Brza emulacija fotonaponskih sustava različite tehnologije modula

Ćosić, Zvonko

Master's thesis / Diplomski rad

2018

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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:200:295084

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-21**

Repository / Repozitorij:

Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

Sveučilišni studij

BRZA EMULACIJA FOTONAPONSKIH SUSTAVA RAZLIČITE TEHNOLOGIJE MODULA

Diplomski rad

Zvonko Ćosić

Osijek, 2018.

Sadržaj

1. UVOD 1
2. FN EMULATOR 2
2.1. Programabilni istosmjerni izvor 8
2.1.1. Skripta način rada 11
2.2 Postupak pisanja skripte za brzu emulaciju 14
2.3 Pisanje skripte i pokretanje emulacije 18
3. KOMPARATIVNA ANALIZA BRZE EMULACIJE ZA ODABRANE TEHNOLOGIJE 20
3.1. Emulacija FN sustava 6 kWp 23
3.2. Emulacija FN sustava 12 kWp 35
4. ZAKLJUČAK 38
SAŽETAK 41
ABSTRACT 41
ŽIVOTOPIS 42
PRILOZI 43

1. UVOD

Energija Sunčeva zračenja jedan je od najistaknutijih oblika obnovljivih izvora energije, čiji se potencijal sve više primjenjuje[8-9]. Uzme li se pri tome u obzir da u jednoj sekundi oslobodi više energije nego li je cjelokupna civilizacija tijekom svoje evolucije eksploatirala, važnost iskorištavanja sunčeve energije za preinaku u korisne oblike energije poprima tendenciju velikih mogućnosti prilikom rješavanja problematike izazvane energetskim krizama. Shodno, važno je napomenuti svojstvo limitiranosti koje je zastupljeno među konvencionalnim izvorima energije. U posljednjih nekoliko godina došlo je do napretka fotonaponske tehnologije, i usto do povećanja potražnje za ugradnjom novih fotonaponskih sustava (FN sustava). Kako bi održali konkurentnost na tržištu, proizvođači traže kvalitetnije i brže načine za emuliranje fotonaponskih sustava [3]. Pod emulacijom FN sustava podrazumijeva se zamjena FN modula sa sustavom manjih dimenzija, koji daje iste strujno-naponske karakteristike, uz potpunu neovisnost o klimatskim uvjetima. Takav sustav naziva se FN emulator i koristi programabilne istosmjerne izvore za jedan takav FN sustav. Jedan takav emulacijski sustav nalazi se u Laboratoriju za energetsku elektroniku na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku [4]. Sustav sadrži dva programabilna istosmjerna izvora koji mogu realizirati pet načina rada [3].

Diplomski je rad kreiran u četiri jedinstvene cjeline. Prvi dio rada obuhvaća uvodne napomene. Drugi dio rada eksplicira teoretska određenja i testiranja emulatora, pri čemu su obuhvaćeni načini i ograničenja prilikom skripta načina rada. Treći dio rada se odnosi na izvedena ispitivanja, a koristi se postupak brze emulacije. Baza podataka za emulaciju je preuzeta iz Laboratorija za obnovljive izvore energije u sklopu Fakulteta elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku. Svi iščitani podatci naknadno su obrađeni te prilagođeni ograničenjima FN emulatora uz povećano uzorkovanje. Paralelno, nakon svakog preuzimanja podataka izrađene su skripte za dva niza FN modula. Izvođenjem brze emulacije i analizom točno proizvedene energije izračunata su se odstupanja emuliranih vrijednosti od dobivenih analitičkim postupkom. Uvažavajući zahtjeve i ograničenja, skripta je modificirana za pronalaženje povoljnog i prihvatljivog načina emuliranja karakterističnih veličina uz mjerodavne konačne rezultate. Četvrto i posljednje poglavlje rada prikazuje zaključna razmatranja.

2. FN EMULATOR

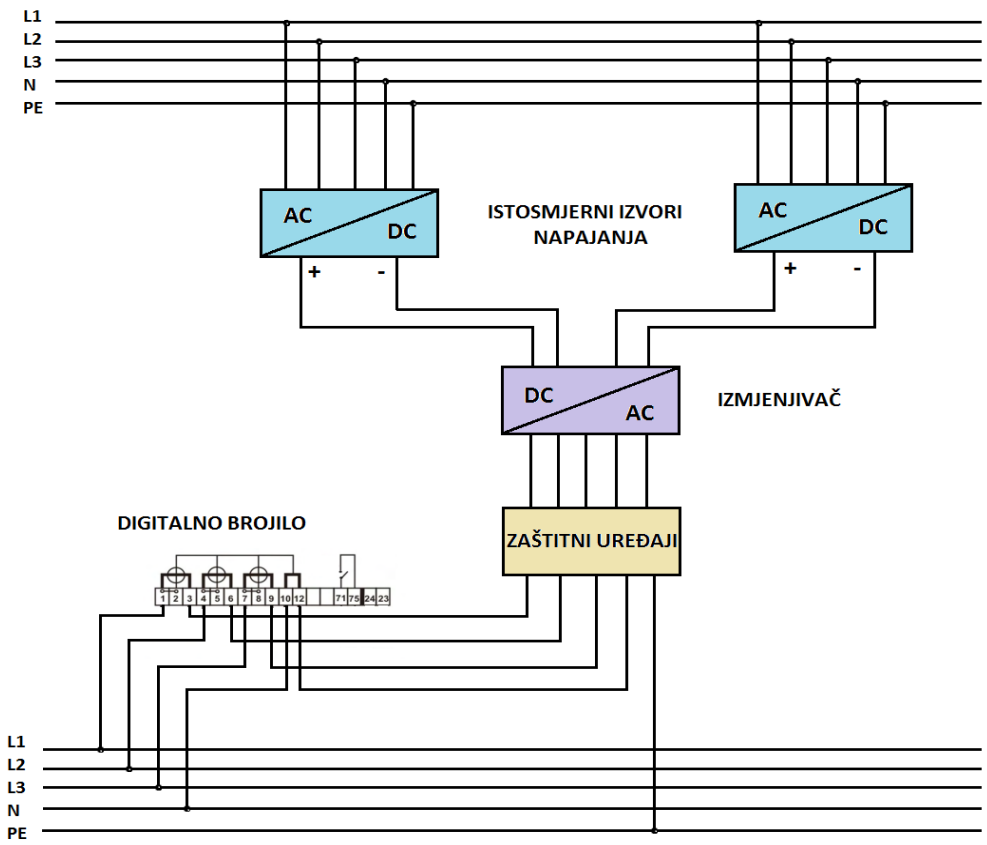
Glavni uređaj za daljnja istraživanja, a također je emulacijski sustav ovakvog tipa, izveden je u Laboratoriju za energetsku elektroniku Fakulteta elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija (FERIT) u Osijeku (Sl. 2.1.)

Slika 2.1. Emulator fotonaponskog sustava

Emulator FN sustava sa slike 2.1. ima mogućnost emulirati proizvodnju električne energije iz sustava raznih tehnologija, a sastoji se od nekoliko međusobno povezanih podsustava koji čine jedan cjeloviti sustav.

Sljedeća slika 2.2. prikazuje shemu spajanja emulatora, a naznačeni su sljedeći podsustavi:

- Dva programabilna istosmjerna izvora napajanja LAB/HP 101000 proizvođača ET System electronic [5]
- Izmjenjivač Powador 12.0 TL3 INT, proizvođača KACO [6]
- Digitalno brojilo EBT308 proizvođača RIZ [7]
- Priključni ormarić u kojem su smješteni zaštitni uređaji
- Metalno kućište na koje su pričvršćeni svi uređaji



Slika 2. 2. Shematski prikaz emulacijskog sustava [4]

Iz trofazne mreže napona 3x400 V, frekvencije 50 Hz napajaju se istosmjerni izvori. S izmjenjivačem povezani su svi izlazi programabilnih izvora i to na način da je svaki izvor spojen na jedan neovisni MPPT ulaz izmjenjivača. Jedan istosmjerni izvor predstavlja jedan niz fotonaponskih modula pri emuliranju električne energije FN sustava. Prenaponska zaštita kao i nadstrujna zaštita čija je uloga zaštititi uređaj u slučaju kvara, ali i zaštititi korisnika od opasnog napona dodirom, postavljene su u pojnom dijelu izmjenjivača. Digitalno brojilo spojeno je na izlazne stezaljke zaštitnih uređaja, a njegova je svrha mjeriti količinu predane električne energije. Električna energija predana u mrežu jednaka je električnoj energiji proizvedenoj za vrijeme trajanja emulacije.

Izmjenjivač u emulacijskom sustavu služi, također, za povezivanje trofazne mreže i istosmjernih izvora. Odabrani izmjenjivač je onaj proizvođača KACO Powador 12.0 TL3, a njegovi tehnički podaci prikazani su u tablici 2.1. Izmjenjivač pretvara generirane istosmjerne vrijednosti napona i struje dvaju izvora u trofazni izmjenični oblik i tako proizvedenu energiju od strane istosmjernih izvora šalje nazad u pojnu mrežu. Jedna od ključnih ugrađenih funkcija je MPPT

(eng. Maximum Power Point Tracker) ulaz, čija je uloga postavljati radnu točku izvora u položaj maksimalne moguće proizvedene snage[3].

Tablica 2.1. Tehnički podaci izmjenjivača KACO Powador 12.0 TL3[3]

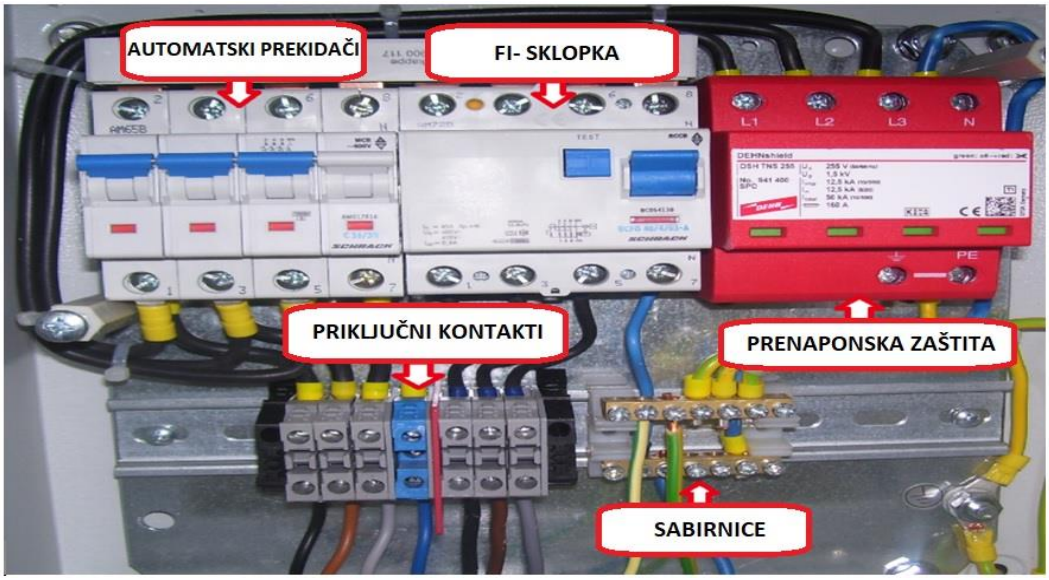
Istosmjerni ulazni podaci	
Nominalno naponsko područje	280 V - 800 V
Operativno naponsko područje	200 V - 950 V
Minimalni napon pokretanja	200 V / 250 V
Napon praznog hoda	1000 V
Maksimalna ulazna struja	2 x 18,6 A
Broj MPPT ulaza	2
Maksimalna snaga po ulazu	10,2 kW
Broj nizova	2
Izmjenični izlazni podaci	
Nazivna snaga	10000 VA
Nazivna struja	3 x 14,5 A
Nazivna frekvencija	50 Hz
Faktor snage (cosφ)	0,8 induktivno - 0,8 kapacitivno
Broj faza	3
Stupanj djelovanja	98,40%

Nadalje, ovaj uređaj podržava spajanje najviše dva istosmjerna izvora na ulazu, a to je pogodno za spomenuti emulator FN sustava. Funkcija zapisivanja ulazno-izlaznih veličina u vremenskom intervalu od 1, 5, 15 i 30 minuta jedna je od njegovih važnijih funkcija koje sadrži. USB (eng. Universal Serial Bus)- sučelje preko kojega je moguće prebacivanje izmjerenih podataka na prijenosnu memoriju smješteno je u podnožju uređaja. Veliki značaj u daljnjoj analizi proizvodnje električne energije koja će biti detaljnije pojašnjena u nastavku rada, imaju preuzeti podaci iz izmjenjivača. Osim na ovaj način spomenuti podaci proizvodnje mogu se pratiti i preko zaslona smještenog na prednjoj upravljačkoj ploči. Upravljačka ploča (Sl. 2.3.) sastoji se od tri funkcijska dijela:

- LCD monokromatski grafički zaslon,
- funkcijske tipke za kretanje po izborniku,
- LED indikatori stanja izmjenjivača.

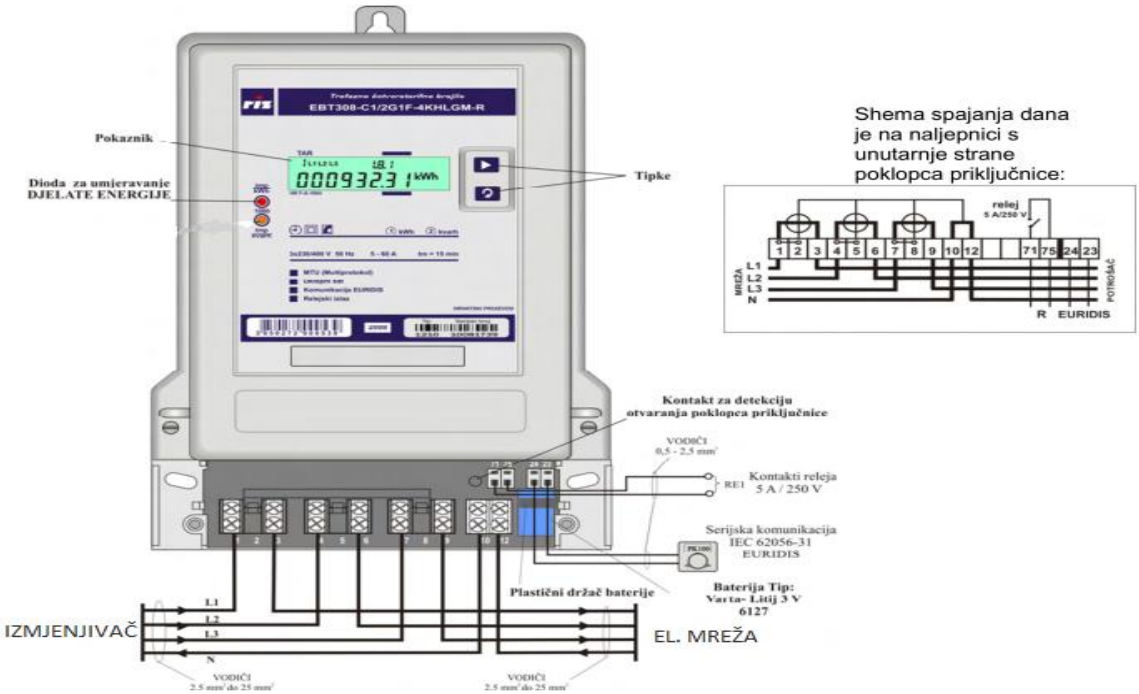
Slika 2.3. Prikaz upravljačke ploče izmjenjivača

Priključni ormarić u kojemu je smješteno ožičenje sustava kao i zaštitni uređaji, sljedeći je podsustav. Emulacijski sustav doseže generirane vrijednosti napona i struje koje su opasne za čovjeka i zbog toga su nužni zaštitni uređaji za emulacijski sustav. Osim toga svrha im je i štititi komponente te uređaje sustava. Automatski prekidači koji služe kao zaštita uređaja od strujnog preopterećenja tj. zaštita od kratkog spoja, nalaze se u priključnom ormariću prikazanom na slici 2.4. FI - zaštitna sklopka čija je svrha zaštititi čovjeka od opasnog napona dodira u slučaju proboja izolacije na spojnim vodovima ili ostalim uređajima, smještena je pored prekidača. prenaponska zaštita koja štiti uređaje u slučaju pojave prenapona u električnoj mreži posljednja je ugrađena. Ukoliko dođe do spomenute neželjene pojave, zaštita reagira na način da automatski isključuje sustav iz mreže. Priključni kontakti i sabirnica na kojoj su zaštitni vodiči povezani u jednu točku, odnosno točku istog potencijala smješteni su u ormariću. Tako je emulator uzemljen kao jedna cjelina, a svaki je podsustav na istom električnom potencijalu, te je smanjena opasnost od električnog udara.



Slika 2.4. Priključni ormarić sa smještenim zaštitnim uređajima

Digitalno brojilo proizvođača Riz EBT 308 priključeno je na izmjeničnoj strani između izmjenjivača i mreže, a u svrhu dodatne analize proizvodnje električne energije. Slika 2.5 je shematski prikaz postavljanja digitalnog brojila. Na spomenutom prikazu treba obratiti pažnju na dva označena dijela - mrežni i potrošački dio.



Slika 2.5 Prikaz spajanja digitalnog brojila

Mrežni je dio spojen na izlaz izmjenjivača, a potrošački je dio spojen na mrežne priključnice i to zbog zahtjeva praćenja električne energije koja je predana u elektroenergetsku mrežu. Digitalno brojilo ovim spojem mjeri električnu energiju koju izmjenjivač predaje mreži. Kako nisu potrebne dodatne mogućnosti brojila i potrebna je samo glavna funkcija prikaza proizvedene električne energije, priključnice za serijsku komunikaciju i kontakti releja nisu spojeni na emulacijski sustav. Tablicom 2.2. prikazani su tehnički podaci digitalnog brojila Činjenica da je razlučivost brojila do 0,01 kWh odnosno 10 Wh, omogućava dovoljno precizno očitanje električne energije.

Tablica 2.2. Tehničke karakteristike digitalnog brojila

Frekvencija rada	50 Hz
Osnovna struja	5 A
Maksimalna struja	60 A
Struja pokretanja	≤ 0,4 % osnovne struje
Razred točnosti za djelatnu energiju	1
Otpornost na udarni napon	10 kV za mjerne strujne krugove
Stupanj zaštite kućišta	IP51
Pomoćno napajanje	Baterija
Pokaznik	Sedam-segmentni sa tekućim kristalom (LCD)

Pitanje o ispravnosti ožičenja, tj. povezivanja s ostalim elementima, postavlja se po ugradnji digitalnog brojila. Ispravnost ugradnje može se provjeriti na način da se uključi emulacijski sustav pri čemu se brojilo automatski uključuje. Slika 2.6. prikazuje izbornik koji se otvara pritiskom tipke „►“, a koji prikazuje ispravnost spajanja brojila. Broj spojenih faza na brojilo, te redoslijed faza prikazan je u gornjem lijevom kutu zaslona. Sve oznake faza moraju biti prisutne. Nedostaje li neka od oznaka faze, znači da određena faza nije spojena. Ako bilo koja znamenka ima vrijednost „1“, detektirana je neispravnost koju je potrebno utvrditi i ukloniti, što znači da sve znamenke statusa moraju biti „0“. ‚Kako nije detektirana nikakva pogreška ugradnje, a na temelju opisanog postupka utvrđivanja ispravnosti spoja digitalnog brojila, brojilo je spremno za rad.

Slika 2.6. Pokaznik za utvrđivanje ispravnosti spoja brojila

Pri emulaciji fotonaponskih sustava najveću važnost imaju dva programabilna istosmjerna izvora koji čine posljednji podsustav. U sljedećem je poglavlju, stoga, detaljnije pojašnjena uloga istosmjernih izvora, tehničke karakteristike, načini rada, kao i rukovanje samim uređajem.

2.1. Programabilni istosmjerni izvor

Tablica 2.3. prikazuje tehničke podatke emulacijskog sustava koji će se koristiti za daljnju analizu, a koji se sastoji od dva programabilna istosmjerna izvora napajanja LAB/HP 10 1000. Isti se napajaju iz trofazne mreže s mogućim naponskim razinama 3x208 V, 3x400 V, 3x440 V ili 3x480 V.

Tablica 2.3. Tehnički podaci istosmjernih izvora

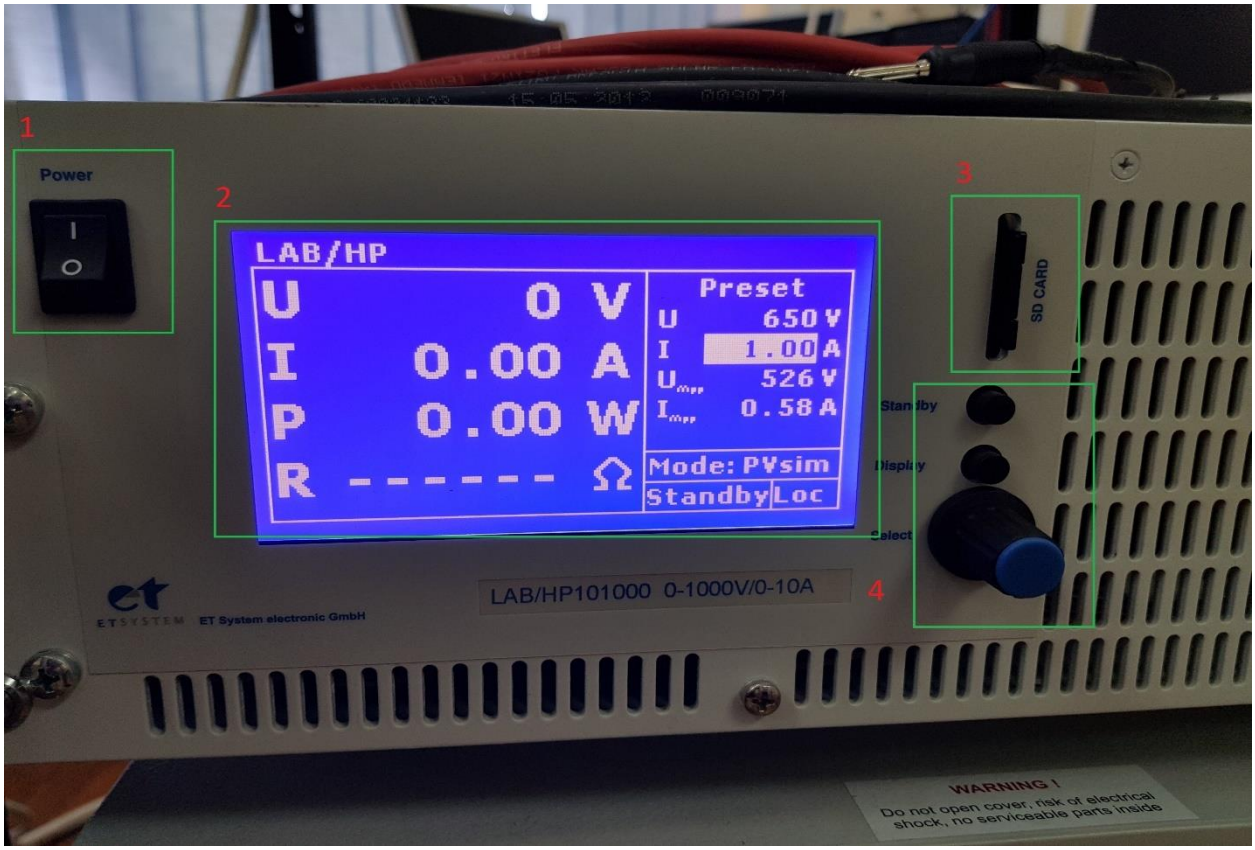
Nazivna snaga	10 kW
Ulazne specifikacije	
Ulazni napon	230 V_{AC} / 3x208 V_{AC} / 3x400 V_{AC}/ 3x480 V_{AC} ± 10 %
Maksimalna dopuštena nesimetrija	< 3%
Ulazna struja	22.9 A
Ulazna frekvencija	47 - 63 Hz
Faktor snage (cosφ)	50 Hz= 72%
Stupanj djelovanja	94%
Maksimalna disipacija snage	600W
Izlazne specifikacije	
Izlazni napon	0 V - 1000 V
Izlazna struja	0 A - 10 A
Statička regulacija napona	± 0,05 % + 2 mV
Statička regulacija struje	± 0,1 % + 2 mA
Prenaponska zaštita	0 - 120 % Vmax
Stabilnost	± 0,05 %
Preciznost programiranja (Vout)	± 0,05 % +2 mV

LAB/HP izvori napajanja u sebi sadrže funkcije ograničenja napona i struje kao i zaštitu od kratkog spoja. Funkcije ograničavaju izlazni napon i struju na dozvoljenu maksimalnu vrijednost da bi se zaštitio uređaj i trošila spojena na njegove izlazne stezaljke. Isto tako uređaj

onemogućuje generiranje veličina na njegovom izlazu korisnikovim postavljanjem vrijednosti napona i struje iznad dozvoljenih granica. Uređaj je kompaktnog dizajna što omogućuje jednostavno rukovanje preko upravljačke ploče. Važno je važno da se obave vizualne provjere uređaja kao i ispravnost spoja uređaja prije uključenja i da se korisnik drži sigurnosnih mjera da ne bi doveo ni sebe, niti nikoga drugoga oko sebe u opasnost. Potrebno je upoznati se sa svim glavnim funkcijama istosmjernog izvora, kako bi se što bolje rukovalo prednjom upravljačkom pločom te mogućim načinima rada.

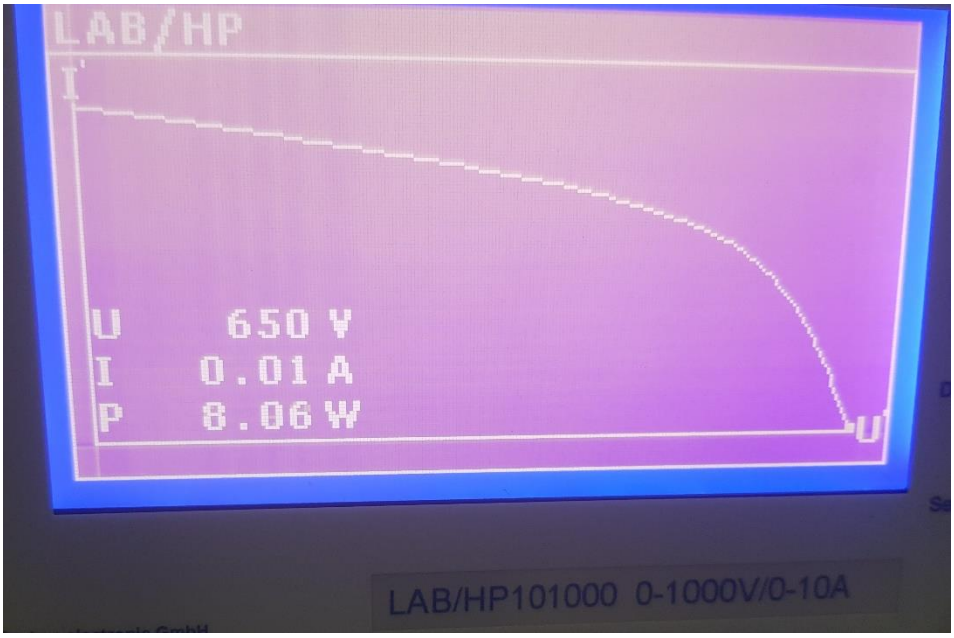
Prema slici 2.7. prikazana je upravljačka ploča na kojoj su označeni pojedini funkcijski dijelovi:

1. sklopke za uključenje i isključenje uređaja,
2. zaslona sa prikazom trenutnih izmjerenih vrijednosti izlaznih veličina, te prikazom zadanih izlaznih parametara,
3. čitača memorijske kartice,
4. funkcijskih tipki za upravljanje uređajem i podešavanje ulaznih parametara.



Slika 2.7. Prikaz prednje upravljačke ploče istosmjernog izvora

Dvije funkcijske tipke i kotačić koji također ima mogućnost rada kao funkcijska tipka, nalaze se na prednjoj upravljačkoj ploči. U gornjem dijelu upravljačke ploče smještena je „Standby“ tipka koja omogućuje izvođenje određenih naredbi te postavlja uređaj u stanje pripravnosti. Tipka „Display“ smještena je ispod „Standby“ tipke, i ona izmjenjuje dva različita zaslonska prikaza. Pritiskom tipke dobiva se grafički prikaz podešene strujno-naponske karakteristike i radne točke uređaja (Slika 2.8.). Namještanje željenih izlaznih vrijednosti napona i struje, odabir načina rada uređaja i odabir željenih datoteka za emulaciju, moguće je okretanjem kotačića. Trenutne vrijednosti izlaznog napona i struje kao i snage (izrazom $P(0)=U(0)\square I(0)$ i otpora (izrazom $R=U(0)/I(0)$) prikazane su na glavnom zaslonu, a na desnom dijelu prikazane su unaprijed zadane vrijednosti.



Slika 2.8. Grafički prikaz *u-i* karakteristike

Istosmjerni programabilni izvor LAB/HP 101000 ima mogućnost rada na 5 različitih načina:

1) UI način rada (engl. UI mode)- naponsko i strujno ograničenje [4],
2) UIP način rada (engl. UIP mode)- naponsko, strujno ograničenje te ograničenje prema zadanoj snazi [4],
3) UIR način rada (engl. UIR mode)- naponsko i strujno ograničenje uz simulirani unutarnji otpor izvora [4],
4) Pvsim način rada (engl. Pvsim mode)- simulacija karakteristika fotonaponskih sustava [4],
5) Skripta način rada (engl. Script mode)- simulacija korisnički definirane UI karakteristike [2].

Brza emulacija FN sustava različite tehnologije modula temelji se na jednoj od 5 načina rada, gdje će skripta načinu rada koja će biti detaljnije opisana u nastavku rada.

2.1.1. Skripta način rada

Istosmjerni izvor napajanja ima mogućnost rada gdje korisnik preko memorijske SD kartice učitava jednu po jednu skriptu. Upravno zbog toga ova funkcija naziva se skripta način rada. Skripta se izrađuje u najjednostavnijem računalnom alatu za obradu teksta, npr, „txt“ dokument u kojem se nalazi niz naredbi napisanih od strane korisnika. Jedna od prednosti skripta načina rada je mogućnost uzastopnog ponavljanja i izvršenja većeg broja naredbi u kratkom vremenskom intervalu. Pomoću skripta načina rada omogućen je rad oba izvora te se daje mogućnost upravljanja izvorima.

Ručno postavljanje parametara preko upravljačke ploče oduzima dosta vremena, te je potrebno postaviti uređaj u stanje pripravnosti („Standby“) kako bi se ponovo namjestili parametri i način rada. Kreiranjem skripte moguće je postavljanje parametara za bilo koji osnovni način rada gdje su unaprijed zadane vrijednosti karakterističnih veličina. Za vrijeme izvršenja skripte, prijelazi iz jednog u drugi režim rada ne zahtijevaju postavljanje u stanje pripravnosti, te uređaj trenutno izvršava sljedeći postavljen režim rada.

Slika 2.9. Memorijska kartica korištena u pokusima

Time se za dane podatke FN sustava kreirati skripta, te u skraćenom vremenu u odnosu na standardnu emulaciju, analizirati proizvodnja električne energije na dnevnoj bazi. Skripta se

kreirati u računalnom alatu „Notepad“ zbog jednostavnosti uređivanja, korekcija i zbog toga što podržava tekstualni format „txt“.

Prije nego li se krene u pisanje skripte potrebno je biti upoznat sa ograničenjima u pisanju skripte. Naredbe su prikazane u tablici 2.4.

Tablica 2.4. Naredbe za pisanje skripte

Naredba	Parametar	Funkcija
U	U [V]	Zadavanje izlaznog napona
Umpp	U [V]	Zadavanje napona maksimalne snage (za PV simulaciju)
I	I [A]	Zadavanje izlazne struje
Impp	I [A]	Zadavanje struje maksimalne snage (za PV simulaciju)
Pmax	P [W]	Zadavanje granične snage (UIP način rada)
Ri	R [Ω]	Zadavanje unutarnjeg otpora (UIR način rada)
DELAY	kašnjenje [ms]	Odgoda naredbe
STANDBY	-	Stanje pripravnosti
RUN	-	Isključuje standby funkciju i pokreće skriptu
LOOP	-	Definira petlju
UI	-	UI način rada
UIP	-	UIP način rada
UIR	-	UIR način rada
PV	-	PV sim način rada
USER	-	Valno definirana UI karakteristika
WAVE	-	Početak programiranja UI karakteristike
-WAVE	-	Kraj programiranja UI karakteristike
# ili ;	-	Komentar

Pri samom pisanju skripte ne morama se voditi računa o velikim i malim slovima. Rezultat u konačnici će biti isti. Jedina stvar koja se mora paziti to su pravila pisanja skripte, gdje mora postojati razmak između naredbe i parametara. Brojčane vrijednosti se zadaju bez mjerne jedinice. Prilikom pisanja ne treba voditi računa o pisanju decimalne točke ili decimalnog zareza zbog toga što istosmjerni izvor prepoznaje ona načina pisanja skripte, npr I 5,00 i I 5.00. Uređaj prepoznaje i izvršava naredbe redom, zbog toga je važno držati se redoslijeda pisanja naredbi kako bi skripta bila ispravna. Radi lakšeg snalaženja i eventualnih ispravaka svaka naredba bi trebala započinjati u novom redu. Prije pisanja svake skripte potrebno je definirati željeni način rada. Nakon definiranja željenog načina rada slijedi unos parametara struje i napona, čijim

unosom se ograničavaju izlazne vrijednosti istosmjernog izvora. Nakon definiranja svih vrijednosti slijedi naredba „RUN“ koja pokreče postojeću skriptu. Nakon toga se definira funkcija „DELAY“ čije je trajanje iskazano u milisekundama. Npr „DELAY 61000“ označava vrijeme od 61 sekunde. Posljednja fukncija je „STANDBY“ koja definira kraj emulacije, nakon koje uređaj odlazi u stanje pripravnosti, odnosno čeka sljedeću naredbu. Nakon što je skripta napisana potrebno je obaviti provjeru i potom pohraniti tekstualni dokument „Notepad“ na memorijsku karticu koja se potom umeće u programabilni istosmjerni izvor.

```
PV           ;Definiranje PV-načina rada
U 608        ;Izlazni napon 608 V
I 0,98       ;Izlazna struja 0,98 A
Run          ;Pokretanje skripte
Delay 61000  ;Trajanje naredbe 61 sekundu
Stanbay      ;Zaustavljanje skripte
```

Slika 2.10. Skripta za PV- način rada

Nakon umetanja memorijske kartice, uređaj je automatski prepoznaje i kartica je spremna za rad. Nakon toga je potrebno pomoću kotačića na upravljačkoj ploči odabrati željeni način rada uređaja. Pritiskom na kotačić otvara se direktorij memorijske kartice s prethodno kreiranim skriptama na računalu u obliku .txt formata. Okretanjem kotačića odabire se željena skripta. Pritiskom kotačića na odabranu datoteku, uređaj ispituje valjanost skripte, odnosno da li su naredbe ispravno napisane. Ako je sve ispravno na zaslonu se dobiva ispis „Reading OK“, dok se u suprotnom pojavljuje „Error command in line X“ (Sl. 2.11.). Znakom x bit će prikazan red redak u kojemu je došlo do greške prilikom pisanja. Uređaj ispituje svaku naredbu redom i u slučaju više pogrešaka, detektira samo prvu pogrešku na koju je naišao pri provjeri zapisa [3].

Slika 2.11. Ispis u slučajevima ispravne skripte i pogrešno napisane skripte [1]

Tek nakon detektiranja pogreške i ispravka te pogreške potrebo je odraditi ponovno testiranje. Skripta se neće biti u mogućnosti pokrenuti ako postoji greška u zapisu. Pritiskom na tipku „Display“ ostvaruje se povratak na glavni zaslon gdje su prikazani svi parametri skripte, željeni način rada i vrijeme izvođenja skripte. Da bi se uređaj doveo u stanje izvođenja potrebno je izvršiti pritisak na tipku „Standbay“, pri kojem su generirane vrijednosti skripte.

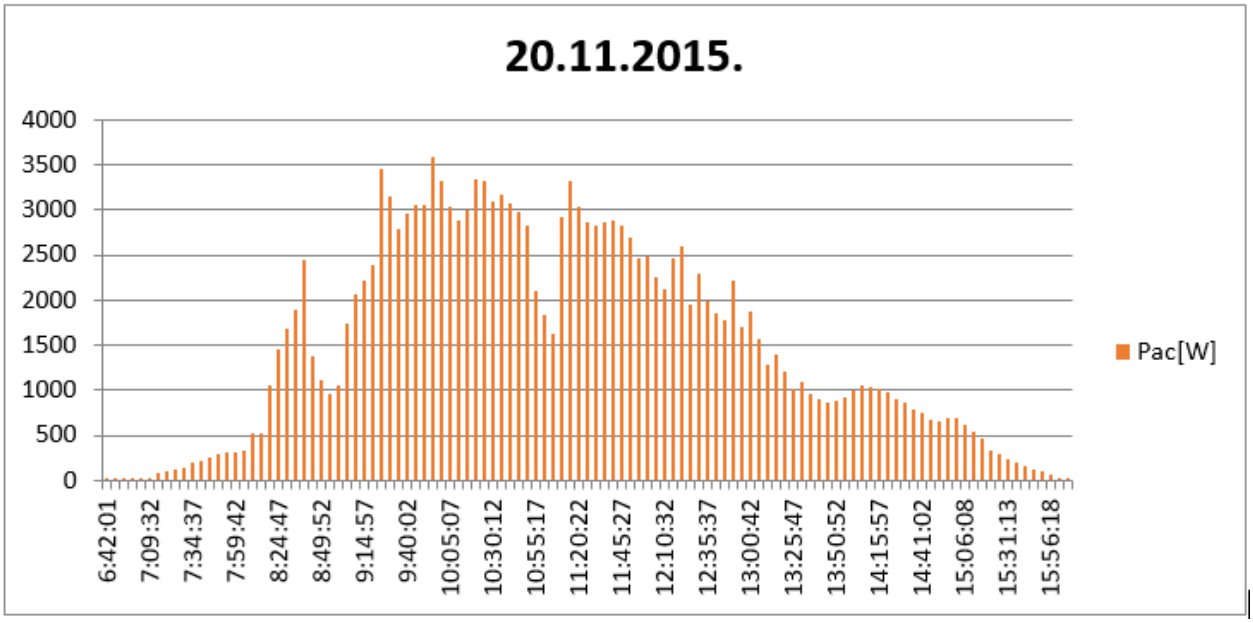
Istosmjerni izvor LAB/HP 10 1000 sadrži programsko sučelje koje u ograničenom vremenskom razdoblju može izvršiti ograničen broj naredbi. Ta navedena ograničenja zadana su od strane proizvođača i nije ih moguće mijenjati. Upravo nam je važno poznavanje tih ograničenja kako bi skripta mogla biti ispravno napisana. Istosmjerni izvor LAB/HP 10 1000 ima ograničenje izvršavanje jedne naredbe od 65 535 milisekundu [5]. To znači da istosmjerni programabilni izvor jednu *u-i* karakteristiku može odraditi za 1 minutu i 5 sekundi . Također u radu bit će korištena dva načina rada, tj sortiranja podataka. Prvi način je kronološki slijed *u-i* karakteristike o ovisnosti o snazi FN niza, dok je drugi način sortiranje *u-i* karakteristike ovisnosti o snazi FN niza od maksimalne prema minimalnoj vrijednosti, koja se detaljnije opisane u nastavku rada.

2.2 Postupak pisanja skripte za brzu emulaciju

U prethodnom poglavlju opisanu su podsustavi i njihove mogućnosti i karakteristike. Ovo poglavlje, bazira se na skripta načinu rada. Izvršena je emulacija jednog odabranog FN sustava. Taj odabrani sustav je FN elektrana ETFOS1 koji se nalazi na krovu zgrade FERIT-a u Osijeku. Unošenjem podataka FN nizova u istosmjerne izvore, oponaša se jedan FN sustav koji daje strujno-naponske karakteristike. Svrha brze emulacije FN sustava daje temeljne podatke FN sustava, te na osnovu toga izvršila se potpuna analiza proizvodnje električne energije FN niza

različitih tehnologija izrade [3]. Upravo zbog toga je odabran skripta način rada jer se u tom načinu rada vrijeme emulacije značajno skraćuje u odnosu na standardnu emulaciju. Prilikom unošenja podataka za 1 dan emulacija bi u ovisnosti jednog ljetnog dana mogla iznositi i do 13 sati. Zbog velike količine podataka može doći do pogreške prilikom unošenja podataka, te rezultira pogrešno izvršenje emulacije. Provođenim pokusima donesen je zaključak da se emulacija intervala reducirati čime se kvalitetno može odraditi emulacija. Skripta je napisana tako da jedan istosmjerni izvor postavlja karakteristike prvog niza, a na drugom istosmjernom izvoru karakteristike drugog niza. U nastavku rada opisan je slijed radnji vezanih uz pisanje skripte, pripreme podataka koji se koriste za pisanje skripte, proučavanje ograničenja emulacije a nakon toga su izvršene emulacije FN sustava za više odabranih dana. U Laboratoriju za elektroenergetiku nalazi se izmjenjivač FN emulatora koji je identičan kao i na elektrani ETFOS1, što osigurava ista podešenja struje i napona te snage izmjenjivača. Nakon što izmjenjivač pohrani podatke u jedan dokument „.CSV“ (engl. Comma Separated Values) formata, postoji mogućnost skidanja podataka na USB-sučelje, gdje se podaci obrađuju i analizira proizvodnja električne energije. Prilikom odabira dana koji će biti emulirani potrebno je zadovoljiti više kriterija, a jedan od kriterija je ograničenje izlazne snage. Izlazna izmjenična snaga FN elektrane treba biti do maksimalne vrijednosti 5 kW po stringu. Prilikom veće snage od 5 kW po stringu dolazi do prorade zaštitnih uređaja izmjenjivača. Ukoliko dođe do prorade izmjenjivač prestaje za predajom električne energije u mrežu, i tek nakon vremena od oko 30-50 sekundi, ponovno pokreće samotestiranje. U tom slučaju se mora ponoviti emulacija. Potrebno je izvršavanje kontinuirano bez prekida kako ne bi došlo do narušenosti konačnog rezultata. Uz ograničenje od 5 kW po stringu treba obratiti pozornost i na broj naredbi skripte. Istosmjerni izvor mogu odraditi skriptu sa maksimalno 35 naredbi[5], stoga je izvučene podatke potrebno prilagoditi karakteristikama emulatora (maksimalno 35 *u-i* karakteristika). Redukcija broja *u-i* karakteristika se izvodi na način da se uzimaju podaci za veći vremenski interval[3].

Za prvi pokus odabran je dan 20.11.2015. gdje se po slici vidi da je odabrani dan sunčani. Za navedeni dan preuzeti su podaci s izmjenjivača elektrane ETFOS1. Taj dan je odabran upravo zbog toga što vršna snaga ne prelazi 6 kW kao što je prikazano na slici 2.12.:



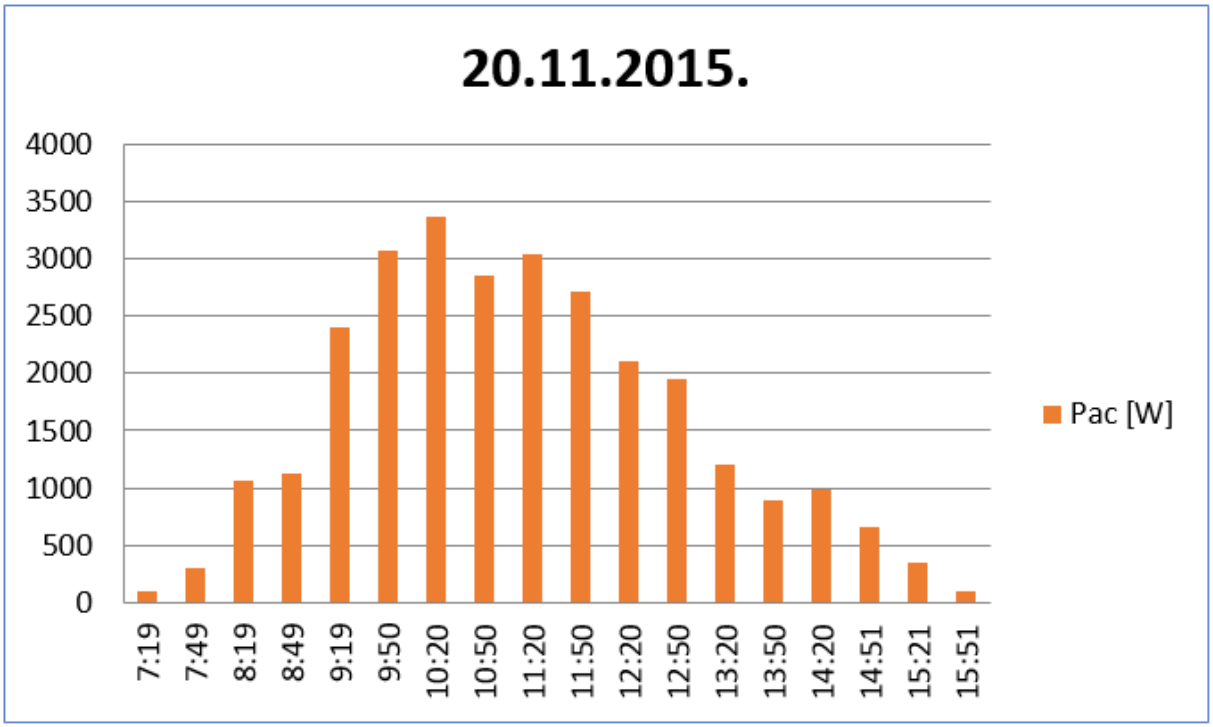
Slika 2.12. Dnevni dijagram proizvodnje električne energije za dan 20.11.2015. dobivenih sa elektrane ETFOS1

Kako postoji ograničenje za maksimalni broj naredbi potrebno je dan 20.11.2015. svesti na maksimalno 35 *u-i* karakteristika. Odabran je vremenski interval od 30 minuta i 6 sekundi [pal], gdje se podaci unose u izvor 18 puta (tablica 2.5.) Na taj način omogućen je unos parametara u istosmjerne programbilne izvore, a da ukupan broj naredbi ne pređe zadani broj. Ovim načinom je opisan postupak, tzv. Pametna brza emulacija , gdje je proces emuliranja *u-i* karakteristika standardno u trajanju od 9 sati (7:19-15:51) sveden na svega 18 minuta [3].

Tablica 2.5. Podaci za emulaciju svedeni na vremenski interval od 30 minuta i 6 sekundi

Time	Udc1[V]	Idc1[A]	Pmpp1	Udc2[V]	Idc2[A]	Pmpp2	Puk	Pac	W12
7:19:34	470,6	0,08	41	472,9	0,13	63	105	100	0,0502
7:49:40	474,6	0,29	141	477	0,34	163	305	302	0,1515
8:19:46	553,8	1,38	769	623,4	0,49	306	1077	1063	0,5333
8:49:52	611,2	0,93	572	627,3	0,89	562	1139	1123	0,5634
9:19:58	632,3	1,92	1211	648,7	1,88	1225	2438	2406	1,2070
9:50:04	617,9	2,48	1535	635,1	2,46	1564	3101	3064	1,5371
10:20:10	612,5	2,75	1688	624,1	2,75	1721	3412	3367	1,6891
10:50:16	595,6	2,40	1432	610,5	2,37	1449	2883	2851	1,4303
11:20:22	599,6	2,60	1559	620,3	2,46	1527	3087	3047	1,5286
11:50:28	591,8	2,56	1517	632,6	1,94	1227	2747	2711	1,3600
12:20:34	598,5	2,35	1408	650,9	1,10	713	2121	2099	1,0530
12:50:40	604,9	2,16	1308	629,2	1,05	662	1973	1950	0,9783
13:20:46	641,7	0,98	634	615,3	0,96	595	1230	1206	0,6050
13:50:52	613,4	0,72	447	601,7	0,75	457	906	894	0,4485
14:20:58	590,8	0,83	490	604,7	0,83	505	998	981	0,4921
14:51:05	591,7	0,53	314	589,8	0,58	345	661	653	0,3276
15:21:11	475,9	0,34	165	536,2	0,34	186	353	349	0,1751
15:51:17	474,6	0,03	14	477	0,17	84	98	97	0,0487
								Wuk	14,1786

Prema uzetim vrijednostima iz tablice 2.5. dobiven je dnevni dijagram prikazan na slici 2.13.



Slika 2.13. Svedeni dnevni dijagram proizvodnje električne energije sa elektrane ETFOS1, sveden na interval uzrokovanja karakteristike niza 30 min.

2.3 Pisanje skripte i pokretanje emulacije

Napisane su dvije skripte koje sadrže karakteristične veličine za odabrane vremenske trenutke (Sl. 2.13.). Sve je to zbog toga što FN elektrana sadrži dva niza FN modula različitih tehnologija izrade. Tako jedan niz predstavlja monokristalni modul; Bisol MBO 250, snage modula 250 Wp, dok drugi niz predstavlja polikristalni modul; Bisol BMU 250, snage modula 250 Wp. U oba slučaja u seriju se spojena 24 modula po stringu. Svaki dokument, pri tome, predstavlja jedan niz FN elektrane. U svakoj je skripti ukupno 18 naredbi, a jedna naredba sadrži četiri karakteristične veličine *u-i* karakteristike: napon praznog hoda (U_{ph}), struja kratkog spoja (Iks), napon pri maksimalnoj snazi (Umpp), i struja pri maksimalnoj snazi (Impp).

Potrebno je na samom početku pisanja naredbi odrediti način rada u kojem će istosmjerni izvori LAB/HP 101000 generirati veličine. PV-sim način rada istosmjernih izvora najprikladniji je za FN sustav te je isti i odabran. Ako pri svakoj naredbi nije određen tj. definiran način rada, istosmjerni izvori neće prepoznati kreiranu naredbu te će prestati s generiranjem *u-i* karakteristika. Stoga je nužno da pri svakoj naredbi način rada bude definiran. Programski alat za obradu teksta „Notepad“ poslužio je za pisanje skripti za svaki niz. Kreirana skripta za prvi niz FN modula prikazana je na slici 2.14. Primjer jedne napisane skripte prikazan je na slici 2.14.

```
PV
U 650
I 1
Umpp 600
Impp 0,5
RUN
DELAY 65000

PV
U 650
I 3,5
Umpp 600
Impp 2,5
RUN
DELAY 61000

PV
U 650
I 3
Umpp 500
Impp 2
RUN
DELAY 61000

PV
U 650
I 3
Umpp 500
Impp 1
RUN
DELAY 61000

PV
U 650
I 1
Umpp 500
Impp 0,5
RUN
DELAY 61000

PV
U 650
I 1
Umpp 500
Impp 0,5
RUN
DELAY 61000

PV
U 650
I 1
Umpp 500
Impp 0,5
RUN
DELAY 61000

PV
U 635,95
I 0,108
Umpp 470,6
Impp 0,08
RUN
DELAY 61000

PV
U 641,35
I 0,392
Umpp 474,6
Impp 0,29
RUN
DELAY 61000

PV
U 748,38
I 1,865
Umpp 553,8
Impp 1,38
RUN
DELAY 61000

PV
U 825,95
I 1,257
Umpp 611,2
Impp 0,93
RUN
DELAY 61000

PV
U 854,46
I 3,932
Umpp 632,3
Impp 2,91
RUN
DELAY 61000

PV
U 835
I 3,351
Umpp 617,9
Impp 2,48
RUN
DELAY 61000

PV
U 827,7
I 3,716
Umpp 612,5
Impp 2,75
RUN
DELAY 61000

PV
U 804,86
I 3,243
Umpp 595,6
Impp 2,4
RUN
DELAY 61000

PV
U 810,27
I 3,514
Umpp 599,6
Impp 2,6
RUN
DELAY 61000

PV
U 799,73
I 3,459
Umpp 591,8
Impp 2,56
RUN
DELAY 61000

PV
U 808,78
I 3,176
Umpp 598,5
Impp 2,35
RUN
DELAY 61000

PV
U 817,43
I 2,919
Umpp 604,9
Impp 2,16
RUN
DELAY 61000

PV
U 867,16
I 1,324
Umpp 641,7
Impp 0,98
RUN
DELAY 61000

PV
U 828,92
I 0,973
Umpp 613,4
Impp 0,72
RUN
DELAY 61000

PV
U 798,38
I 1,122
Umpp 590,8
Impp 0,83
RUN
DELAY 61000

PV
U 799,59
I 0,716
Umpp 591,7
Impp 0,53
RUN
DELAY 61000

PV
U 643,11
I 0,459
Umpp 475,9
Impp 0,34
RUN
DELAY 61000
```

Slika 2.14. Prikaz kreirane skripte za prvi niz FN modula[3]

PV-način rada definira se za FN modul i to sa zadanim strujnim i naponskim ograničenjima. Ako su sve naredbe pravilno napisane, naredba „RUN“ pokreće postojeću skriptu. Potom se definira vrijeme trajanja generiranja zadanih vrijednosti u milisekundama (ms) što se iskazuje naredbom „DELAY“. Zbog ograničenog vremena izvršenja naredbi u iznosu od 65535 ms [3], postavljeno je ograničenje trajanja svake naredbe od 61 sekundi. Po završetku zapisivanja svih 18 naredbi, treba upisati naredbu „STANDBY“. Spomenuta naredba, nakon što postavi istosmjerne izvore u stanje pripravnosti, označava završetak emulacije. Prilikom pisanja skripte uzeto je vrijeme *u-i* karakteristike od 61 sekundu. Prema Palu zaključeno je da se najvjerodostojniji podaci dobiju sa 61 sekundom, nakon usporednih mjerenja sa 60, 61 i 62 sekunde. Podaci, prikazani u tablici 2.6, dobiveni su prema srednjim odstupanjima rađena za dan 20.11.2015.:

Tablica 2.6. Srednje odstupanje pri različitim vremenima trajanja izvršenja naredbi

	δ (0) [%]		
Vrijeme izvršenja naredbi [s]	60	61	62
Kronološki slijed	3,33	2,06	0,774
Maks-min sortiranje	3,05	2,2	7,35

Za dan 20.11.2015. kod kronološkog slijeda srednje odstupanje pri vremenu trajanja *u-i* karakteristike od 61 sekundu iznosi 2,06 %. Kod maks-min sortiranja podataka gdje se podaci sortiraju od maksimalne vrijednosti snage prema minimalnoj srednje odstupanje iznosi 2,2 % pri vremenu trajanja *u-i* karakteristike 61 sekundu. Tekstualni se dokument pohranjuje na prijenosnu memoriju te se umeće u SD utor u programabilni istosmjerni izvor. Nakon što su spomenuti izvori automatski prepoznali memorijsku karticu, pokreće naredbe iz skripte. Istovremenim pritiskom na funkcijske tipke „Standby“ pokreće se emulacija i istosmjerni izvori generiraju zadane *u-i* karakteristike[3].

Izmjenjivač na početku izvođenja emulacije ne predaje električnu energiju u mrežu, iako je skripta pokrenuta. To se događa zbog samotestiranja podsustava izmjenjivačkih zaštita. Samotestiranje se izvršava u trenutku kada se detektira napajanje istosmjernih izvora. Samotestiranje traje od 1:30-minute-2:30-minute što je utvrđeno pokusnim mjerenjima [3]. Kompenzacijske naredbe upotrijebljene su u pokusima mjerenja. Idealno je koristi 6 kompenzacijski naredbi kako bi zadržale točku u položaju maksimalne snage za vrijeme samotestiranja. Kako bi se riješio spomenuti problem, zato se nalaze na početku skripte za oba niza.

```
PV
U 650
I 1
Umpp 500
Impp 1
RUN
DELAY 65000

PV
U 650
I 3
Umpp 500
Impp 1
RUN
DELAY 61000

PV
U 650
I 3
Umpp 500
Impp 2
RUN
DELAY 61000

PV
U 650
I 3,5
Umpp 600
Impp 2,5
RUN
DELAY 61000

PV
U 650
I 3,5
Umpp 600
Impp 2,5
RUN
DELAY 61000

PV
U 650
I 3,5
Umpp 600
Impp 2,5
RUN
DELAY 61000
```

Slika 2.15. Prikaz korištenih kompenzacijskih naredbi

Početak kompenzacijskih naredbi kreće sa 650 W po nizu i postepeno se podiže do 2,275 W (Sl. 2.15.). Nakon dodavanja kompenzacijskih naredbi za postizanje željenog vladanja, emulacija je produžena sa 18 minuta na maksimalno 24 minute. U skladu sa svim opisanim zahtjevima i ograničenjima FN sustava potrebno je izraditi skripte i obaviti analizu rezultata, gdje će se utvrditi pogreška emulacije[3].

3. KOMPARATIVNA ANALIZA BRZE EMULACIJE ZA ODABRANE TEHNOLOGIJE

U ovom dijelu rada obavit će se komparativna analiza brze emulacije za odabrane tehnologije FN modula. Odabrana su tri promjenjiva dana kod kojih dolazi do izraženih promjena u sunčevom zračenu. Također je odabran jedan sunčani dan kod kojega nisu toliko izražene promjene sunčevog zračenja. Odabrani promjenjivi dani su 01.05.2018., 02.09.2018., 28.03.2018, a za sunčani dan uzet je dan 04.06.2017. Zadatak je obaviti brzu emulaciju za svaki dan. Za svaki pojedini dan obavljene su 3 brze emulacije kako bi se moglo vjerodostojnije utvrditi odstupanja emulirane električne energije od energije koja je preuzete sa jednog od pet FN modula ETFOS1. U Laboratoriju za obnovljive izvore postoji sustav za preuzimanje i spremanje podataka *u-i* karakteristike u točki maksimalne snage koji se sastoji od malih mikro izmjenjivača na koji je priključen svaki od tih modula s kojih se uzimaju podaci. Svaka od tih pet tehnologija je zasebno spojena na svoj vlastiti mikro izmjenjivač. S tim podacima, sa samo jednog modula su pravljeni FN sustavi. Rađeno je sa pet tehnologija:

1. Amorfni silicij; Masdar MPV100-S; snage modula 100 Wp po nizu[10]
2. Visokoučinski monokristalni modul; PanasonicVBHN240SE10; snage 240 Wp po nizu [11]
3. Bakar indij selen; Solar Frontier SF150-S; snage 150 Wp po nizu [12]

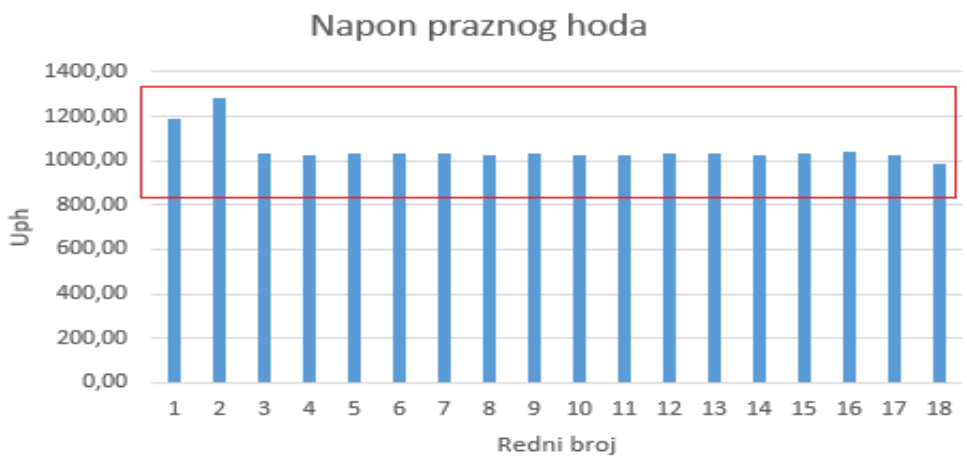
4. Monokristalni modul; Bisol BMO 250; snage 250 Wp po nizu [13]
5. Polikristalni modul; Bisol BMU 250; snage 250 Wp po nizu [14].

Prije samoga pisanje skripte moraju se obraditi polazne tablice. Polazne excel tablice su dobivene za svaki pojedini modul u kojemu su dobiveni podaci za oba stringa. Prilikom filtriranje polazne tablice mora se obratiti pozornost na ograničenja. Uzimane su prve vrijednosti koje prelaze 100 W po stringu, s tim da se mora voditi računa da oba stringa prelaze vrijednost od 100 W. Sljedeći korak je definiranje FN elektrana s obzirom na ograničenja. Drugo ograničenje slijedi iz maksimalne vrijednosti napona i struje programabilnih izvora. Kako je navedeni u tehničkim podacima (Tab. 2.3.) ukoliko maksimalni izlazni napon pređe granicu od 1000 V, ili maksimalna izlazna struja pređe granicu od 10 A dolazi do prorade zaštite i uređaj više nema mogućnost generiranja izlaznih veličina. Nadalje, kao što je već spomenuto u radu, maksimalna izlazna izmjenična snaga ne smije prelaziti 5 kW po stringu. Ukoliko se pređe ta granica dolazi do prorade zaštitnih uređaja izmjenjivača i izmjenjivač prestaje sa radom. Te sve uvjete nije moguće zadovoljiti za sve vrste tehnologije, zbog njihovih karakteristika, napona prazno hoda i struja kratkog spoja. Upravo zbog toga napravljena su dva sustava. Jedan od 6 kWp koji će se realizirati sa 3 tehnologije, Masdar MPV100-S, Solar Frontier SF150-S i PanasonicVBHN240SE10 i jedan od 12 kWp koja će realizirati također tri tehnologije: Bisol BMO 250, Bisol BMU 250 i PanasonicVBHN240SE10. Kako bi se dobila FN elektrana od 6 kWp odrađena su serijsko-paralelna spajanja modula. Za svaku tehnologiju drugačiji je serijsko-paralelni spoj. Ukupan broj modula koji se nalaze u stringu razlikuje se u ovisnosti o tipu tehnologije. Taj ukupan broj modula množi se sa snagom svakog pojedinog modula i dobiva se ukupna snaga FN elektrane za pojedinu tehnologiju kao što je prikazano na slici 3.1.

BAKAR INDIJ SELEN; ***SOLAR FRONTIER SF150-S***					
	Broj modula po stringu	Broj modula u seriji	Broj paralela	Snaga modula [Wp]	Snaga stinga [kWp]
STRING 1	20,00	5,00	4,00	150	3
STRING 2	20,00	5,00	4,00	150	3
Ukupno	40,00				
Pn[kWp]	6				
AMORFNI SILICIJ; ***MASDAR MPV100-S***					
	Broj modula po stringu	Broj modula u seriji	Broj paralela	Snaga modula [Wp]	Snaga stinga [kWp]
STRING 1	30,00	6,00	5,00	100	3
STRING 2	30,00	6,00	5,00	100	3
Ukupno	60,00				
Pn[kWp]	6				
VISOKOUČINKOVITI MONOKRISTALNI MODUL; ***PANASONIC VBHN240SE10***					
	Broj modula po stringu	Broj modula u seriji	Broj paralela	Snaga modula [Wp]	Snaga stinga [kWp]
STRING 1	12,00	12,00	1,00	240	2.880
STRING 2	13,00	13,00	1,00	240	3.120
Ukupno	25,00				
Pn[kWp]	6				

Slika 3.1. Serijsko-paralelna kombinacija FN elektrane 6 kWp

Kada bi htjeli sustav od 12 kWp za Panasonic Hit za odabrani promjenjivi dan 02.09.2018. napon praznog hoda prelazi dozvoljeni iznos izvora, kao što je prikazano na slici 3.2.



Slika 3.2. Napon praznog hoda pri sustavu 12 kWp za za dan 02.09.2018.

Drugi sustav od 12 kWp dobiva se također serijsko-paralelnim spajanjem modula. Serijsko-paralelno spoj modula prikazan je na slici 3.3.

MONOKRISTALNI MODUL; *BISOL BMO 250*					
	Broj modula po stringu	Broj modula u seriji	Broj paralela	Snaga modula [Wp]	Snaga stinga [kWp]
STRING 1	24,00	24,00	1,00	250	6
STRING 2	24,00	24,00	1,00	250	6
Ukupno	48,00				
Pn[kWp]	12,00				
VISOKOUČINKOVITI MONOKRISTALNI MODUL; *PANASONIC VBHN240SE10*					
	Broj modula po stringu	Broj modula u seriji	Broj paralela	Snaga modula [Wp]	Snaga stinga [kWp]
STRING 1	24,00	12,00	2,00	240	5,76
STRING 2	26,00	13,00	2,00	240	6,24
Ukupno	50,00				
Pn[kWp]	12,00				
POLIKRISTALNI MODUL; *BISOL BMU 250*					
	Broj modula po stringu	Broj modula u seriji	Broj paralela	Snaga modula [Wp]	Snaga stinga [kWp]
STRING 1	24,00	24,00	1,00	250	6
STRING 2	24,00	24,00	1,00	250	6
Ukupno	48,00				
Pn[kWp]	12,00				

Slika 3.3. Serijsko-paralelna kombinacija FN elektrane 12 kWp

Nakon upoznavanja sa ograničenjima i pravljenja dva sustava, jedan od 6 kWp i 12 kWp kreće se sa brzom emulacijom. Pratit će se predana električna energija emulatora u mrežu kako bi se mogla napraviti detaljna analiza rezultata. Promatra se istosmjerna snaga pojedinog niza, snagu na izmjeničnoj strani kako bi se promatrali postupci brze emulacije. Kako bi se imao uvid u stvarnu predanu električnu energiju u mrežu, koristimo digitalno brojilo. Nakon završetka kompenzacijskih naredbi očitamo brojilo, što ujedno i rezultira početak emulacije. Krajnje stanje brojila očita se pri završetku emulacijskog sustava, te se računa proizvedena energija. Dobiveni podaci se na kraju emulacije preuzmu sa izmjenjivača.

3.1. Emulacija FN sustava 6 kWp

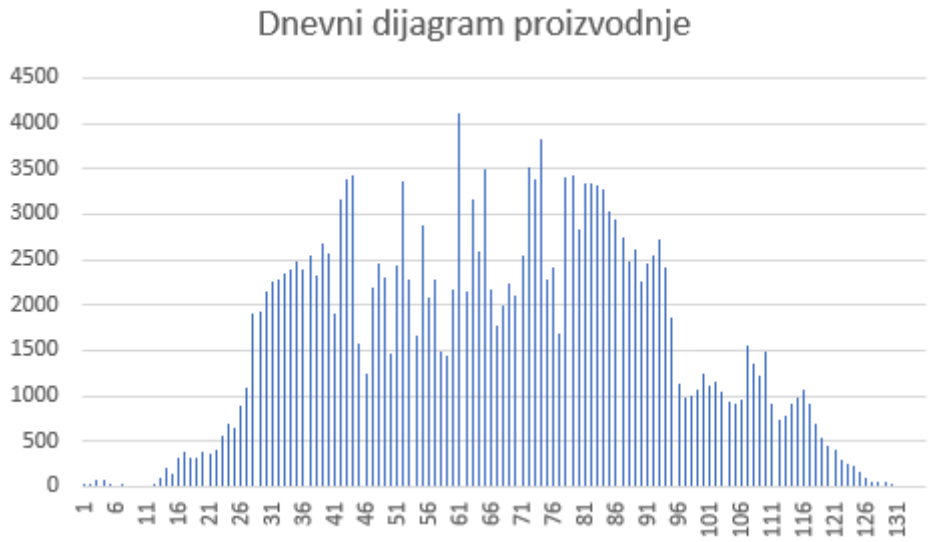
Za slučaj promjenjivih dana izrađene su skripte kojom se vrši brza emulacija. Za svaki dan izrađene su dvije skripte, string 1 i string 2. Svaka naredba ograničena je na 61 sekundi trajanja. Rade lakše i vjerodostojnije usporedne podataka obavit će se po tri emulacije za svaku tehnologiju i dan. Nakon konfiguracije elektrane na 6 kWp, napisane su probne skripte i izvršena je emulacija. Tijekom emuliranja utvrđena su određena ograničenja. U određenim trenucima napon praznog hoda je ispod 400V i dolazi do aktivacije podnaponske zaštite. Tih 400V je ujedno i napon praga. Upravo kod Bisola BMO i Bisola BMU napon praznog hoda je ispod 400V, čime dolazi do djelovanja zaštite i izmjenjivač prestaje s emulacijom i tek nakon 30-ak sekundi ponovno kreće s radom, tako da za ova mjerenja njihovi podaci nisu relevantni.

Zaključno tome za sustav za 6 kWp postoje tri tehnologije: Masdar MPV100-S, Solar Frontier SF150-S i PanasonicVBHN240SE10. Na primjeru jedne tehnologije objašnjeno je kako se radi emulacija. Sukladno tome napravljene su ostale dvije tehnologije. Odabrana tehnologija je visokoučinskog monokristalnog modula; Panasonic Hit čije su karakteristike dane na slici 3.4

Model	VBHN245SJ25
Maximum Power (Pmax)[1]	245 W
Maximum Power Voltage (Vpm)	44.3 V
Maximum Power Current (Ipm)	5.54 A
Open Circuit Voltage (Voc)	53.0 V
Short Circuit Current (Isc)	5,86 A
Max. Power at NOCT (Normal Operating Conditions)	187.3 W
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.258 %/°C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.125 V/°C
Temperature Coefficient (Isc)	3.22 mA/°C
NOCT	44.0 °C
Module Efficiency	19.4 %
Maximum System Voltage	1000 V
Series Fuse Rating	15 A
Power Tolerance (-/+)	+10%/ 0%*

Slika 3.4. Tehnički podaci FN modula

U dnevnom dijagramu proizvodnje vidljivo je kako se radi o promjenjivom danu.(Sl 3.5.)



Slika 3.5. Dnevni dijagram proizvodnje na 5-minutnom vremenu za 02.09.2018.

Prilikom filtriranja polazne tablice dobivene sa izmjenjivača sa podacima od 0-24 sata, tj. karakteristike su snimane 24 sata**[**P 3.1.]. Za početne vrijednosti uzimaju se svi podaci koji prelaze 100 W po stringu. Važno je da se emulacija poslije tih 100 W po stringu odvija kontinuirano. Slijed radnji vezan uz pripremu podataka, obradu podataka, bit će opisan u nastavku. Tablicom 3.1. prikazano je kontinuirano predavanje električne energije u mrežu s iznosom snage stringa veće od 100 W po stringu.

Strujno-naponske karakteristike FN modula određene su sa četiri glavna parametara: naponom maksimalne snage (U_{mpp}), strujom kratkog spoja (I_{ks}), naponom otvorenog kruga (U_{ph}), i strujom maksimalne snage (I_{mpp}). Na osnovu filtriranih podataka iz izmjenjivača FN sustava, i temeljem podatka pojedinog fotonaponskog modula, mogu se izračunati struja i napon za oba stringa, (P 3.1.), vršna snaga pojedinog stringa te ukupna proizvedena snaga elektrane.

Tablica 3.1. Filtrirani podaci dobiveni sa izmjenjivača za dan 02.09.2018.

Redni bro	Vrijeme	String 1		String 2	
		*I*MPP	*U*MPP	*I*MPP	*U*MPP
1	8:30:00	0,36	430,55	0,36	466,43
2	9:00:00	0,63	431,08	0,63	467,00
3	9:30:00	2,59	433,23	2,59	469,33
4	10:00:00	2,15	430,27	2,15	466,12
5	10:30:00	2,45	432,03	2,45	468,03
6	11:00:00	2,63	415,43	2,63	450,05
7	11:30:00	1,59	433,26	1,59	469,37
8	12:00:00	3,94	424,70	3,94	460,09
9	12:30:00	2,84	430,39	2,84	466,26
10	13:00:00	1,92	421,06	1,92	456,14
11	13:30:00	3,71	431,03	3,71	466,95
12	14:00:00	2,91	431,65	2,91	467,62
13	14:30:00	2,06	433,66	2,06	469,80
14	15:00:00	1,23	431,56	1,23	467,53
15	15:30:00	1,72	433,85	1,72	470,00
16	16:00:00	0,88	430,99	0,88	466,90
17	16:30:00	0,60	432,53	0,60	468,58
18	17:00:00	0,25	433,16	0,25	469,25

S izmjenjivača su preuzeti podaci, napon maksimalne snage (U_{mpp}), struja maksimalne snage (I_{mpp}). Kako bi se mogla napisati skripta, potrebno je saznati struju kratkog spoja (I_{ks}) i napon praznog hoda (U_{ph}). Tek kada su poznate sve četiri veličine, može se pisati skripta i izvršiti emulacija pomoću „Skripta“ načina rada. Svaki FN modul ima tehničke podatke koji su dani od strane proizvođača (Sl 3.4.), i pomoću njih je moguće je odrediti omjer između struje u točki maksimalne snage i struje kratkog spoja budući da je promjena struje uvijek linearna. Omjer je označen oznakom „k“ pomoću kojeg se računa struja kratkog spoja.

Omjer je određen za sve jakosti sunčeva zračenja:

$$k = \frac{I_{mpp,J}}{Iks,j} \qquad (3\text{-}1)$$

Pomoću tehničkih podataka FN modula izračunat je omjer „k“ prema izrazu (3-1):

$$k = \frac{5.54}{5{,}86} = 0{,}945$$

Važno je napomeni da se za svaki modul mora računati omjer „k“ pomoću tehničkih podataka dobivenih od proizvođača.

Konačna vrijednost struje kratkog spoja određuje se:

$$Iks = \frac{I_{mpp}}{k} \qquad (3\text{-}2)$$

Koristeći se podacima iz tablice (3.1.), te prema izrazu (3-3), računamo struju kratkog spoja:

$$Iks = \frac{0{,}36}{0{,}945} = 0{,}38\ A$$

Kako bi se izračunao na napon praznog hoda potreban je Fill factor (FF), koji se računa prema izrazu (3-3):

$$FF = \frac{Impp \cdot Umpp}{Iks \cdot Uph} \qquad (3\text{-}3)$$

Koristeći se tehničkim podacima FN modula dobivenog od strane proizvođača(Sl 3.4.), i prema relaciji (3-3) računamo Fill factor:

$$FF = \frac{5{,}54 \cdot 44{,}3}{5{,}86 \cdot 53} = 0{,}79 \cdot 100 = 79\ \%$$

Za 1000 W/m^2 prema slici 3.4. dobiven je Fill factor i iznosi 79 %. Smatrat ćemo da je za sve točke ove emulacije računamo sa Fill factorom iznosa 79 %, što nam pomaže da procijenimo napon praznog hoda koji se ne mijenja toliko značajko kao što se mijenja struja uslijed promijene sunčevog osvjetljenja. Napon praznog hoda najosjetljiviji je ujutro i navečer iz razloga što su tada promjene temperatura najveće. Prilikom zagrijavanja modula napon praznog hoda se ne mijenja značajno. Nakon što je poznat Fill factor računa se napon praznog hoda:

$$Uph = \frac{Impp \cdot Umpp}{Iks \cdot FF} \qquad (3\text{-}4)$$

Uvrštavajući u tu jednadžbu podatke iz tablice 4.1. dobivamo i struju kratkoga spoja dobiva se:

$$Uph = \frac{0{,}36 \cdot 430{,}55}{0{,}36 \cdot 0{,}79} = 455\ \text{V}$$

Na ovaj način, pri zadanoj struji vršne snage, izračunata je struja kratkog spoja. Na isti način određene su sve druge vrijednosti struje kratkog spoja. Opisani postupci daju približne vrijednosti struje kratkog spoja i napona praznog hoda koje odgovaraju zahtjevima emulacije i znatno ne utječu na emuliranu energiju, budući da se položaj radne točke odabire u točki maksimalne snage[3]. Konačna tablica (Tab 3.2.)koja se koristi za pisanje skripte, a koja sadrži sve karakteristične veličine FN elektrane dobivena je koristeći se svim opisanim postupcima za dan 02.09.2018. Iz ovih podataka se dolazi do proizvedene električne energije koju bi taj sustav pod tim karakteristika dao mreži.

Tablica 3.2. Karakteristične veličine *u-i* karakteristika za pisanje skripte i analitički određena električna energija koju ta elektrana proizvede

Redni broj	Vrijeme	Niz 1				Niz 2				Pfilt[W]	Wfilt[kWh]
		*I*MPP	*U*MPP	*Uph1*	*Iks1*	*I*MPP	*U*MPP	*Uph2*	*Iks2*		
1	8:30:00	0,36	430,55	455,61	0,38	0,36	466,43	493,58	0,37	313,45	0,16
2	9:00:00	0,63	431,08	456,17	0,67	0,63	467,00	494,18	0,67	560,13	0,28
3	9:30:00	2,59	433,23	458,45	2,74	2,59	469,33	496,65	2,73	2301,15	1,15
4	10:00:00	2,15	430,27	455,31	2,27	2,15	466,12	493,25	2,26	1885,02	0,94
5	10:30:00	2,45	432,03	457,18	2,59	2,45	468,03	495,27	2,58	2169,60	1,08
6	11:00:00	2,63	415,43	439,61	2,78	2,63	450,05	476,24	2,77	2243,37	1,12
7	11:30:00	1,59	433,26	458,48	1,68	1,59	469,37	496,69	1,68	1412,24	0,71
8	12:00:00	3,94	424,70	449,42	4,17	3,94	460,09	486,87	4,15	3434,47	1,72
9	12:30:00	2,84	430,39	455,44	3,01	2,84	466,26	493,39	2,99	2505,26	1,25
10	13:00:00	1,92	421,06	445,56	2,04	1,92	456,14	482,69	2,03	1656,47	0,83
11	13:30:00	3,71	431,03	456,12	3,92	3,71	466,95	494,13	3,91	3275,24	1,64
12	14:00:00	2,91	431,65	456,77	3,08	2,91	467,62	494,84	3,07	2575,58	1,29
13	14:30:00	2,06	433,66	458,90	2,18	2,06	469,80	497,14	2,17	1833,47	0,92
14	15:00:00	1,23	431,56	456,68	1,30	1,23	467,53	494,74	1,30	1089,57	0,54
15	15:30:00	1,72	433,85	459,10	1,81	1,72	470,00	497,36	1,81	1524,95	0,76
16	16:00:00	0,88	430,99	456,07	0,93	0,88	466,90	494,08	0,92	773,50	0,39
17	16:30:00	0,60	432,53	457,71	0,63	0,60	468,58	495,85	0,63	531,77	0,27
18	17:00:00	0,25	433,16	458,37	0,27	0,25	469,25	496,56	0,27	225,87	0,11
											15,156

Pošto su poznati svi podaci, napisana je skripta sa svim karakterističnim veličinama za oba niza. Svaki niz, tj svaka skripta predstavlja jedan niz FN elektrane. U svakoj skripti nalazi se 6 kompenzacijskih naredbi i 18 naredbi u kojima su četiri karakteristične veličine: struja kratkog spoja (I_{KS}), napon praznog hoda (U_{PH}), struja pri maksimalnoj snazi (I_{mpp}),napon pri maksimalnoj snazi (Umpp). Skripta je umetnuta u programabilni istosmjerni izvor, koji automatski prepoznaje karticu. Za svaki tehnologiju ponovljena su 3 mjerenja, kako bi se moglo utvrditi odstupanje emulirane energije od stvarne proizvedene energije. Pogledom na zaslon mogu se pratiti izlazne veličine i položaj radne točke. Zbog prorade izmjenjivača na početku mjerenja, radna točka nije u položaju maksimalne snage. Upravo je zbog toga dodano 6 kompenzacijskih naredbi, kako bi u to vrijeme točka bila u položaju maksimalne snage, te je poslije toga omogućeno emuliranje stvarnih veličina uz prihvatljiva odstupanja. Nakon završenih

emulacija podaci se preuzimaju s izmjenjivača FN emulatora na prijenosnu memoriju nakon čega slijedi analiza dobivenih podataka koja je prikazana tablicom 3.3.

Tablica 3.3. Preuzeti podaci sa izmjenjivača i analitičkim postupkom određena emulirana energija

Redni broj	Vrijeme emulacije	Umppt1	Imppt1	Pdc1[W]	Umppt2	Imppt2	Pdc2[W]	Pdc[W]	Pac[W]	Wemul[kWh]
1	15:53:36	427,21	0,59	252,06	476,44	0,44	210,19	462,25	454,85	0,22
2	15:54:38	443,70	0,72	320,53	454,24	0,49	223,25	543,78	535,08	0,26
3	15:55:40	425,40	2,56	1087,21	449,59	2,27	1019,31	2106,51	2072,81	1,02
4	15:56:42	422,75	2,43	1025,67	444,39	2,25	999,14	2024,80	1992,41	0,98
5	15:57:43	424,25	2,65	1122,85	445,54	2,38	1060,12	2182,96	2148,04	1,06
6	15:58:45	408,87	2,57	1050,29	430,45	2,49	1072,83	2123,12	2089,15	1,03
7	15:59:47	424,60	1,82	773,84	443,37	1,85	819,40	1593,24	1567,75	0,77
8	16:00:49	417,52	4,05	1691,89	440,23	3,61	1589,58	3281,47	3228,97	1,59
9	16:01:51	422,42	3,07	1297,41	443,12	2,81	1243,90	2541,31	2500,65	1,23
10	16:02:53	413,74	2,11	874,57	435,16	2,29	996,53	1871,09	1841,15	0,91
11	16:03:55	423,16	3,89	1644,08	454,07	3,42	1554,51	3198,59	3147,41	1,55
12	16:04:57	423,64	3,12	1323,15	445,34	2,84	1264,47	2587,61	2546,21	1,25
13	16:05:59	425,65	2,27	966,44	447,43	2,04	913,07	1879,50	1849,43	0,91
14	16:07:01	423,89	1,38	587,00	445,63	1,25	556,54	1143,54	1125,24	0,55
15	16:08:03	426,17	1,85	787,34	448,48	1,70	761,06	1548,40	1523,62	0,75
16	16:09:04	423,71	1,07	454,09	444,86	0,92	407,43	861,52	847,73	0,42
17	16:10:06	425,06	1,05	445,13	455,99	0,68	311,58	756,70	744,60	0,37
18	16:11:08	421,55	0,41	172,12	451,93	0,26	117,27	289,39	284,76	0,14
										15,00

Kako bi se izračunala vršna snaga FN elektrane, koriste se sljedeći izrazi:

$$U_{MPP,1} = n \cdot U_{MPP,1};\ U_{MPP,2} = n \cdot U_{MPP,2} \tag{3-4}$$

$$Puk, dc = U_{MPP,1} \cdot I_{MPP,1} + U_{MPP,2} \cdot I_{MPP,2} \tag{3-5}$$

$$Puk, ac = \eta \cdot Puk, dc \tag{3-6}$$

gdje je:

U_{MPP1}, I_{MPP1}-struja i napon 12 u seriju vezanih visokoučinski monokristalni FN modula pri točki maksimalne snage

U_{MPP2}, I_{MPP2}-struja i napon 13 u seriju visokoučinski monokristalni FN modula pri točki maksimalne snage

U_{MPP1}-napon maksimalne snage prvog stringa

U_{MPP2}-napon maksimalne snage drugog stringa

P_{MPP1}, P_{MPP2}-ukupna snaga na istosmjernoj strani FN elektrane

$P_{UK,DC}$-ukupna snaga na izmjeničnoj strani FN elektrane

η-stupanja djelovanja izmjenjivača, $\eta = 0{,}984$ [4]

n-ukupan broj modula u nizu

Uvrštavajući vrijednosti oba stringa (Tab 3.2.)napona pri maksimalnoj snazi i struje pri maksimalnoj snazi prema izrazu (3-5), dobivamo:

$$Puk, dc = 433{,}20 \cdot 0{,}72 + 454{,}24 \cdot 0{,}49 = 533{,}08\ W = 0{,}54\ kW$$

Analogno tome određene su ostale vrijednosti na istosmjernoj strani FN elektrane prema izrazu (3-6).

$$Puk, ac = 0{,}984 \cdot 533{,}08 = 524{,}55W = 0{,}525\ kW$$

Analogno tome izračunate su ostale vrijednosti maksimalne snage izmjeničnog dijela. Kako bi se mogla usporediti stvarna proizvedena energija s emuliranom, mora se preračunati nakon emulacije na vremenski period od 30 min i 6 sekundi. Preko multplikatora *x*, uvodi se relacija kojom se emulirana energija W_{filt} preračunava na interval od 30 minuta.

$$x = \frac{T}{\Delta t_i} \qquad (3\text{-}7)$$

gdje je:

Δt_i- trajanje jedne naredbe pri emulaciji [pal]

T-vremenski period između dvije naredbe u trajanju od 30 minuta i 6 sekundi, odnosno 1806 sekundi[3].

Poznavajući koeficijet multiplikacije dolazi se do preračunavanja emulirane energije u pojedinim trenucima:

$$Wfilt = Pac \cdot \Delta t_i \frac{T}{\Delta t_i} = Pac \cdot T\ [kWh] \qquad (3\text{-}8)$$

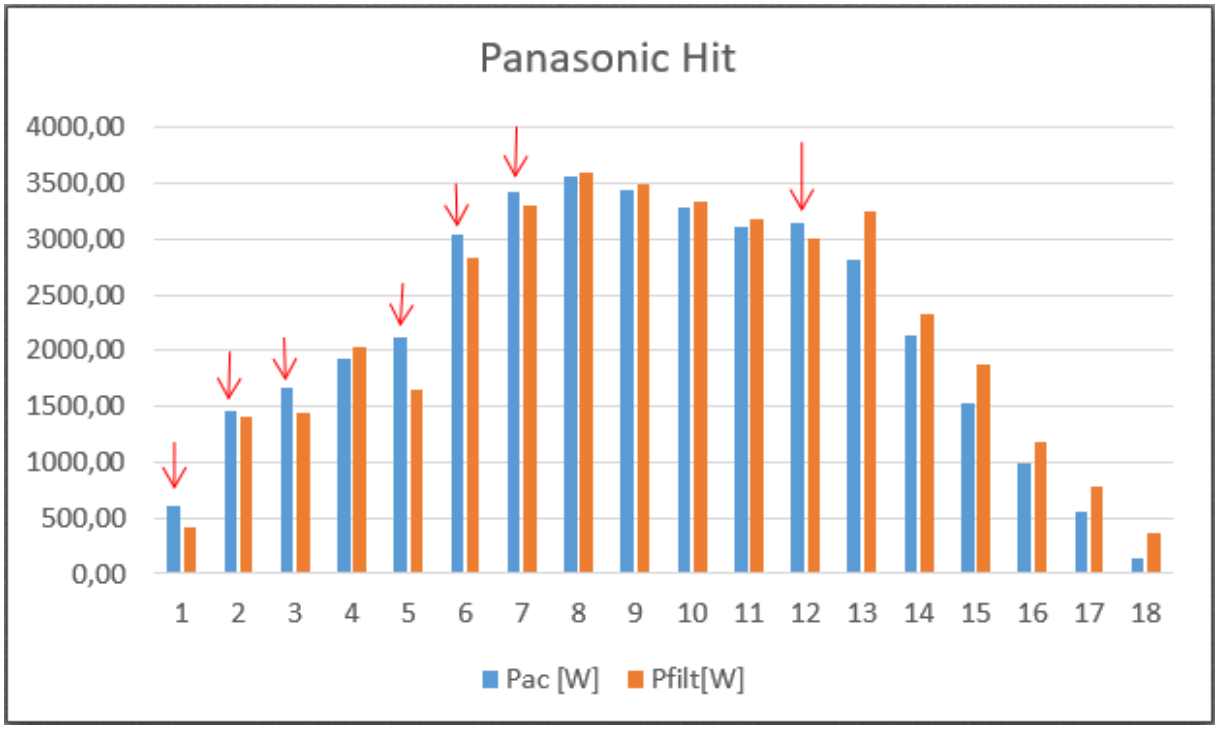
Vrijednost multiplikatora x ovisi o trajanju pojedine naredbe Δt_i

Zbroj svim emuliranih energija je ukupna preračunata emulirana energija, računa po se izrazu:

$$Wfilt = \sum_{j=1}^{n} Wem, an \qquad (3\text{-}9)$$

Ukupna emulirana energija dobiva se korištenjem prethodnih izraza (3-7, 3-8) i ona iznosi W_{filt}=15,000kWh.

Na slici 3.5. mogu se vidjeti odstupanja u pojedinim intervalima, kao i usporedba proizvedene električne energije od strane emulacijskog sustava i stvarne dnevne proizvodnje električne energije.



Slika 3.6. Snaga elektrane emulirano i dobiveno tablicom 3.2.

Usporedbom vrijednosti primjećuje se da je emulirana energija bila veća od *u-i* karakteristikama definirane proizvedene energije u pojedinim trenucima (označeno strelicama). Takva pojava rezultat je povećane snage u određenom trenutku. Teoretski gledajući to nije moguće, zbog toga što su kreiranom skriptom ograničene maksimalne vrijednosti izlazne snage. To se događa kad je radna točka izvan zadane karakteristike.

Slika 3.7. Položaj radne točke izvan karakteristike[3]

Do kašnjenja promjene položaja radne točke dolazi zbog automatskog prebacivanja iz jedne u drugu naredbu. Radna točka ostaje u istom položaju, a istosmjerni izvori nastavljaju s emulacijom sljedeće naredbe tako da mijenjaju karakteristike. Ako u tom trenutku izmjenjivač zabilježi karakteristične vrijednosti, one će biti veće od zadanih i doći će do veće emulirane snage od predviđene. Automatsko pozicioniranje radne točke na željeni položaj (MPPT) nije moguće zbog tromosti elektroničkih sklopova MPPT uređaja. Ovakva pojava se događa pri prebacivanju karakteristika, te se najbolje može vidjeti promatrajući *u-i* karakteristike za vrijeme emulacije. Jedan od mogućih razloga ovakvog vladanja je trenutak mjerenja karakterističnih vrijednosti na izmjenjivaču[3].

Relativna postotna pogreška δ računa se za usporedbu ukupne analitički izračunate energije elektrane W_{ETFOS1}, te analitički izračunate energije dobivene emulacijom $W_{filt,an,uk}$.

$$\delta = \frac{Wfilr - Wem,uk}{Wfilt} \cdot 100\ [\%] \tag{3-10}$$

Mjera odstupanja emulirane električne energije od stvarne proizvedene električne energije predstavlja relativnu postotnu pogrešku. Nakon uvrštavanja izračunatih vrijednosti prema (3-10) dobivena je relativna postotna pogreška emulacije δ=1 %.

Kako bi se kvalitetnije mogla vršiti kontrola proizvodnje emulirane energije, vrši se očitanje sa digitalnog brojila. Emulirana energija očitana brojilom dobiva se kao razlika krajnjeg i početnog stanja. Također ga treba preračunati na 30-minuti period, pošto se takav rezultat odnosi na skaliranje vremena trajanja naredbi 61 sekunda.

$$Wem, br = (Wzav - Wpoč) \cdot x \; [kWh] \tag{3-11}$$

Gdje je:

-*Wpoč*-očitanje brojila na početku emulacije [kWh]

-*Wzav*-očitanje brojila na kraju emulacije [kWh]

Koristeći se izrazom (3-11) dobiva se ukupna emulirana energija brojila:

$$Wem, br = (148{,}259 - 147{,}75) \cdot \frac{1806\ s}{61\ s} = 15{,}01\ [kWh]$$

Isti proces ponavljan je tri puta za svaku emulaciju (P 3.1), i za svaku tehnologiju. Relativna pogreška dobije se uvrštavanjem izračunatih vrijednosti prema relaciji (3-10) i dobije se postotna pogreška od $\delta = 1{,}684$ %

Tablica 3.3. Odstupanje energije dobivene emulacijom, očitanjem brojila od stvarne proizvedene el. energije

	MASDAR			PANASONIC HIT			SOLAR FRONTIER		
Rb.emulacije	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Wfilt[kWh]	19,057			15,156			21,910		
Wemul[kWh]	18,376	18,424	18,410	15,00	14,900	15,074	21,839	21,584	21,738
Wbroj[kWh]	18,671	18,812	18,789	15,010	14,978	15,082	21,892	21,786	21,893
δ em, fil [%]	3,576	3,321	3,397	1,000	1,684	0,535	0,321	1,486	0,782
δ filt,br [%]	2,02761	1,28774	1,40843	0,96044	1,17159	0,48537	0,08032	0,56412	0,07575

Srednje odstupanje prema rezultatima za Panasonic Hit iznosi 1,073 %, što se može smatrati prihvatljivim. Solar Frontier ima najmanje odstupanje koje iznosi 0,863 %, dok Masdar ima najveće odstupanje 3,432 %, (Tab. 3.4):

Tablica 3.4. Srednja odstupanja za pojedine tehnologije

	MASDAR			PANASONIC HIT			SOLAR FRONTIER		
δem, fil [%]	3,576	3,321	3,397	1,000	1,684	0,535	0,321	1,486	0,782
δ (0) [%]	3,432			1,073			0,863		

Isti proces ponavljao se i za preostala dva dana. Svaki proces emulacije ponovljen je tri puta. Koristeći se preuzetim podaci sa izmjenjivača dobivene su konačne tablice za pisanje skripte (Tab 3.2.), te nakon završetka emulacije obrađeni su podaci isto kao prema gore navedenim koracima. Izračunata je relativna i srednja pogreška za preostala dva dana (Tab 3.5, 3,7):

Tablica 3.5. Relativna pogreška za dan 28.3.2018

	MASDAR			PANASONIC HIT			SOLAR FRONTIER		
Rb.emulacije	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Wfilt[kWh]	17,461			17,529			20,979		
Wemul[kWh]	17,103	16,965	17,214	17,117	17,283	16,878	19,912	20,058	20,077
Wbroj[kWh]	17,213	17,012	17,351	17,212	17,287	17,143	20,564	20,678	20,7
δ em, fil [%]	2,0511	2,8417	1,4174	2,3471	1,4032	3,7105	5,0817	4,3877	4,2955
δ filt,br [%]	1,421	2,573	0,631	1,807	1,379	2,200	1,976	1,433	1,328

Najveće srednje odstupanje ima Solar Frontier sa 4,588%, dok najmanje ima Masdar i iznosi 2,103%.
U ovom slučaju Panasnic Hit iznosi 2,487%, (Tab.3.6)

Tablica 3.6. Srednje odstupanje za 28.3.2018

	MASDAR			PANASONIC HIT			SOLAR FRONTIER		
δem, fil [%]	2,051	2,842	1,417	2,347	1,403	3,711	5,082	4,388	4,295
δ (0) [%]	2,103			2,487			4,588		

Te zadnji obrađivani promjenjivi dan je 01.05.2018. U tom danu je bila najveća emulirana snaga, ali slijedno tome i najveća relativna pogreška (Tab. 3.7)

Tablica 3.7. Relativna pogreška za dan 01.05.2018

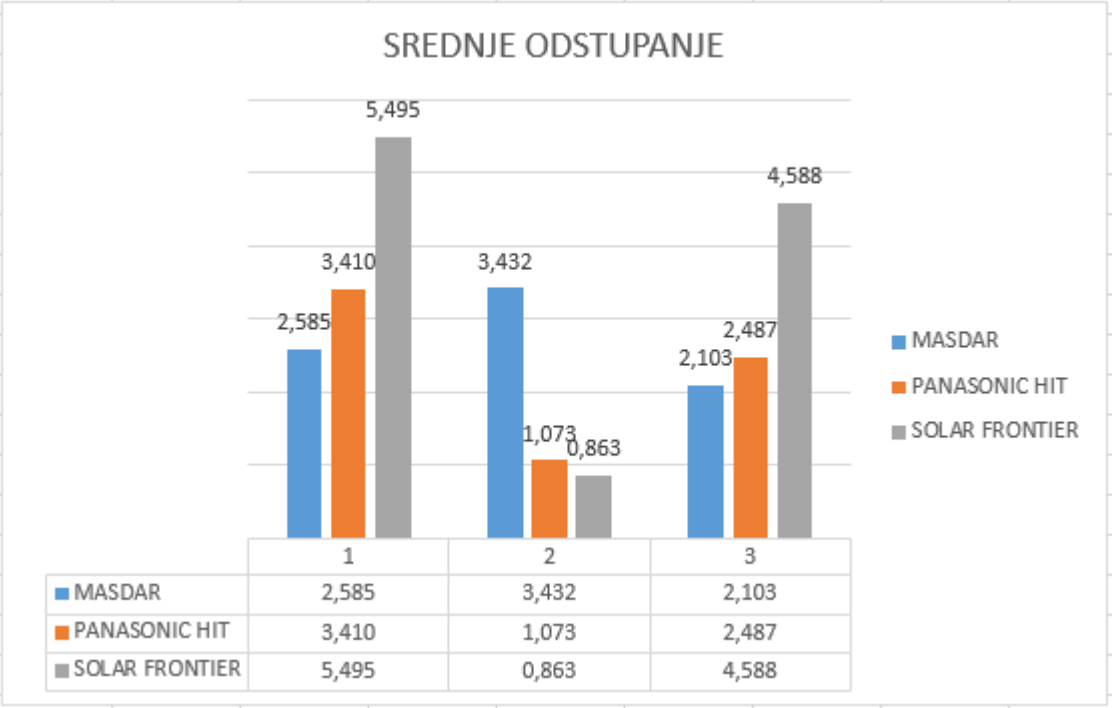
	MASDAR			PANASONIC HIT			SOLAR FRONTIER		
Rb.emulacije	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Wfilt[kWh]	23,202			19,730			24,770		
Wemul[kWh]	22,603	22,566	22,637	19,148	19,129	18,893	23,358	23,272	23,597
Wbroj[kWh]	22,8710	22,8340	22,9650	19,4570	19,5630	19,3630	23,7390	23,4710	23,8510
δ em, fil [%]	2,581	2,741	2,433	2,947	3,045	4,239	5,702	6,047	4,736
δ filt,br [%]	1,425	1,585	1,020	2,947	3,045	4,239	4,163	5,245	3,711

U ovom slučaju ponovno Solar Frontier ima najveće srednje odstupanje koje iznosi 5,495%, također Masdar ima najmanje odstupanje iznosa 2,585%. Panasonic Hit ima odstupanje 3,140% (Tab. 3.8)

Tablica 3.8. Srednje odstupanje za 01.05.2018

	MASDAR			PANASONIC HIT			SOLAR FRONTIER		
δem, fil [%]	2,581	2,741	2,433	2,947	3,045	4,239	5,702	6,047	4,736
δ (0) [%]	2,585			3,410			5,495		

Ukoliko se usporede srednje odstupanja za sva tri dana vidljivo je da u dva od tri slučaja Solar Frontier ima najveća odstupanja emulirane energije od stvarne proizvodnje električne energije. Dok Masdar u jednom slučaju ima najveće odstupanje, a u preostala dva najmanje odstupanje emulirane energije od stvarne proizvodnje. Panasonic Hit je uvijek u srednjim vrijednostima odstupana (Sl. 3.8.)



Slika 3.8. Srednje odstupanje za sve tri tehnologije

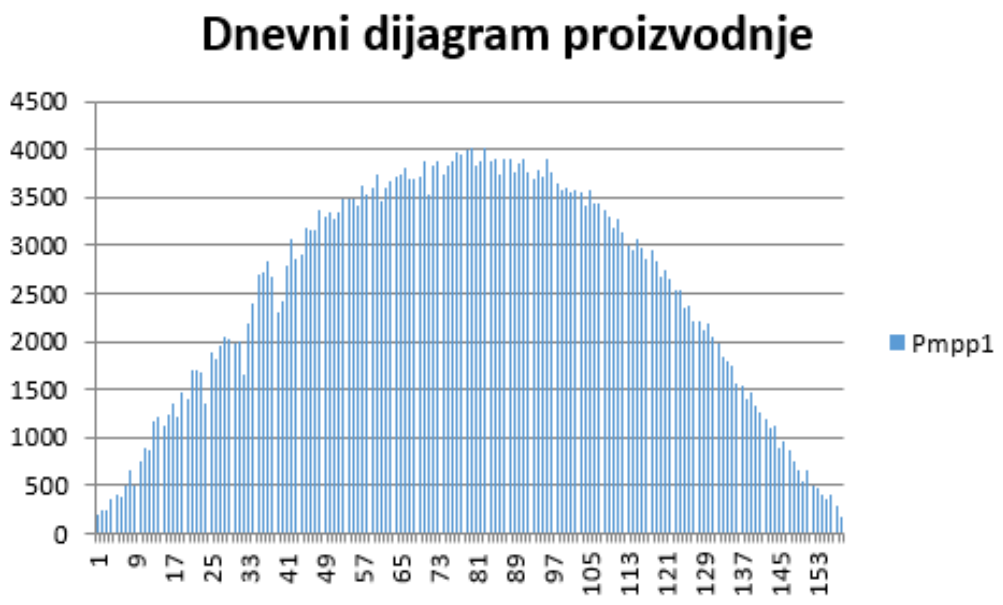
3.2. Emulacija FN sustava 12 kWp

U ovom dijelu rada obavljena je brza emulacija za sunčani dan.

Korištene su tri tehnologije:

- Monokristalni modul: Bisol BMO
- Monokristalni modul: Bisol BMU
- Visokoučinski monokristalni modul: Panasonic Hit

Važno je napomenuti da je u ovome dijelu korištena ukupna instalirana snaga elektrane od 12 kWp. Za 12 kWp uzima se dan 04.06.2017. čiji dnevni dijagram odgovara sunčanom danu.



Slika 3.8. Dnevni dijagram proizvodnje na 5-minutnom vremenu za 04.06.2017.

Uz kreirane podatke dobivene iz izmjenjivača napravljena je skripta pomoću koje je obavljena brza emulacija za ovaj odabrani sunčani dan. Pri odabiru dana pazilo se na sva ograničenja kao što su napon praga 400V, napon praznog hoda 1000 V i struja kratkog spoja 10 A. Pošto zadani dan zadovoljava sve uvjete, obavljeno je niz emulacija kako bi se utvrdila točnost i vjerodostojnost dobivenih rezultata. Nakon završene emulacije podaci su obrađeni i dobivena je konačna tablica s odstupanjima emulirane energije od stvarne proizvodnje električne energije.

Tablica 3.9. Relativna pogreška sunčanog dana

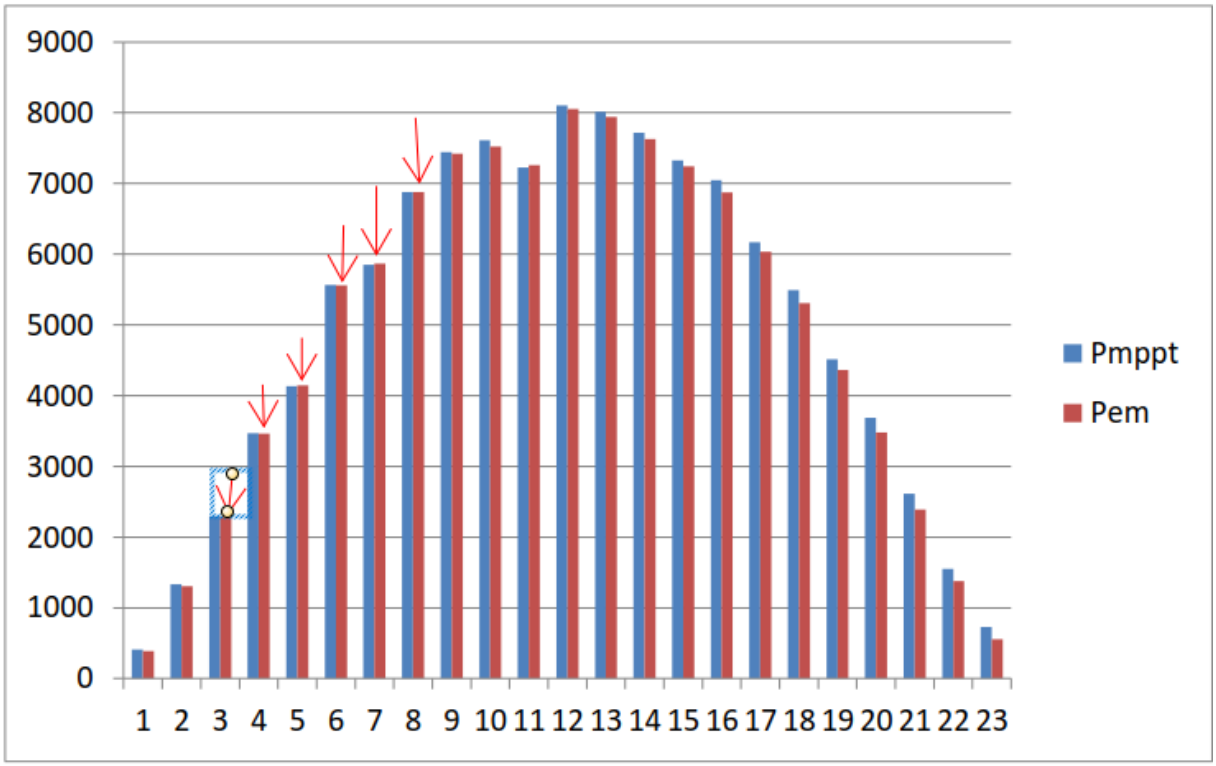
	Bisol BMO			PANASONIC HIT			Bisol BMU		
Rb.emulacije	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Wfilt[kWh]	64,524			67,187			57,432		
Wemul[kWh]	63,135	63,684	63,390	66,119	66,113	66,084	56,592	56,446	56,563
Wbroj[kWh]	63,689	64,03	63,689	66,44	66,44	66,44	56,46	56,803	56,803
δ em, fil [%]	2,1527	1,3018	1,7575	1,5896	1,5985	1,6417	1,4626	1,7168	1,5131
δ filt,br [%]	1,294	0,766	1,294	1,112	1,112	1,112	1,692	1,095	1,095

Najveće srednje odstupanje ima Bisol BMO i iznosi 1,737 %, dok najmanje ima Bisol BMU i iznosi 1,564%. Srednje odstupanje Panasonic Hita iznosi 1,610 %, što je i vidljivo u tablici 3.10.

Tablica 3.10. Srednje odstupanje sunčani dan

	Bisol BMO			PANASONIC HIT			Bisol BMU		
δem, fil [%]	2,153	1,302	1,757	1,590	1,599	1,642	1,463	1,717	1,513
δ (0) [%]	1,737			1,610			1,564		

Kao i kod promjenjivog dana uočeno je da je emulirana energija u određenim trenucima jednaka ili malo veća od stvarne proizvodnje energije. Ipak, ovdje su odstupanja u malim razmjerima, što nam je i povoljno za našu brzu emulaciju. U dobivenom prikazu mogu se uočiti nepravilnosti kao i kod promjenjivog dana (Sl.3.9).



Slika 3.9. Odnos emulirane i stvarne proizvodnje energije

4. ZAKLJUČAK

Brzom se emulacijom smanjuje vrijeme emulacije u odnosu na standardu emulaciju. Za dan 02.09.2018. trajanje standarde emulacije bi trajalo 9 sati, a brzom emulacijom se to napravi za 24 minute. Na ovaj je način moguće raditi procjenu i na mjesečnoj bazi.

Na osnovu preuzetih podataka iz izmjenjivača treba se izvršiti selekcija podataka. Selekcija podataka vršila se tako da se prva vrijednost preko 100 W po stringu uzimala kao početna vrijednost, a zadnja vrijednost od 100 W po stringu kao konačna vrijednost. Izmjenjivač prilikom svake brze emulacije vrši samotestiranje koje u prosjeku traje od 1:15 min do 2:30 min. Prilikom samotestiranja točka nije u položaju maksimalne snage pa su kao rješenje navedenog problema dodane kompenzacijske naredbe. Prilikom dodavanja kompenzacijskih naredbi utvrđeno je da tek nakon 6 minuta točka bude u položaju maksimalne snage. Kako bismo bili sigurno da će izmjenjivač izvršiti samotestiranje i da će točka doći u položaj maksimalne snage, dodano je u svaku skriptu 6 kompenzacijskih naredbi. Vrijeme izvršenja naredbi je 61 sekunda. Pri tom energije od vremenu su najmanja odstupanja emulirane stvarne proizvedene. Zbog različitih tehnologija za koji se htjela procijeniti proizvodnja električne energije, a za iste treba odabrati nazivne snage tih sustava koji su ograničeni ograničenjima istosmjernih programabilnih izvora 1000 V po stingu i 10 A po stringu. Također se mora obratiti pozornost na stvarne karakteristike tih modula u smislu napona praznog hoda i struje kratkog spoja koje su dobiveni iz tehničkih podatak proizvođača. Iz tog razloga preporučena su dva sustava gdje je jedan testiran na sunčanom danu, a drugi na promjenjivom danu. Na primjeru visokoučinskog monokristalnog modula; Panasonic Hit pokazano je detaljno kako se radi emulacija.

Nakon što su obrađeni podaci za ostale tri tehnologije, za sve odabrane dane, dobilo se srednje odstupanje za svaku pojedinu tehnologiju. Napravljena su dva primjera, za sunčani i promjenjivi dan. Za slučaj promjenjivih dana Solar Frontier imao je najveće odstupanje emulirane energije od stvarne proizvedene i to 5,495%.

Za slučaj sunčanih dana najveće srednje odstupanje ima Bisol BMO i iznosi 1.737 %. Razlog tome je da podaci postupno rastu, a i isto tako postupno i padaju. Dok kod promjenjivih dana ima naglih skokova vrijednosti, pa točka nije uvijek u položaju maksimalne snage, potrebno joj je određeno vrijeme za povratak. Bilo je i za očekivati da će u slučaju sunčanih dana srednje odstupanje biti manje nego u slučaju promjenjivih dana.

Iako uz određena odstupanja emulirane energije od stvarne proizvedene energije, brza emulacija je jako korisna. Čak i uz odstupanje od 5,495 % je tehnički prihvatljivo kako bi se moglo brzom emulacijom procijeniti čak i promjenjive dane. U odnosu na standardnu emulaciju primjenom postupka brze emulacije znatno se smanjuje vrijeme emulacije.

LITERATURA

[1] F. Blaabjerg. D. M. lone: Reneeable energy Devices and Systems-State-of-the-Art technology, Reasearch and Development, Challenges and Future Trends elektic Power Components and Systems, 43(12):1319-1328, 2015

[2] Renewable Global Status Report 2018; REN2, dostupno na: http://www.ren21.net/status-of-renewables/ [01.08.2018.]

[3] M. Pal: „Emulacija fotonaponskih sustava korištenjem skripta načina rada“ FERIT, 2017, Osijek, Croatia.

[4] D. Pelin, M. Opačak: „Smart - fast emulation of the photovoltaic system“, International Conference on Smart Systems and Technologies 2016 (SST 2016) 12th-14th October, Osijek, Croatia.

[5] ET-System DC Sources, dostupno na: https://www.et-system.de/en/produkte/applications-special-units/%20dc-sources.html [05.08.2018.]

[6] KACO new energy; Powador 12.0 TL3 INT; Technical data: dostupno na: http://kaco-newenergy.com/fileadmin/data/downloads/products/Powador_12.0-20.0_TL3/Data%20Sheets/DTS_ PW_12-20_TL3_en.pdf [05.08.2018.]

[7] RIZ; EB308, Technical specification; dostupno na: http://www.riz.hr/images/brojila_household/ebt308djelatno.pdf [07.08.2018]

[8] ET-System „LAB – HP“, Technical Handbook, dostupno na: http://www.etsystem.de/en/produkte/manuals-software.html [7.8.2018.]

[9] D. Pelin, J. Jukić Antolović, V. Rapčan, “PV Emulator”, International Journal of Electrical and Computer Engineering Systems. Volume 5 (2014) , Number 1; 21-26.

[10] http://reslab.ferit.hr/MASDAR%20MPV100-S-a-Si.pdf

[11] http://www.panasonic.com/business/pesna/includes/pdf/eco-construction-solution/HIT_Power_SA06_Series_(240W)_Data_sheet-v2.pdf

[12] https://www.solar-frontier.eu/fileadmin/content/downloads/modules/en/20141030/product-overview-s-series-english.pdf

[13] http://www.love-solar.co.uk/wp-content/uploads/BISOL_BMO_250Wp_LoveSolar.pdf

[14]http://www.bisol.com/images/Datasheets/EN/BISOL%20Product%20Specification%20BMU_EN.pdf

SAŽETAK

Opisan je FN emulator i objašnjeni su podsustavi FN emulatora. Za programabilne izvore kao jedan od podsustava emulatora objašnjen je skripta način rada. Uveden je postupak pisanja skripte za brzu emulaciju. Objašnjeno je pisanje skripte i pokretanje emulacije. Napravljena je komparativna analiza brze emulacije za pet različitih tehnologija pri čemu je objašnjeno kako se od tih tehnologa prave FN sustavi i pokazano je odstupanje emulirane od stvarne proizvodnje električne energije.

Ključne riječi: Emulacija, emulirana energija, brza emulacija, FN modulator

ABSTRACT

An FN emulator is described and the FN emulator subsystems are explained. For programmable sources as one of the emulator subsystems, the script mode is explained. A script for fast emulation was introduced. Explanation of script writing and launch of emulation is explained. A comparative analysis of the rapid emulation for five different technologies has been made, explaining how these technologists are realizing FN systems and showing a deviation emulated from actual electricity production.

Keywords: Emulation, Emulated Energy, Fast Emulation, FN Modulator

ŽIVOTOPIS

Zvonko Ćosić rođen je 14.10.1994. u Požegi. Pohađao je Osnovnu školu Stjepana Radića u Čaglinu od 2000. do 2008. godine. Godine 2008. upisuje srednju Tehničku školu u Požegi, smjer elektrotehničar. Srednju školu završava 2012. godine te iste godine upisuje stručni studij elektrotehnike na Elektrotehničkom fakultetu u Osijeku. Godine 2015. završava stručni studij elektrotehnike i upisuje razlikovnu godinu. 2016. godine završava razlikovnu godinu i upisuje diplomski studij, smjer DEB.

PRILOZI

P 3.1. Dobiveni podaci sa izmjenjivača

Copper indium selenide (CIS)								
SOLAR FRONTIER SF-150								
Read specifications								
A* = 1.16375 m^2 *(angle 7°)								
P $_{MPP\ (STC)}$ **= 150 W**								
η $_{MODULE\ (STC)}$ **= 12.2 %**								
FF = 63,13 %								
Vrijeme	**String 1**			**String 2**			**String 1 + String 2**	***T2***
	String 1			**String 2**			**String 1 + String 2**	
8:45:00	2,5632	400,7787	1026,427	2,5632	400,7787	1026,427	2052,853333	0,427083
9:00:00	3,3368	399,7573	1333,788	3,3368	399,7573	1333,788	2667,576	0,4375
9:15:00	3,566133	400,3647	1427,572	3,566133	400,3647	1427,572	2855,144	0,447917
9:30:00	3,6264	397,1323	1439,015	3,6264	397,1323	1439,015	2878,029333	0,458333
9:45:00	3,586933	398,571	1428,911	3,586933	398,571	1428,911	2857,821333	0,46875
10:00:00	5,0064	399,2877	1999,048	5,0064	399,2877	1999,048	3998,096	0,479167
10:15:00	2,549867	399,502	1018,103	2,549867	399,502	1018,103	2036,205333	0,489583
10:30:00	3,192	398,8367	1272,665	3,192	398,8367	1272,665	2545,330667	0,5
10:45:00	4,179733	398,705	1666,301	4,179733	398,705	1666,301	3332,602667	0,510417
11:00:00	3,369067	399,0343	1343,775	3,369067	399,0343	1343,775	2687,549333	0,520833
11:15:00	2,668	399,2063	1064,733	2,668	399,2063	1064,733	2129,466667	0,53125
11:30:00	4,36	399,2083	1740,236	4,36	399,2083	1740,236	3480,472	0,541667
11:45:00	4,707467	399,3887	1880,207	4,707467	399,3887	1880,207	3760,413333	0,552083
12:00:00	2,9712	399,093	1185,559	2,9712	399,093	1185,559	2371,117333	0,5625
12:30:00	3,456	398,6567	1377,756	3,456	398,6567	1377,756	2755,512	0,572917

12:45:00	5,5184	398,7033	2200,257	5,5184	398,7033	2200,257	4400,514667	0,583333
13:00:00	3,216267	399,5273	1283,716	3,216267	399,5273	1283,716	2567,432	0,59375
13:15:00	4,886933	399,1787	1951,005	4,886933	399,1787	1951,005	3902,010667	0,604167
13:30:00	4,988533	399,7207	1993,941	4,988533	399,7207	1993,941	3987,882667	0,614583
13:45:00	4,5552	399,2913	1818,892	4,5552	399,2913	1818,892	3637,784	0,625
14:00:00	3,877333	397,9167	1542,321	3,877333	397,9167	1542,321	3084,642667	0,635417
14:15:00	3,606667	398,1507	1435,8	3,606667	398,1507	1435,8	2871,6	0,645833
14:30:00	3,480267	397,9007	1384,291	3,480267	397,9007	1384,291	2768,581333	0,65625
14:45:00	1,618133	400,1677	647,532	1,618133	400,1677	647,532	1295,064	0,666667
15:00:00	1,786667	399,8903	714,428	1,786667	399,8903	714,428	1428,856	0,677083
15:15:00	1,632	400,089	652,656	1,632	400,089	652,656	1305,312	0,6875
15:30:00	1,776533	400,418	710,9707	1,776533	400,418	710,9707	1421,941333	0,697917
15:45:00	2,081333	399,7083	831,912	2,081333	399,7083	831,912	1663,824	0,708333
16:00:00	1,292	402,202	519,62	1,292	402,202	519,62	1039,24	0,71875
16:15:00	1,564267	400,5603	626,5107	1,564267	400,5603	626,5107	1253,021333	0,729167
16:30:00	1,134933	404,3543	457,9787	1,134933	404,3543	457,9787	915,9573333	0,739583
16:45:00	0,572533	411,56	235,6427	0,572533	411,56	235,6427	471,2853333	0,75
17:00:00	0,3224	408,8163	131,9867	0,3224	408,8163	131,9867	263,9733333	0,760417
17:15:00	0,158133	406,2547	64,11067	0,158133	406,2547	64,11067	128,2213333	0,770833
17:30:00	0,073867	398,9743	29,576	0,073867	398,9743	29,576	59,152	0,78125
17:45:00	0,0272	388,538	10,556	0,0272	388,538	10,556	21,112	0,791667
18:00:00	0,023733	389,424	9,158667	0,023733	389,424	9,158667	18,31733333	0,802083
17:30:00	0,073867	398,9743	29,576	0,073867	398,9743	29,576	59,152	0,8125
17:45:00	0,0272	388,538	10,556	0,0272	388,538	10,556	21,112	0,822917