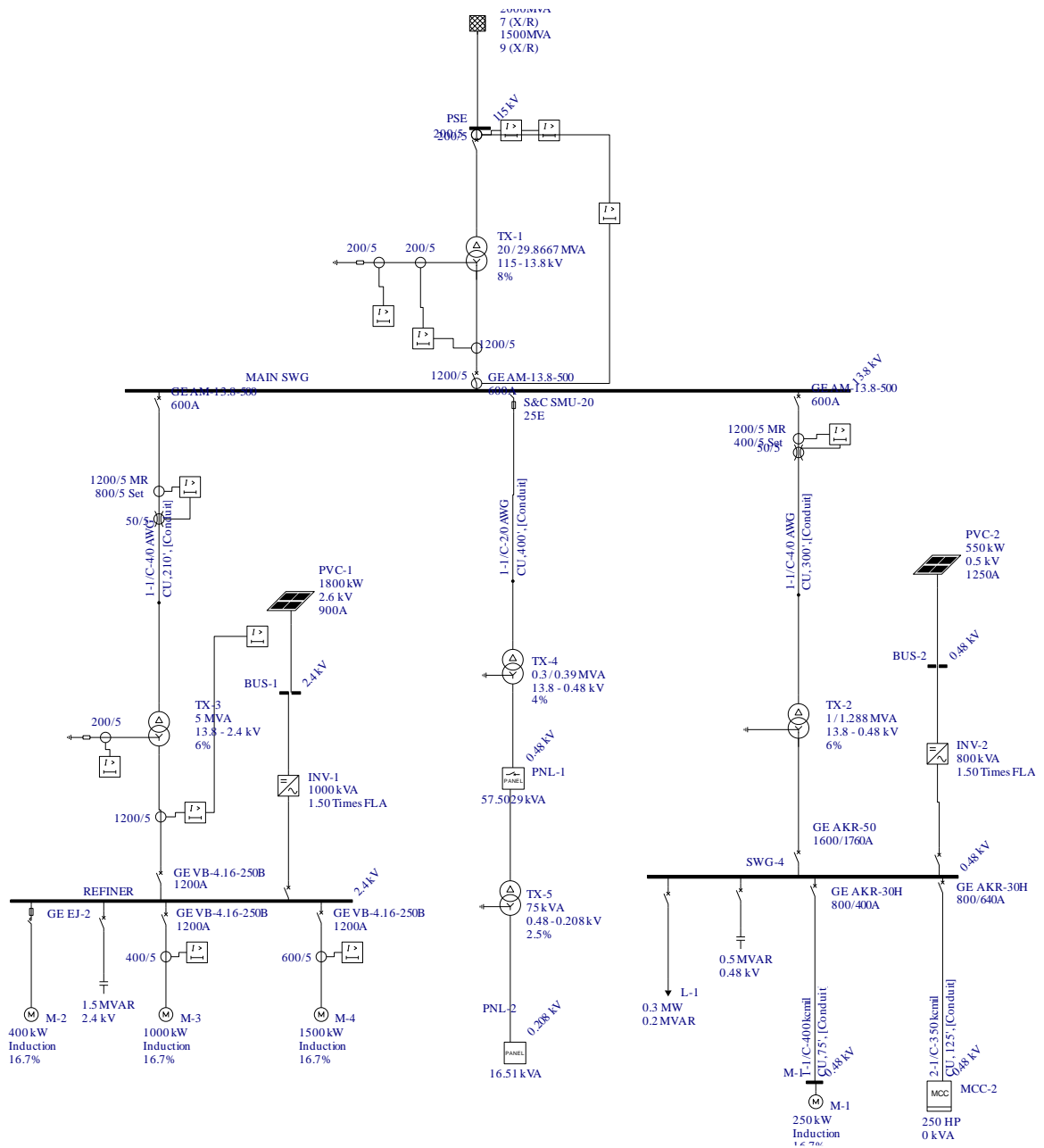
Kako fotonaponski moduli daju istosmjernan napon potrebno nam je rješenje kako njih priključiti na mrežu izmjeničnog karaktera. U tu svrhu koristimo izmjenjivače koji takav istosmjernan napon pretvaraju u izmjeničan, nama potreban. Bitno je da je kod izmjenjivača uvijek smjer energije takav da ide iz istosmjernog sustava ka izmjeničnome. Kako bi objasnili rad izmjenjivača potrebno je zamisliti bateriju u svjetiljci. Prekidač je zatvoren i istosmjerna struja uvijek teče u jednom smjeru. Ako se sada ta bateriju izvađi i okrene u drugu stranu, svjetiljka će i dalje svijetliti i neće se primijetiti razliku u toj svjetlosti iako struja teče suprotno. Kada bi uspjeli tu promjenu raditi 50 puta u sekundi ustvari bi karakter struje bio promijenjen u izmjenični frekvencije 50 Hz. To je cilj izmjenjivača, na izlazu dati izmjeničnu struju frekvencije 50 Hz uz dovedenu istosmjernu na ulazu. Izmjenjivač se sastoji od ventila koji naizmjenično uklapaju i tako postižu da struja ide u oba smjera, te da se zadovolji potreba za frekvencijom od 50 Hz. Naravno, u ovom slučaju bi se dobio pravokutan napon na izlazu. Zato su ugrađene i druge elektroničke komponente, kondenzatori i induktiviteti, kako bi taj napon bio sinusni i sinkroniziran s mrežom. Postoje i mehaničke izvedbe izmjenjivača koji koriste elektromagnetske prekidače.

## **2.3. Sabirnica**

Sabirnica je vodič na koji su spojeni vodovi drugih strujnih krugova. Sabirnice su zapravo čvorovi u mreži. Služe za prijenos i za razdiobu električne energije. U ovom radu za spajanje fotonaponskih modula je korištena sabirnicu napona 2,4 kV za jedan modul i sabirnicu nazivnog napona 0,48 kV za drugi fotonaponski modul.

### 3. MODELIRANJE MREŽE

U ovom poglavlju će biti objašnjeno postavljanje određenih elemenata potrebnih da bi fotonaponski moduli uspješno radili u ovoj mreži. Na slici 3.1. prikazana je kompletna mreža korištena u ovom radu, modelirana u programu EasyPower. Kao što je vidljivo postavljena su dva fotonaponska modula i korišteni su kao dodatni izvori energije u mreži. Trošila su veliki motori što znači i da će biti potrebna kompenzacija jalove snage.

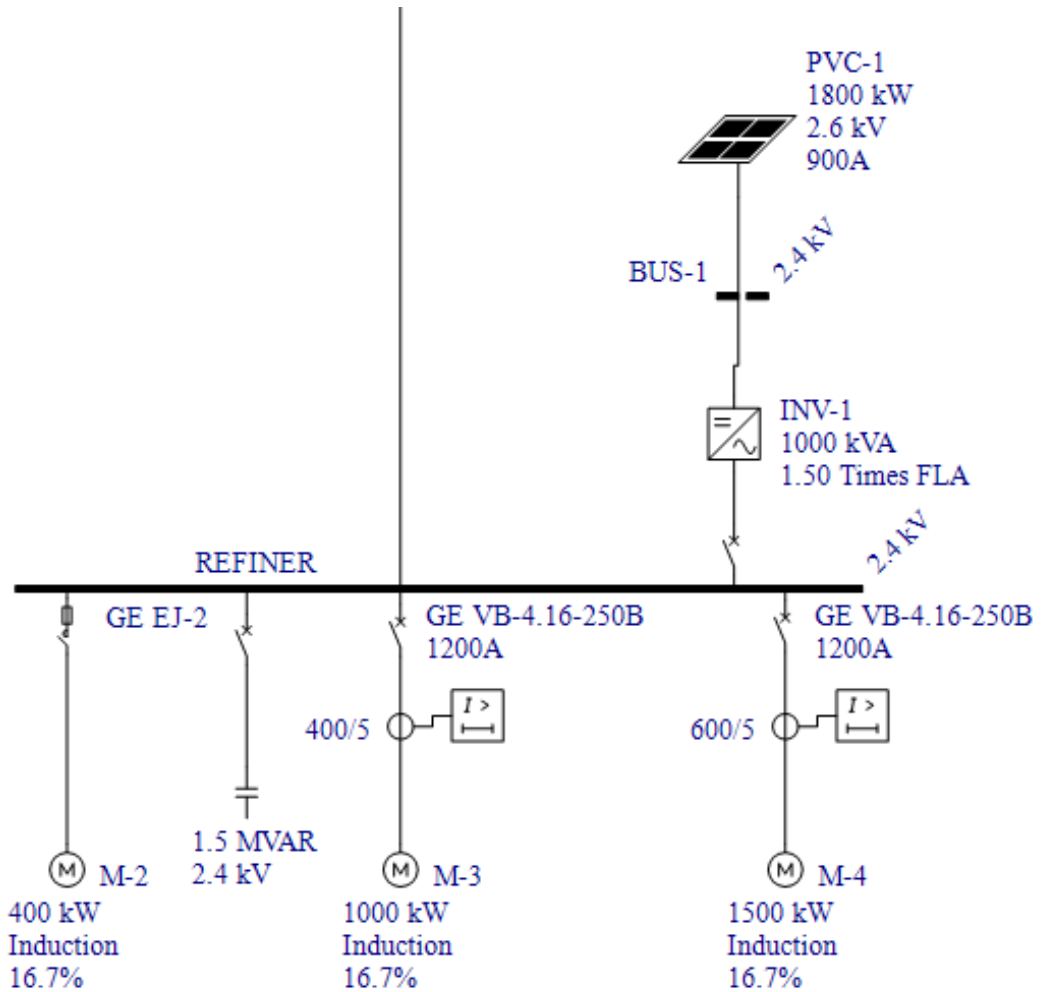


Slika 3.1. Modelirana mreža



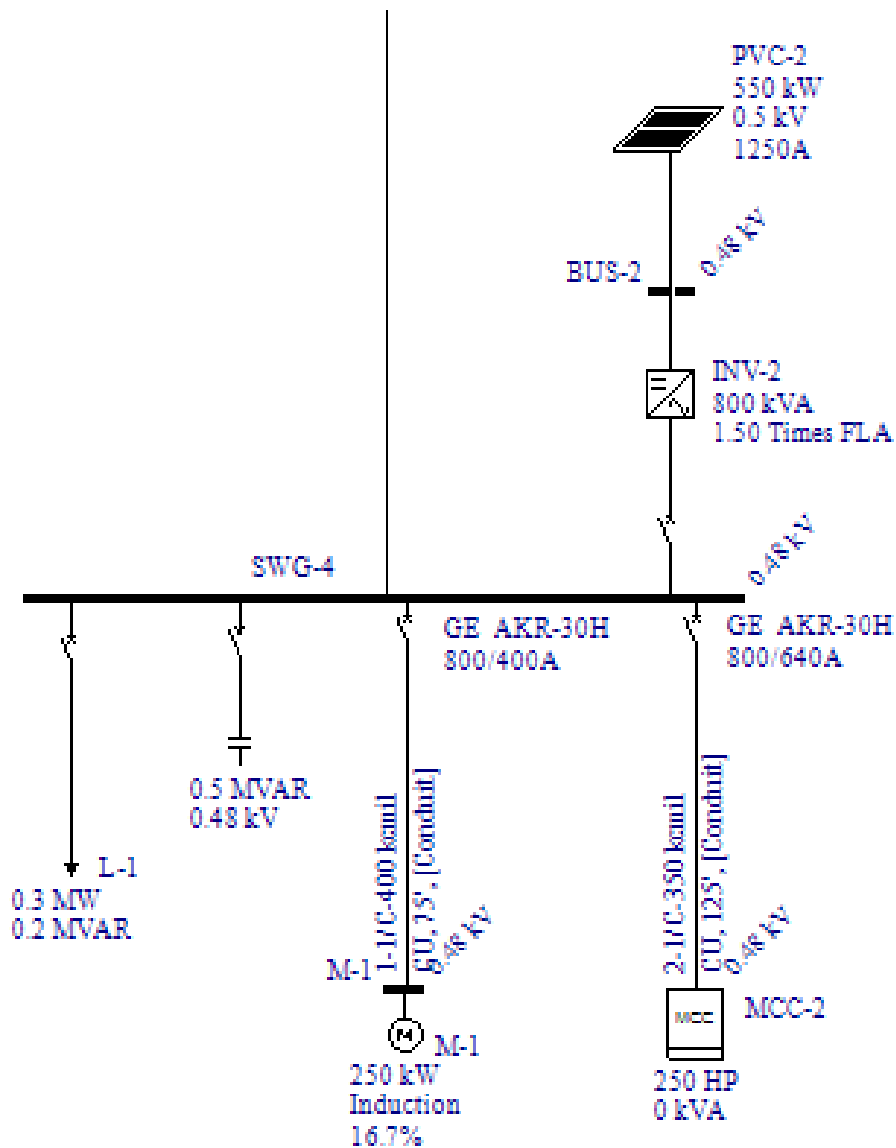
### 3.1. Postavljanje fotonaponskih modula

U mrežu su stavljena dva fotonaponska modula. Jedan je spojen na sabirnicu na kojoj su i motori koji zahtijevaju 2900 kW snage. Zato sam odabrao da taj fotonaponski modul ima maksimalnu snagu 1800 kW i nazvao ga PVC-1. Ovaj dio mreže je uvećano prikazan ispod na slici 3.2.



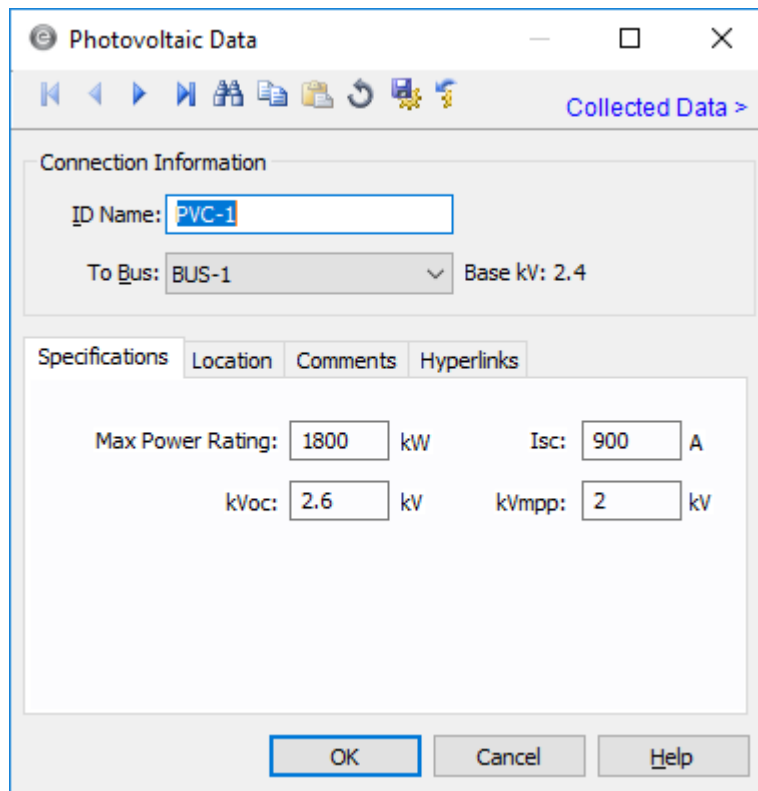
Slika 3.2. Fotonaponski modul PVC-1 (1800 kW) i trošila na sabirnici

Drugi modul je spojen na sabirnicu manje snage pa sam za njega postavio maksimalnu snagu na 550 kW i nazvao ga PVC-2, uvećano prikazano na slici 3.3. Ostatak potrebne snage trošila će uzimati iz mreže.



Slika 3.3. Fotonaponski modul PVC-2 (560 kW) s trošilima na sabirnici

Dalje su prikazane postavke fotonaponskog modula PVC-1. Slika 3.4. prikazuje prozor s bitnim parametrima koje je potrebno postaviti.



Slika 3.4. Parametri fotonaponskog modula PVC-1 [5]

Connection Information prikazuje ime modula i sabirnicu na koju je spojen.

Max Power Rating je vrijednost maksimalne snage koju daje ovaj modul

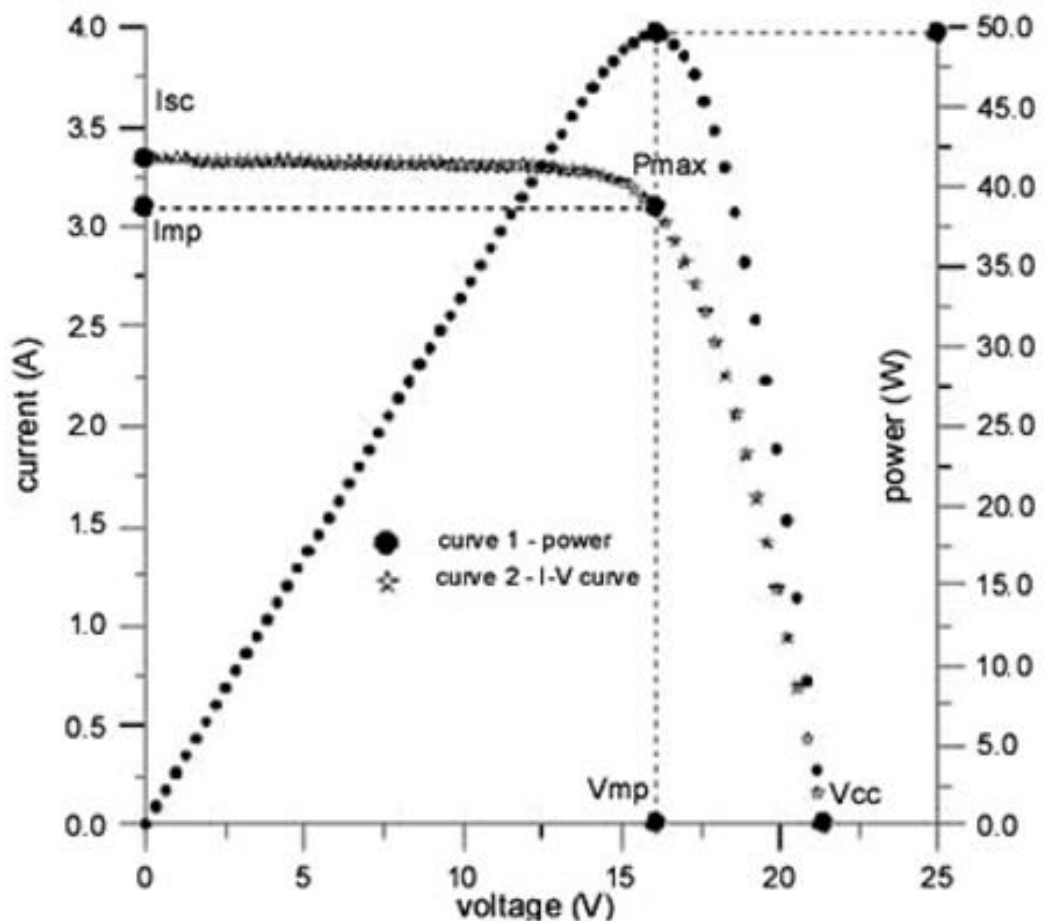
$I_{sc}$  označava struju kratkog spoja

$kV_{oc}$  je oznaka za napon praznog hoda

$kV_{mpp}$  označava napon pri kojem se generira maksimalna snaga

Maksimalna snaga je određena da bude 1800 kW. Pošto se modul spaja na sabirnicu napona 2,4 kV, treba postaviti napon praznog hoda na 2,6 kV. No svi parametri trebaju biti ispravno zadani da bi se ta snaga i dobila.

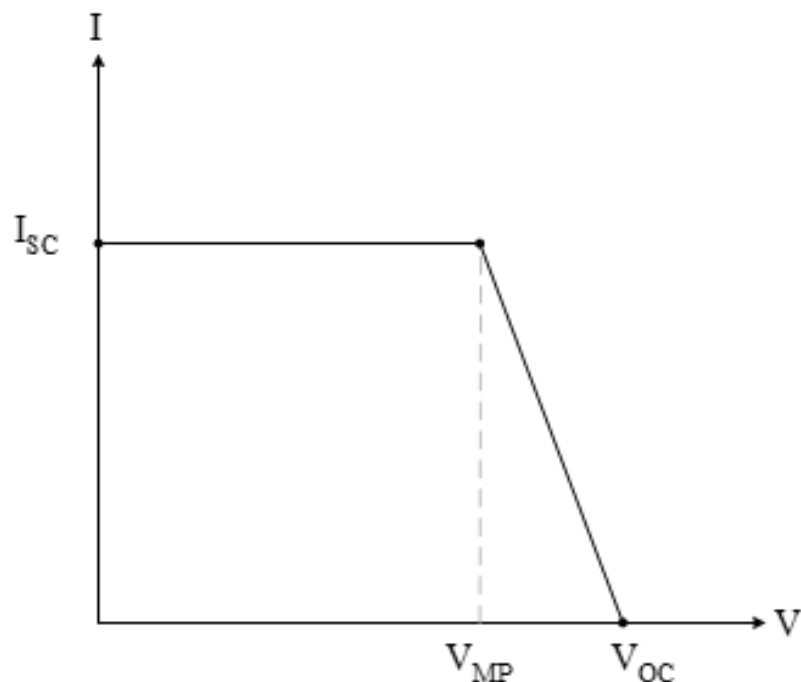
Iz EasyPower primjera krivulje na slici 3.5. vidljivo je pri kojim vrijednostima napona i struja će se dobiti kakva snaga.



Slika 3.5. U-I karakteristika fotonaponskog modula [5]

Bitno je skrenuti pozornost na maksimalnu snagu  $P_{max}$  i promotriti ovaj primjer. Može se vidjeti da je  $V_{mp}$ , napon pri kojem je generirana maksimalna snaga, 16 V. Napon praznog hoda  $V_{oc}$  je 21 V, te struja kratkog spoja  $I_{sc}$  iznosi 3,3 A.

Vidljivo je da će porastom napona opadati struja. Ova krivulja je pojednostavljena u programu EasyPower i prema njoj se ponašaju fotonaponski moduli, a izgleda kao na slici 3.6.



Slika 3.6. Pojednostavljena U-I karakteristika u programu EasyPower [5]

Ako je poznato da je snaga umnožak napona i struje, relacija 3-1, onda se iz ove pojednostavljene krivulje može lako pronaći točka gdje je snaga najveća. Ona će biti maksimalna na sjecištima struje  $I_{sc}$  i napona označenog sa  $V_{mp}$  i u ovom primjeru ona iznosi 52,8 W.

$$P_{max} = I_{sc} \times V_{mp} \quad (3-1)$$

Ta pojednostavljena krivulja sa slike 3.6. koristi se u programu za simulaciju fotonaponskog sustava. Prema njoj, kako napon na fotonaponskom modulu pada od vrijednosti  $V_{oc}$  prema vrijednosti  $V_{mp}$ , snaga na izlazu modula se povećava. Ako napon padne ispod vrijednosti  $V_{mp}$ , onda i snaga pada prema nuli.

Sad kada je poznata ovisnost maksimalne snage o naponu praznog hoda i struji kratkog spoja može se postaviti ovaj fotonaponski modul. Napon pri kojem će se generirati maksimalna snaga je manji od napona na koji je modul spojen. Iznosi 2 kV. Formula iz relacije 3-1. može se srediti pa će se struja kratkog spoja odrediti prema relaciji 3-2. Potrebna struja kratkog spoja je 900 A.

$$I_{sc} = \frac{P_{max}}{kV_{mpp}} \quad (3-2)$$

$$I_{sc} = \frac{1800 \text{ kW}}{2 \text{ kV}} = 900 \text{ A}$$

Sada je postavljen fotonaponski modul spreman za spajanje na mrežu. Njega se postavlja prvo na istosmjernu sabirnicu napona 2,4 kV koja dalje vodi do izmjenjivača.

Na isti način se postavljaju i parametri fotonaponskog modula PVC-2, slika 3.7.

Slika 3.7. Parametri fotonaponskog modula PVC-2 [5]

Za njega je uzeto da maksimalna snaga bude 550 kW. Taj modul se spaja na sabirnicu gdje vlada napon 0,48 kV, pa će napon praznog hoda za ovaj modul iznositi 0,5 kV. Kao što je vidljivo na krivulji sa slike 3.5., potrebno je da napon pri kojem će se razviti maksimalna snaga bude nešto manji od napona praznog hoda, pa će on biti postavljen na vrijednost 0.44 kV. Sada prema krivulji na slici 3.6. treba odrediti kolika je struja kratkog spoja potrebna da bi ovaj fotonaponski modul davao maksimalnu snagu od 550 kW. Uvrštavanjem do sad

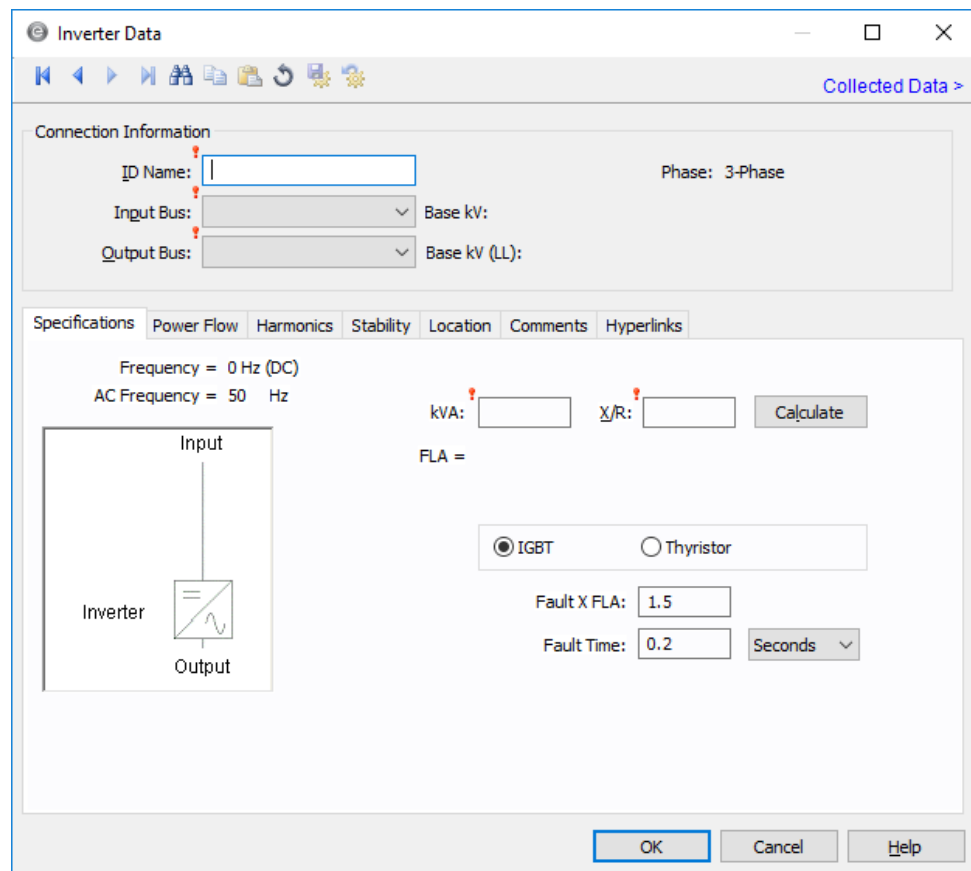
određenih parametara u formulu (3-2) dobije se vrijednost od 1250 A za struju kratkog spoja (izračun (3-3)).

$$I_{sc} = \frac{550 \text{ kW}}{0.44 \text{ kV}} = 1250 \text{ A} \quad (3-3)$$

Sljedeći korak je postavljanje izmjenjivača.

### 3.2. Postavljanje izmjenjivača

Izmjenjivač u programu EasyPower ima sljedeće parametre. Ispod su objašnjeni bitni parametri korišteni za modeliranje u ovom radu. ID Name je ime izmjenjivača. Jedan sam nazvao INV-1, a drugi INV-2. Input i Output Bus su imena sabirnica na koje spajaju ulazi i izlazi invertera.



Slika 3.8. Parametri izmjenjivača – kartica specifikacija [5]

Na slici 3.8. je prikazana kartica sa specifikacijama. U polju kVA definira se nazivna prividna snaga izmjenjivača. U INV-1 je postavljena 1000 kVA, a INV-2 800 kVA nazivna snaga. X/R je omjer udjela kratkog spoja izmjenjivača kako je vidljivo sa strane opterećenja. Taj podatak program izračuna sam. Moguće je odabrati tiristorski ili IGBT tip izmjenjivača. Za tiristorski su stvarne i reaktivne snage simulirane pomoću Kimbarkovih jednadžbi, a za IGBT, koji je odabran na oba izmjenjivača u ovom radu, su moguća tri načina upravljanja. Slika 3.9. prikazuje karticu toka snage.

The screenshot shows the 'Inverter Data' window with the following fields and settings:

- Connection Information:**
  - ID Name: [Empty text box]
  - Phase: 3-Phase
  - Input Bus: [Dropdown menu]
  - Base kV: [Empty text box]
  - Output Bus: [Dropdown menu]
  - Base kV (LL): [Empty text box]
- Specifications:**
  - Model:
    - Stand Alone
    - Voltage Controlled
    - Const PQ Output
  - Ctrl kV PU: 1
  - Ctrl Angle: 0
  - Eff: 90 %
  - kW: 0
  - kVAR: 0
  - kVAR Min: -100000
  - kVAR Max: 100000
  - Commutation Impedance:
    - Z1: [Empty text box] %
    - X/R: [Empty text box]
    - kVA: [Empty text box]
    - Calculate: [Button]
  - Min Voltage Threshold: 0.9 pu
  - Gamma Min: 0 deg
  - Gamma Max: 60 deg

Slika 3.9. Kartica toka snage [5]

Načini upravljanja izlazom IGBT tipa pretvarača su:

- Stand Alone – izmjenjivač će isporučiti bilo koju količinu zahtijevane snage kao i izmjenična mreža



- Voltage Controlled – ovakav model sustavu isporučuje određenu količinu snage i zadržava vrijednost napona na navedenoj vrijednosti. Potrebno je i odrediti minimalnu i maksimalnu snagu
- Const PQ Output – ovaj model isporučuje određenu količinu radne i jalove energije u sustav.

Ovdje je u ovim izmjenjivačima odabran Const PQ Output, te su kontrolirane radne snage za ovaj model postavljene 1000 kW na INV-1 i 600 kW na INV-2. Jalove snage su 0 kVAR jer fotonaponski moduli ne daju jalovu energiju. Učinkovitost pretvarača je odabrana 90% za oba. 0.9 pu, vrijednost napona ispod koje će pretvarač kada padne, početi smanjivati snagu sve dok se ulazni napon ne podigne iznad te vrijednosti. Ostale kartice nisu uređivane pa nisu niti objašnjene.

Izmjenjivači su dalje spojeni na svoje sabirnice s potrošačima preko sklopke kako bi se mogli kasnije ti fotonaponski moduli uključivati i isključivati s mreže.

## **4. TOKOVI SNAGA**

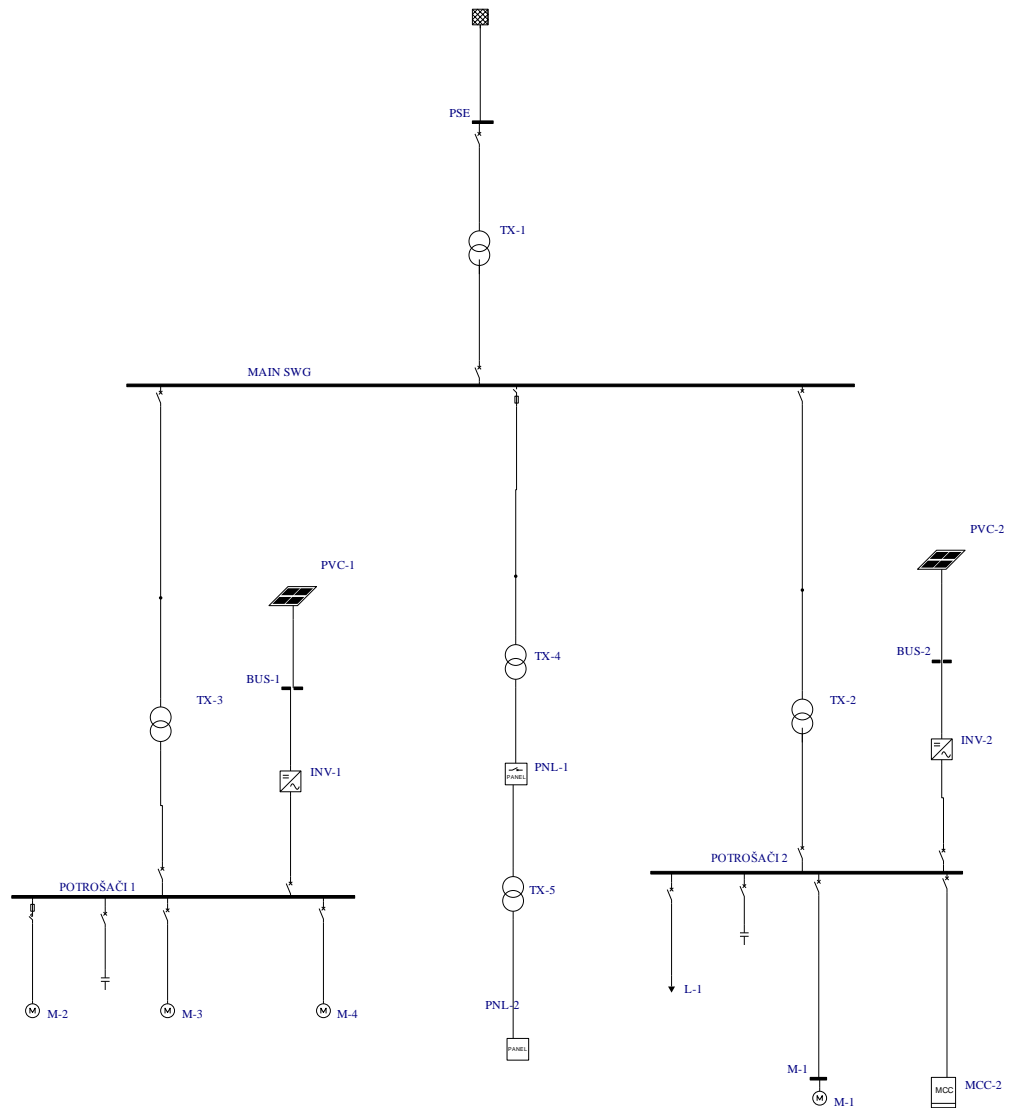
U ovom poglavlju prikazan je utjecaj postavljenih fotonaponskih modula na tokove snaga u mreži. Vidjet će se je li stvarno zahvaljujući dodanim fotonaponskim modulima potrebna manja snaga iz mreže za snabdijevanje potrošača.

### **4.1. Tokovi snaga – općenito**

Elektroenergetski sustav sačinjen je od sljedećih dijelova: proizvodnje električne energije, prijenosa te energije do distribucijskih centara, distribucije energije krajnjim potrošačima i od samih potrošača.

Elektroenergetski je sustav sačinjen i puno grana i čvorova. U tim granama teku snage, što nazivamo tokovi snaga. Potrošači ne troše cijeli dan jednaku snagu, već imaju promjenjive zahtjeve i njima se treba prilagoditi. Prilagođavanjem generatora promjenjivoj potrošnji, mijenjamo i tokove snaga u cijeloj mreži, a nepravilan proračun tokova snaga vodi do velikih problema u mreži. Stoga je on izuzetno važan i pomaže nam održavati kontroliranu potrošnju i proizvodnju električne energije. Za proračun tokova snaga koriste se sljedeći postupci: Gaussova metoda, Gaus-Seidelova metoda i Newton-Raphsonova metoda.

## 4.2. Tokovi snaga u modeliranoj fotonaponskoj mreži



Slika 4.1. Prikaz mreže

### Mreža bez fotonapona

Simulacijom mreže bez dodanih fotonaponskih modula dobivam sljedeće podatke. Opterećenje sustava, gubici u mreži i snaga koju generator daje u mrežu navedeni su u tablici 4.1.

*Tablica 4.1. Opterećenje, gubitci i generirana snaga u sustav*

	Djelatna snaga [kW]	Jalova snaga [kVAR]	Prividna snaga [kVA]
Ukupno opterećenje sustava	3149	2149	3812
Ukupni gubitci u sustavu	14	215	
Generator proizvodi	3171	2364	3955

Proučimo mjesta gdje će raditi fotonaponski moduli. To su sabirnice POTROŠAČI 1 i POTROŠAČI 2. Za opskrbu tih mjesta potrebna je snaga kao što je prikazano u tablici 4.2.

*Tablica 4.2. Opterećenja sabirnica*

	Djelatna snaga [kW]	Jalova snaga [kVAR]	Prividna snaga [kVA]
Potrošači 1	2368	1653	2888
Potrošači 2	709	486	860

Djelatni gubitci su 14 kW, a Jalovi 215 kVAR. U redu je imati manje gubitke i oni su neophodni. Gubitci su nastali na sabirnicama i ostalim spojnim elementima, te zbog prijenosa i zagrijavanja vodova. Ovu sliku mreže će popraviti uključivanje

kondenzatorskih baterija od 1.5 MVAR na sabirnicu Potrošači 1 i 0.4 MVAR na sabirnicu Potrošači 2. Sada su tokovi snaga promijenjeni. U tablici 4.3. dan je novi izgled tokova snaga.

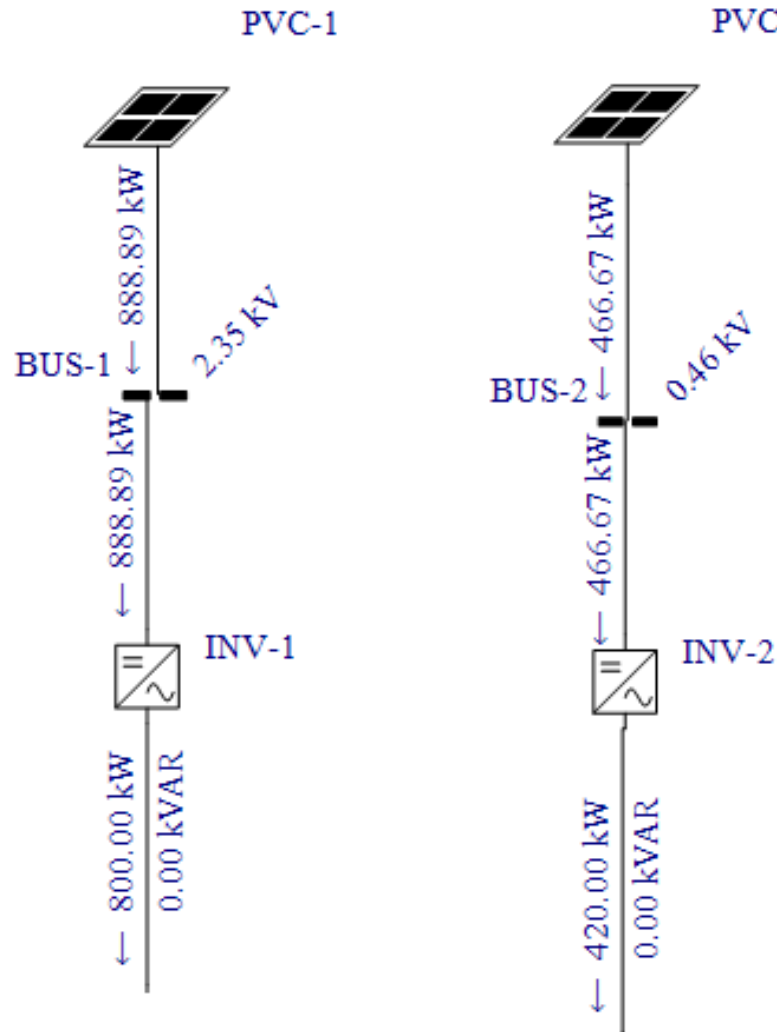
*Tablica 4.3. Tokovi snaga nakon uključivanja kondenzatora*

	Djelatna snaga [kW]	Jalova snaga [kVAR]	Prividna snaga [kVA]
Ukupni gubici u sustavu	14	137	
Generator proizvodi	3163	421	3191
Potrošači 1	2368	174	2375
Potrošači 2	709	99	716

Iz priloženog je vidljivo da su kondenzatorske baterije pozitivno utjecale na mrežu. Smanjili su se gubici Jalove energije u mreži, nisu više 215 kVAR već su 137 kVAR. Generator koji je u mrežu davao 2364 kVAR jalove energije sada daje samo 421 kVAR, a time mu se smanjila i prividna snaga. Potrošači 1 i Potrošači 2 sada uzimaju dosta manje reaktivne snage iz mreže, što je i bio cilj.

### **Tokovi snaga uz aktivne fotonaponske module**

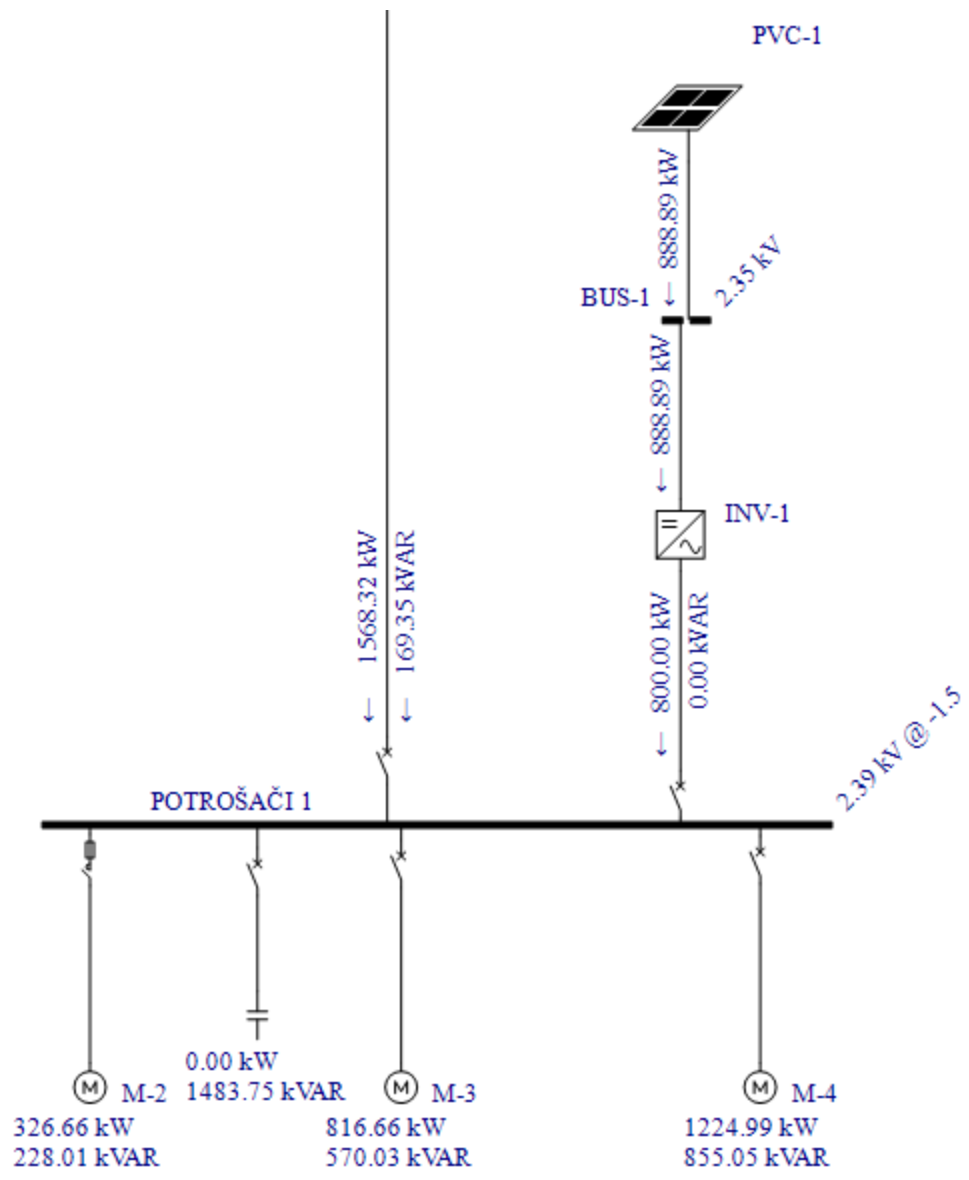
Uključivanjem postavljenih fotonaponskih modula promijenit će se tokovi snaga u cijeloj mreži. Potrošači 1 i Potrošači 2 sada imaju osim mreže i vlastiti izvor napajanja. Sada bi trebali iz mreže uzimati manje djelatne snage, a time bi i generator koji proizvodi struju za ovu modeliranu mrežu trebao smanjiti svoju proizvodnju. Na slici 4.2. su prikazani tokovi snaga koje mreža dobiva od fotonaponskih modula PVC-1 i PVC-2.



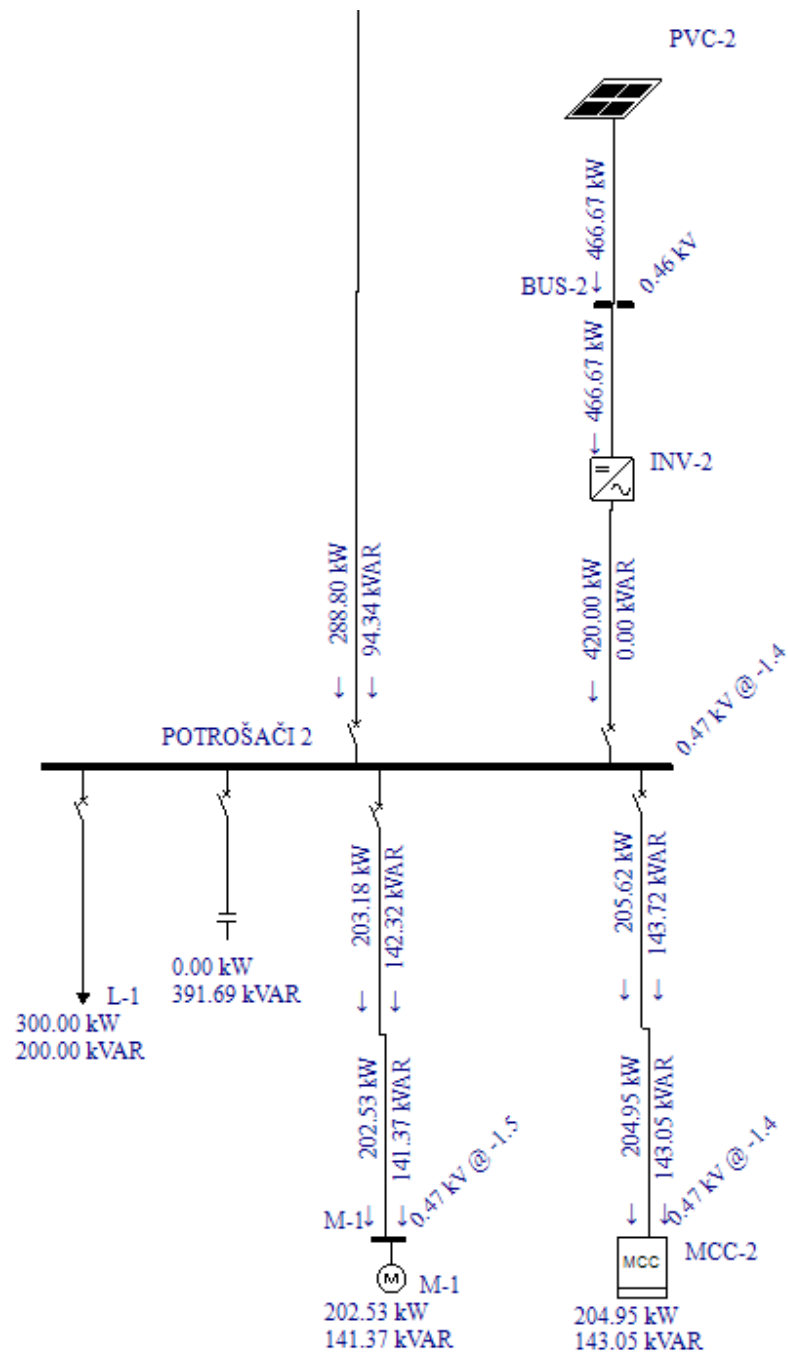
Slika 4.2. Tokovi snaga fotonapona

Vidljivo je da fotonaponski modul PVC-1 proizvodi snagu u iznosu od 888.89 kW. Prolaskom kroz izmjenjivač INV-1 ta snaga pada na 800 kW jer je korisnost ovog izmjenjivača 90 %. Tako mreža iz ovog fotonaponskog modula dobiva 800 kW djelatne snage. Fotonaponski modul PVC-2 proizvodi 466.67 kW djelatne snage, ta istosmjerna struja se u izmjenjivaču INV-2, korisnosti 90 %, pretvara u izmjeničnu, te mreža od ovog fotonaponskog modula dobiva 420 kW snage.

Kako sada izgledaju tokovi snaga na mjestima Potrošači 1 i Potrošači 2 prikazuju slike 4.3. i 4.4. U tablici 4.4. dani su tokovi snaga u mreži s uključenim fotonaponskim modulima.



Slika 4.3. Tokovi snaga sabirnice Potrošači 1



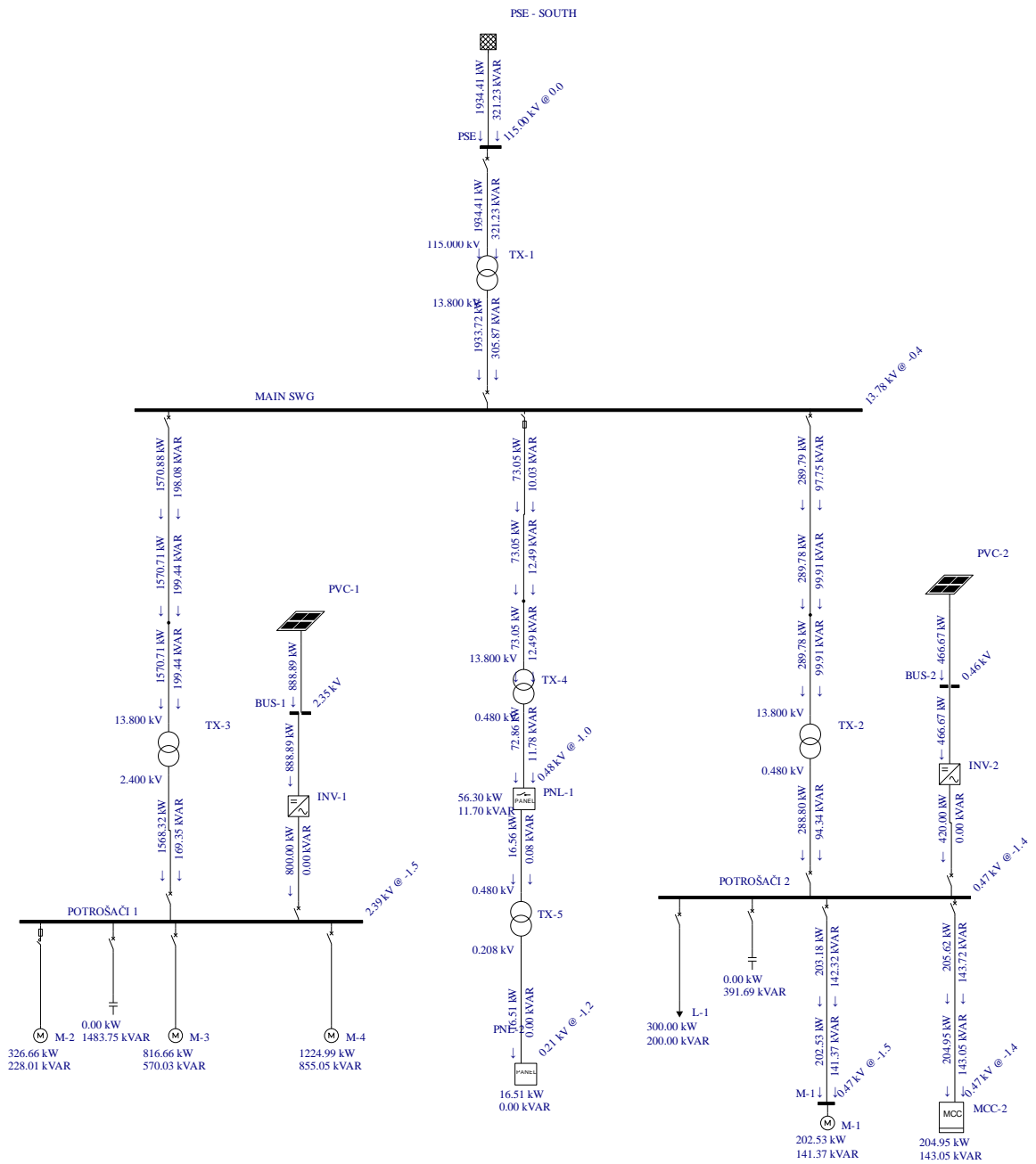
Slika 4.4. Tokovi snaga sabirnice Potrošači 2



Tablica 4.4. Tokovi snaga u mreži s uključenim fotonaponima

	Djelatna snaga [kW]	Jalova snaga [kVAR]	Prividna snaga [kVA]
Snaga koju mreža dobiva od PVC-1	800	0	800
Snaga koju mreža dobiva od PVC-2	420	0	420
Snaga koju Potrošači 1 uzimaju iz mreže	1568	169	1577
Snaga koju Potrošači 2 uzimaju iz mreže	288	94	303
Snaga koju proizvodi generator	1934	321	1961
Ukupni gubitci u mreži	285	47	289

Sada potrošači 1 uzimaju 800 kW djelatne snage manje iz mreže nego bez fotonapona, dok Potrošači 2 uzimaju 420 kW manje. Ukupno generator mora proizvesti 1220 kW djelatne snage manje nego bez upotrebe fotonaponskih modula. Malo su povećani ukupni gubitci u mreži, ali to je zbog gubitaka fotonaponskih modula i prihvatljivo je. To su i dalje gubitci na sabirnicama i gubitci prijenosa, te gubitci na spojevima fotonaponskih elemenata s mrežom. Na slici 4.5. je prikazano kako tokovi snaga izgledaju u ovom mreži s fotonaponskim modulima.



Slika 4.5. Tokovi snaga u mreži s fotonaponskim izvorima

## 5. ZAKLJUČAK

Cilj ovog rada je bio proučiti programski paket EasyPower, prikazati modeliranje mreže sa fotonaponima u tom programu, te proučiti utjecaj fotonaponskih modula na tokove snaga u mreži. EasyPower je jednostavan program za modeliranje i simulaciju mreže, te nije bio problem modelirati jednu fotonaponsku mrežu. Daje realan prikaz mreže sa svim tokovima snaga, padovima napona na komponentama i gubitcima, te jednostavan ispis tablica sa svim podacima. Nastali problem je bila Jalova snaga. Taj problem je jednostavno riješen dodavanjem kondenzatorskih baterija. One su imale pozitivan učinak i nakon njihovog uključivanja u mrežu vidljivo je da se potrebna reaktivna snaga generatora u ovoj mreži smanjila za 23 %. Postavljanje fotonaponskih modula također nije teško. Bitno je voditi računa o vrijednostima struje kratkog spoja i napona praznog hoda, te ispravno odabrati napon pri kojem će se generirati maksimalna snaga. Iz podataka u ovom radu i simulacija jasno se da zaključiti da fotonaponski moduli imaju pozitivan učinak na mrežu. Fotonaponski moduli uspješno napajaju potrošače na svojim mjestima. Dodavanjem fotonapona znatno se mijenjaju tokovi snaga u mreži. Smanjuje se potrebna snaga koju ti potrošači uzimaju iz mreže. Uključivanjem oba fotonapona, smanjena je radna točka generatora. Sada je potrebna proizvodnja čak 39% manje snage iz generatora. No u mreži postoje i gubici koji su neizbježni. Nemoguće je imati bilo kakav prijenos energije bez barem minimalnih gubitaka. Gubici u ovoj mreži su nastali baš na sabirnicama gdje se spajaju fotonaponski moduli s mrežom i ostalim elementima, te u prijenosu. No ti gubici su prihvatljivi, te iako su malo veći gubici u mreži s fotonaponom nego u mreži bez fotonapona, i dalje su fotonaponski moduli pozitivni za ovu promatranu mrežu.

## Literatura

- [1] A. Perić, Diplomski rad, *Izvedba upravljačkog sustava hibridnog naponsko-toplinskog sunčanog modula*, Zagreb 2017.
- [2] <http://e-learning.gornjogradska.eu/energijaekologijaengleski-ucenici/2-energija-sunca-i-fotonaponske-celije/>
- [3] Lajos Jozsa: *Tokovi snaga u mreži*, Elektrotehnički fakultet Osijek 2009.
- [4] [http://www.solarni-paneli.hr/pdf/01\\_handbook\\_fotonapon.pdf](http://www.solarni-paneli.hr/pdf/01_handbook_fotonapon.pdf)
- [5] EasyPower *User manual*

## SAŽETAK

U ovom radu bilo je potrebnu modelirati jednu mrežu s fotonaponskim modulima i vidjeti njihov utjecaj na tokove snaga u mreži. Opisan je način rada i svrha fotonaponskih modula, te izmjenjivača i sabirnica koji su potrebni da bi te module spojili na ovu modeliranu izmjeničnu mrežu. Mreža je modelirana u programu EasyPower i pokazan je način postavljanja komponenata. Modelirana mreža je zahtijevala dosta jalove snage koja je uspješno kompenzirana kondenzatorskim baterijama. Na tako popravljenu sliku mreže su dodani fotonaponski izvoti i jasno se vidi da se potrebna snaga iz mreže za potrošače znatno smanjila. Fotonaponski moduli su nadomjestili dio potrebne snage, što znači da je generator rasterećen.

Ključne riječi: fotonaponski modul, fotonapon, tok snage

## SUMMARY

### MODELING AND ANALYSIS OF POWER IN NETWORK WITH PHOTOVOLTAIC POWER PLANT

In this paper, it was necessary to model a single grid with photovoltaic modules and see their impact on the power flows in the grid. The operation and purpose of the photovoltaic modules, as well as the exchangers and buses required to connect these modules to this modeled AC network, are described. The network is modeled in EasyPower and shows how to place the components. The modeled grid required a lot of reactive power, which was successfully compensated by the capacitor batteries. Photovoltaic grids have been added to the grid so repaired and it is clear that the required power from the grid for consumers has decreased significantly. Photovoltaic modules have replaced some of the required power, which means that the generator is unloaded.

Key words: photovoltaic modul, photovoltaic, power flow

## ŽIVOTOPIS

Mario Kelemen

Mlinska 51, 33520 Slatina

Mob: 098/734-048

email: [mario.kelemen@etfos.hr](mailto:mario.kelemen@etfos.hr)

Mario Kelemen rođen je 30.7.1996. u Virovitici. Završio je Osnovnu školu Eugena Kumičića u Slatini. Poslije toga upisao je Srednju školu Marka Marulića Slatina, smjer elektrotehnika. Srednju školu završava 2015. godine sa vrlo dobrim uspjehom. 2015. godine upisuje preddiplomski studij elektrotehnike na Elektrotehničkom fakultetu Osijek.