

UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA RAČUNALNIŠTVO IN INFORMATIKO

Boris Čižman

**Računalniško podprt samostojni
fotonapetostni sistem**

DIPLOMSKO DELO

VISOKOŠOLSKI STROKOVNI ŠTUDIJSKI PROGRAM PRVE
STOPNJE RAČUNALNIŠTVO IN INFORMATIKA

MENTOR:izr. prof. dr.Uroš Lotrič

Ljubljana 2012

Rezultati diplomskega

dela so intelektualna lastnina avtorja in Fakultete za računalništvo in informatiko Univerze v Ljubljani. Za objavljanje ali izkoriščanje rezultatov diplomskega dela je potrebno pisno soglasje avtorja, Fakultete za računalništvo in informatiko ter mentorja.



Št. naloge: 00325/2012

Datum: 03.09.2012

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za računalništvo in informatiko izdaja naslednjo nalogo:

Kandidat: **BORIS ČIŽMAN**

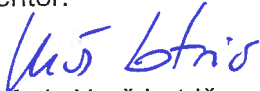
Naslov: **RAČUNALNIŠKO PODPRT SAMOSTOJNI FOTONAPETOSTNI SISTEM
COMPUTER-ASSISTED STANDALONE PHOTOVOLTAIC SYSTEM**

Vrsta naloge: Diplomsko delo visokošolskega strokovnega študija prve stopnje

Tematika naloge:

Izdelajte celostno rešitev za računalniško podprt samostojni fotonapetostni sistem, ki vključuje elemente avtomatizacije in predstavitev delovanja preko spletnega vmesnika. Sistem preizkusite v praksi in ga ovrednotite glede potreb v gospodinjstvih.

Mentor:


prof. dr. Uroš Lotrič

Dekan:


prof. dr. Nikolaj Zimic



IZJAVA O AVTORSTVU DIPLOMSKEGA DELA

Spodaj podpisani Boris Čižman, z vpisno številko **63070435**, sem avtor diplomskega dela z naslovom:

Računalniško podprt samostojni fotonapetostni sistem

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- sem diplomsko delo izdelal samostojno pod mentorstvom izr. prof. dr. Uroša Lotriča
- so elektronska oblika diplomskega dela, naslov (slov., angl.), povzetek (slov., angl.) ter ključne besede (slov., angl.) identični s tiskano obliko diplomskega dela
- soglašam z javno objavo elektronske oblike diplomskega dela v zbirki "Dela FRI".

V Ljubljani, dne 10. Novembra 2012

Podpis avtorja:

Za vodenje in strokovno pomoč pri izdelavi diplomskega dela se zahvaljujem mentorju izr. prof. Urošu Lotriču. Za vzpodbudne besede, strokovno in finančno pomoč se zahvaljujem staršema in sestri za lektoriranje diplomskega dela. Hvala tudi g. Karlu Bravcu iz podjetja Velog in g. Tomažu Pristavu iz podjetja Belmet za tehnično pomoč.

Kazalo

POVZETEK	2
ABSTRACT	3
1. UVOD	4
2. FOTOVOLTAIKA	6
2.1. FOTONAPETOSTNI SISTEMI	6
2.1.1. OMREŽNI SISTEMI	6
2.1.2. SAMOSTOJNI SISTEMI	8
2.2. GRADNIKI SAMOSTOJNEGA FOTONAPETOSTNEGA SISTEMA	8
2.2.1. SONČNE CELICE	9
2.2.2. SONČNI REGULATOR	14
2.2.3. SOLARNI AKUMULATOR	17
2.2.4. RAZSMERNIK	17
2.2.5. VZORČNI SAMOSTOJNI FOTONAPETOSTNI SISTEM	19
3. AVTOMATIZACIJA VZORČNEGA FOTONAPETOSTNEGA SISTEMA	28
3.1. FIZIČNA VGRADNJA GRADNIKOV V VZORČNI SAMOSTOJNI FOTONAPETOSTNI SISTEM	29
3.2. PRIKLJUČITEV IN DELOVANJE VZORČNEGA AVTOMATIZIRANEGA SISTEMA	29
3.3. MERJENJE ELEKTRIČNE ENERGIJE	35
3.4. POSTAVITEV SISTEMA	36
4. IZDELAVA SPLETNE STRANI	40
4.1. ZBIRANJE, RAZVRŠČANJE IN SHRANJEVANJE PRIDOBLENIH PODATKOV	40
4.2. PODATKOVNA BAZA MYSQL	42
4.3. SPLETNA STRAN S PREDSTAVLJENIMI PODATKI	42
4.4. OBJAVA SPLETNE STRANI NA STREŽNIK IIS	45
5. UČINKOVITOST RAČUNALNIŠKO PODPRTEGA FOTONAPETOSTNEGA SISTEMA	46
6. ZAKLJUČEK	49
LITERATURA	50
A. IZVORNA KODA SPLETNE STRANI DEAFULT.ASPX	52
B. IZVORNA KODA SPLETNE STRANI DEFAULT.ASPX.CS	53

Povzetek

Učinkovito pridobivanje električne energije iz sončnega obsevanja kot enega izmed obnovljivih virov energije omogočajo fotonapetostni sistemi, ki predstavljajo pomemben dejavnik za trajnostni razvoj tako slovenskega kot svetovnega gospodarstva. Z veliko gotovostjo lahko rečemo, da bo izkoriščanje sončne energije, ki naj bi bila po ocenah strokovnjakov na razpolago še naslednjih 5 milijard let, v bližnji prihodnosti ena od pomembnih možnosti pridobivanja električne energije.

Cilj diplomske naloge je prikazati uporabnost samostojnih fotonapetostnih sistemov za običajne gospodinske odjemalce električne energije in seznaniti bralce z njihovo enostavnostjo in ekonomičnostjo.

Diplomska naloga obsega predstavitev načrtovanja, razvoja in uporabe računalniško podprtega samostojnega fotonapetostnega sistema. V prvem delu diplomske naloge sta opisana različna tipa sistemov (samostojni in omrežni) ter izgradnja vzorčnega primera samostojnega fotonapetostnega sistema. V drugem delu naloge je predstavljena nadgradnja vzorčnega primera z avtomatizacijo samostojnega sistema, prikazana pa je tudi njegova uporabnost v realnem okolju. Tretji del opiše potek razvoja spletne strani, ki omogoča uporabniško prijazen prikaz podatkov o pridobljeni električni energiji s pomočjo samostojnega fotonapetostnega sistema v realnem času. V zaključku se bom dotaknil še učinkovitosti fotonapetostnega sistema v gospodinjstvu in težav, ki se lahko pojavijo pri uporabi teh sistemov.

Ključne besede:

Fotovoltaika, fotonapetostni sistemi, regulator, krmilnik, podatkovna baza, spletna stran.

Abstract

Efficient generation of electricity from solar power is enabled by photovoltaic systems, which are an important factor for the sustainable development of the Slovenian as well as of the world economy. Since experts predict that solar energy will be available for the next 5 billion years, we can safely assume that the conversion of solar energy to electricity will become a more and more important source of electricity generation.

A goal of this thesis is to show the applicability of the standalone photovoltaic system for ordinary households. A purpose of the thesis is to highlight the reduction in consumption of electricity produced from fossil fuels and to acquaint readers with the simplicity and economy of photovoltaic systems.

The thesis is devoted to a presentation of design, development and use of a sampled computer-assisted independent photovoltaic system. The first part of the thesis describes different types of photovoltaic systems (standalone and network) and what a construction kit for a photovoltaic standalone system looks like. The second part describes an upgrade to automate a standalone photovoltaic system and shows its applicability in the real world, and the third part shows development of a web page that allows a user friendly presentation of real-time on electricity generated by the standalone photovoltaic system. The final part of the thesis highlights efficiency and some of the problems that emerged while designing, building and using the sampled system.

Key words:

Photovoltaic, photovoltaic systems, regulator, controller, database, website.

1. Uvod

Sonce obseva naš planet in okolico. Sončna energija, ki jo oddaja, je glavni vir energije, ki jo dobimo iz vesolja.

Le redko se zavedamo, da je sončna energija zelo pomembna za naš planet. Pravzaprav brez nje življenja, kot ga poznamo, sploh ne bi bilo, saj z njeno pomočjo potekajo vsi naravni procesi. Lahko jih vidimo povsod; sončni žarki segrevajo ozračje, posledično nastanejo zračni tokovi (veter) in tekoča voda, sončni žarki segrevajo morja in s tem posledično dobimo kroženje morskih tokov (oceanografija). V živalskem svetu plazilcev, na primer, ti svojo telesno temperaturo zvišajo z njegovim izpostavljanjem sončnim žarkom.

Človek že od nekdaj teži k temu, da bi doimel delovanje narave in s tem tudi sonca. Zaradi človeške radovednosti je francoski fizik Edmund Becquerel že v sredini 19. stoletja odkril fotoelektrični učinek, ko je določene materiale izpostavil svetlobi in dobil majhen električni tok. Prvo fotonapetostno celico je izumil Charles Fritts konec 19. stoletja. Na železno ploščo je dodal plast selena in nanjo dodal tanko plast zlata. [1]

Zaradi majhne učinkovitosti teh sončnih celic ter nizke cene nafte in plina je postajala industrija vse bolj njuna odvisnica. Sledil je zaton tehnologije fotovoltaike. Preteči je moralo skoraj celo stoletje, da sta dva znanstvenika, Calvin Fuller in Gerald Pearson, po naključju ustvarila električni tok z mešanjem dveh različnih kovin na osnovi silicija. S prvo naftno krizo v sedemdesetih pa se je spet pričel hitrejši razvoj fotonapetostnih celic.

Narava sama nam ponuja lep primer izkoriščanja sončnega obsevanja, ki ga lahko primerjamo s fotonapetostnim sistemom. Govorimo o fotosintezi. Fotosinteza s pomočjo sončne energije in kemičnih reakcij pretvarja ogljikov dioksid v kisik. Pri fotonapetostnih sistemih pa s sončnim obsevanjem in s pomočjo lastnosti kemijskih elementov pretvorimo sončno energijo v električno.

Fotonapetostne sisteme delimo na samostojne in omrežne. Omrežni fotonapetostni sistemi so tisti sistemi, ki proizvedeno sončno električno energijo pošiljajo v distribucijsko omrežje. Zato ti niso uporabni, če želimo proizvedeno električno energijo porabiti za lastne potrebe (lastne porabnike energije). Pri samostojnih sistemih pa proizvedene sončne električne energije ne pošiljamo neposredno na distribucijsko omrežje, ampak jo shranjujemo v za to namenjene naprave (akumulatorje). Proizvedeno električno energijo uporabimo za lastne potrebe.

Pričujoče diplomsko delo v praktičnem delu vključuje računalniško podprt samostojni fotonapetostni sistem. V drugem poglavju diplomskega dela opisujemo potrebne gradnike za

sestavo samostojnega fotonapetostnega sistema. Kasneje je predstavljen izračun dimenzioniranja samostojnega sistema in vzorčni primer izgrajenega samostojnega fotonapetostnega sistema. Pri samem načrtovanju in izgradnji samostojnega fotonapetostnega sistema smo naleteli na dve pomanjkljivosti. Prvi je, da v samem sistemu ni vedno dovolj električne energije (sončne celice je ne proizvajajo vedno v zadostnih količinah in akumulatorji se spraznijo). Tako uporabniki ostanejo, na primer, brez luči v hiši. Da bi se temu ognili, je v tretjem poglavju opisan sistem, ki našemu zgrajenemu samostojnemu sistemu doda takšno programsko logiko in gradnike, ki bodo v primeru izpada električne energije na samostojnem sistemu avtomatsko preklopili na distribucijsko omrežje in obratno. Druga pomanjkljivost samostojnega fotonapetostnega sistema pa je, da nimamo podatkov o proizvedeni električni energiji. Zato smo v četrtem poglavju opisali postopek, ki našemu samostojnemu sistemu doda gradnike, ki bodo te podatke zbirali, v nadaljevanju prenesli na osebni računalnik in jih prikazali na v za ta namen posebej postavljeni spletni strani. V petem poglavju je prikazana učinkovitost računalniško podprtega samostojnega fotonapetostnega sistema.

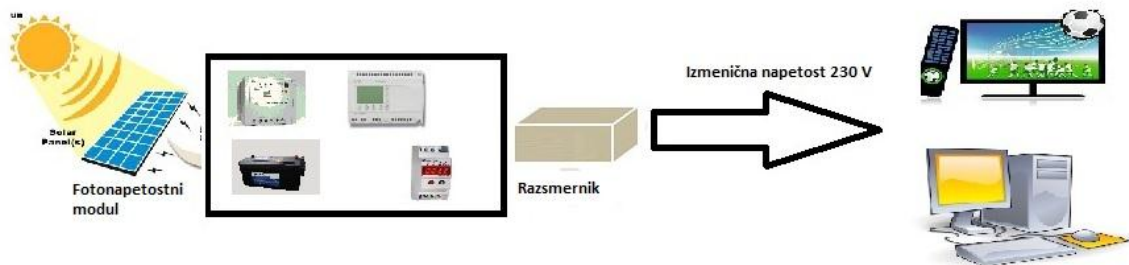
2. Fotovoltaika

Fotovoltaika (angl. *photovoltaics*) je termin, ki pomeni pretvorbo sončne energije v električno energijo, ali drugače rečeno, fotovoltaika preučuje proces, pri katerem se svetloba zaradi fotonskega učinka (lastnosti silicijevih atomov) pretvori v enosmerno električno energijo s pomočjo sončnih celic.

Električna energija, ki je pridobljena s fotonskim učinkom, se uporablja za različne namene: za električna omrežja (omrežni in samostojni fotonapetostni sistemi), oddaljene sisteme (sateliti, roboti na oddaljenih planetih), prevozno industrijo (letala, avtomobili, vlaki), javno infrastrukturo (elektronsko-vizualne opozorilne table, javna razsvetljava) in za elektronske proizvode (ura, računalno, telefoni). Fotovoltaika je v tem trenutku ena najhitreje razvijajočih se panog na svetu (povprečna letna rast je 30-odstotna). Konstanten razvoj in večanje izkoristka fotonapetostnih modulov sta prispevala tudi k padcu cen fotonapetostnih sistemov. [2]

2.1. Fotonapetostni sistemi

Skupek gradnikov, kot so fotonapetostni moduli, regulatorji, razsmerniki ipd. sestavlja fotonapetostni sistem. Drugače povedano: vsak fotonapetostni sistem je samostojen, neodvisen od drugih sistemov, in ima svoje lastne vhodno-izhodne elemente ter lastno vmesno funkcijo, ki preoblikuje in regulira vhod tako, da je primeren za izhod. Primer na sliki 2.1:



Slika 2.1 Prikaz fotonapetostnega sistema

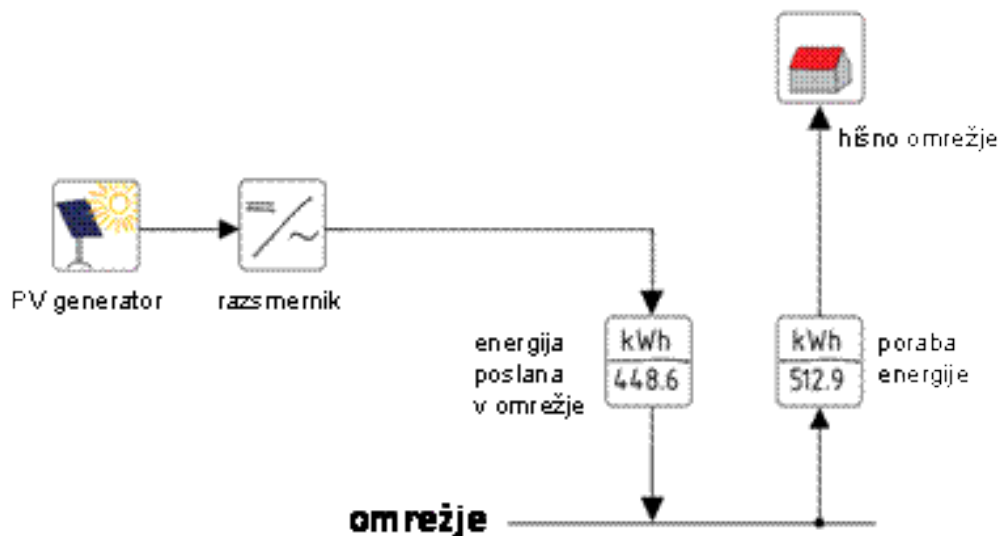
2.1.1. Omrežni sistemi

Omrežni sistemi (angl. On-grid) sončno energijo pretvorijo v električno energijo in jo pošiljajo neposredno v distribucijsko omrežje. To so tako imenovane sončne elektrarne, ki delujejo kot običajne elektrarne (primer hidroelektrarne). Omrežne sisteme naprej delimo na razpršene ali mikro elektrarne (primer sončne strehe na zasebnih hišah) in centralne (primer

velika polja sončnih elektrarn). Tako elektrarno lahko zgradi vsak, ki je finančno zmožen in ima primerno površino za njeno umestitev.

Ključno pri takem sistemu je, da električno energijo, ki jo pošljemo v distribucijsko omrežje, prodamo električnemu distributerju za višjo ceno, kot pa jo odkupujemo. Vendar pa omrežni sistemi proizvedeno električno energijo pošiljajo neposredno v distributerjevo omrežje, kar pomeni, da proizvajalec sončne električne energije do nje nima neposrednega dostopa. Kupovati jo mora od distributerja. Zato so omrežni sistemi primerni za velike centralne sončne elektrarne, kjer ni lastne potrebe po električni energiji. Precej manj pa so primerni za majhne, razpršene sončne elektrarne, kjer je lastna potreba po električni energiji obvezna.

Gradnikov omrežnih fotonapetostnih sistemov (slika 2.2) je veliko, a v osnovi so si med seboj podobni. Vsak omrežni sistem ima fotonapetostne module in razsmernik za pretvorbo enosmerne napetosti v omrežno napetost ter števec električne energije, poslani v omrežje. [3]



Slika 2.2 Princip delovanja omrežnega sistema [3]

Investicija v omrežne sisteme je smiselna le takrat, ko je njena predvidena moč nad 10 kW. Investicija se nam v tem primeru povrne v približno desetih letih. Če bi moč elektrarne povečali na 20 kW, bi se investicija povrnila v obdobju dobrih 8 let itd. [4]

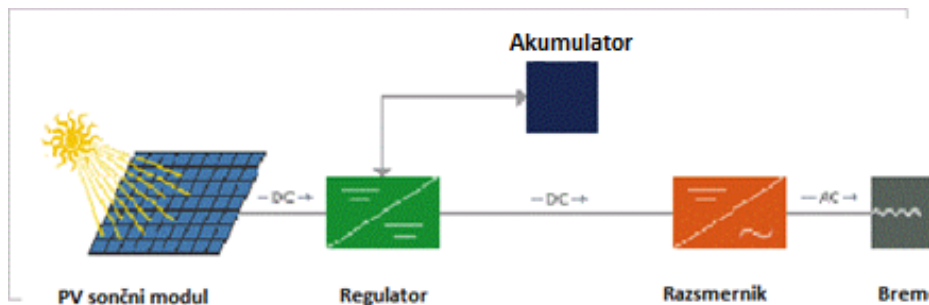
V Sloveniji večina omrežnih sistemov spada v kategorijo razpršenih sistemov, njihova kumulativna moč je bila leta 2011 ocenjena na 90 MW. V Nemčiji je kapaciteta vseh fotonapetostnih sistemov v letu 2011 znašala 25 GW. Celotna proizvedena sončna električna energija v letu 2011 je bila 18 TWh, kar je zadostovalo za 3,2 odstotka celotne potrebe po energiji. V prvi polovici 2012 se je odstotek povečal že na 5,3. [5]

2.1.2. Samostojni sistemi

Samostojni fotonapetostni sistemi (slika 2.3) proizvedeno električno energijo ne pošiljajo neposredno v distribucijsko omrežje, pač pa se jo uporabi za lastne porabnike (žarnice, hladilniki, televizija, internetni modemi ipd.). Taki sistemi so, za razliko od omrežnih sistemov, modularne narave, saj lahko dodajamo vedno nove sončne module in s tem povečujemo moč sistema. Samostojni sistemi tudi omogočajo napajanje porabnikov, ki potrebujejo enosmerno napetost. A v večini primerov je za napajanje porabnika potrebno enosmerno napetost pretvoriti v izmenično napetost (na nazivno napetost distribucijskega omrežja).

Tak sistem shranjuje električno energijo v za to namenjene gradnike sistema – akumulatorje. Če pa je električne energije toliko, da niti akumulatorji ne zadostujejo več, pa še vedno obstaja možnost, da se jo posredno pošilja v distribucijsko omrežje. V Sloveniji ta možnost še ni na voljo.

Uradnih podatkov o tem, koliko je pri nas samostojnih sistemov, ni, kar je tudi logično, saj so taki sistemi majhni, zato za njihovo postavitvev in obratovanje dokumentacija ni potrebna. Starejši samostojni sistemi so se sprva uporabljali predvsem v odročnih objektih. Danes pa se vse več uporabljajo v stanovanjskih hišah, njihov namen pa je zmanjšati mesečni strošek porabe električne energije. [3]



Slika 2.3 Prikaz delovanja samostojnega fotonapetostnega sistema

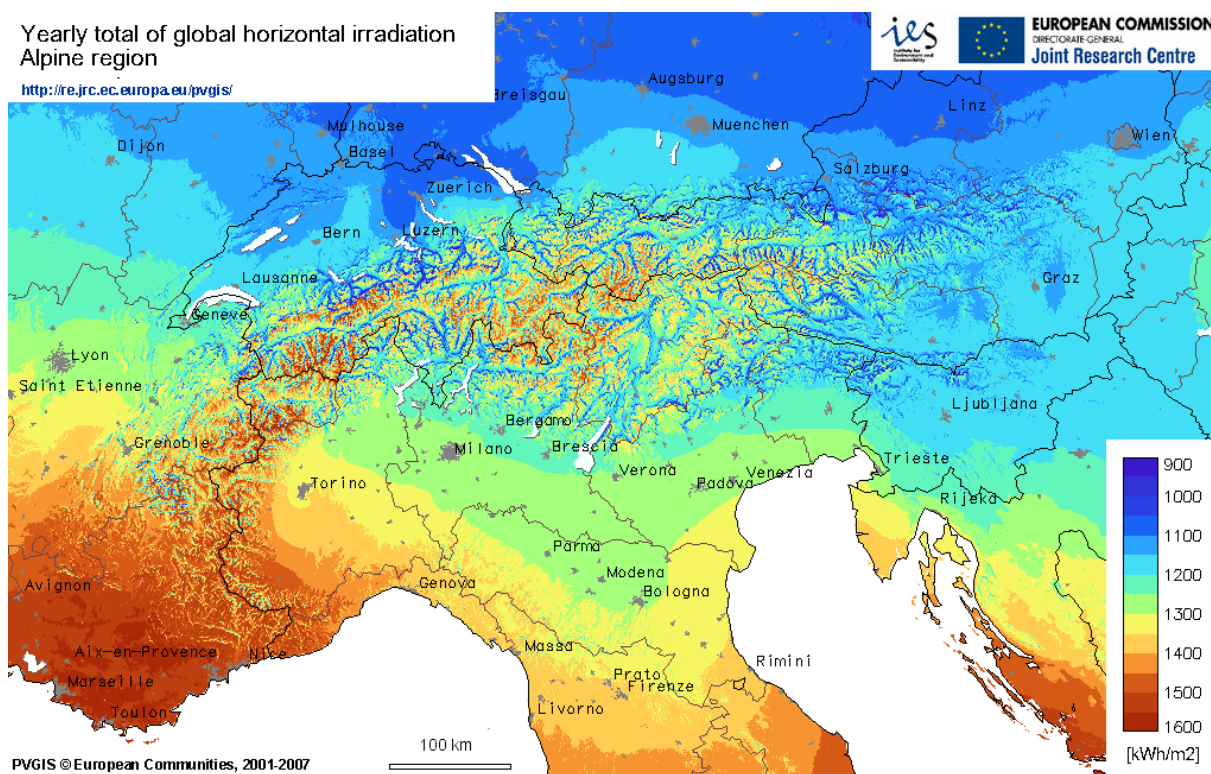
2.2. Gradniki samostojnega fotonapetostnega sistema

Za delovanje samostojnega fotonapetostnega sistema potrebujemo fotonapetostni modul, regulator in akumulator. Sistem s temi gradniki bi že oddajal enosmerno električno napetost. Vendar pa so današnji porabniki, kot so luči in osebni računalniki izdelani tako, da delujejo na napetosti, ki jo dobimo od električnega distributerja (izmenična električna napetost). Zato je

takemu sistemu potrebno dodati tudi razsmernik, ki pretvarja enosmerno električno napetost v izmenično napetost, podobni distribucijski.

2.2.1. Sončne celice

Fotonapetostne ali sončne celice so edini vir energije v fotonapetostnih sistemih. Če si pogledamo sliko 2.4, vidimo, da v Sloveniji na kvadraten meter podlage pridobimo letno 1.200 kWh sončne energije (sončno obsevanje), merjeno z laboratorijskimi pogoji opisanimi v standardih IEC 61215, IEC 61646 in UL 1703. Konkretno to pomeni, da bi dnevno lahko pridobili 3,2 kWh električne energije. Tako bi današnji sončni modul z izkoristkom med 12 in 18 odstotki in velikostjo 1,62 m², dnevno proizvedel med 700 Wh in 1.000 Wh električne energije. Dejanska dnevna proizvedena električna energija pa lahko kar precej variira od izračunane, saj na njo vpliva kar nekaj faktorjev (na primer ali je dan sončen ali dežuje, ali in koliko je svetloba difuzna ...). [6] [7]

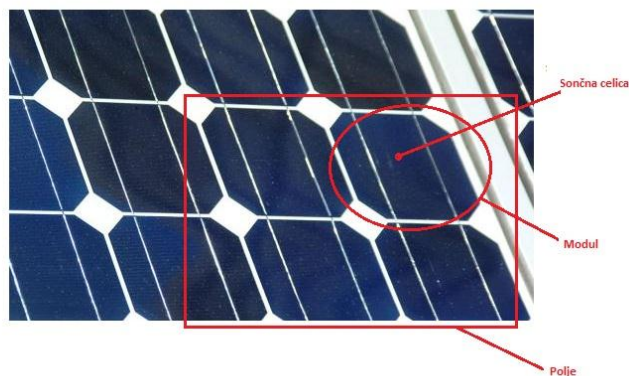


Slika 2.4 Letno sončno obsevanje v Evropi (Slovenija ima turkizno barvo: 1200 kWh/m²) [6]

Fotonapetostne celice so izdelane iz silicija, ki se uporablja tudi v računalniški tehnologiji. Čeprav je silicija na pretek, so stroški proizvodnje sončnih celic (tako kot pri računalniški tehnologiji) še vedno precej visoki, saj njihova izdelava poteka v izoliranih prostorih. Fotonapetostne celice so sestavljene iz dveh delov silicija. Ko sončna energija s fotonskim

učinkom ustvari napetost med njima, in če je priklopljeno breme (breme je porabnik električne energije, ki sklone električni tokokrog), začne teči električni tok.

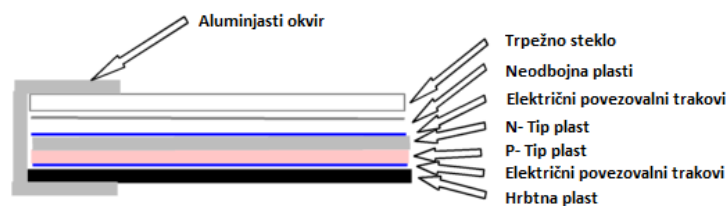
Sončne celice so med seboj povezane v tako imenovani modul, ki je običajno zapečaten s steklom, drži pa ga okvir. Celice v modulu so med seboj povezane zaporedno in vzporedno, kar ustvari polja napetosti z referenčno 12 V / 24 V napetostjo. Ker pa takemu referenčnemu polju napetost zelo niha (od 0 V do 16 V), ni primerno nanj neposredno povezovati 12 V akumulator, zato se doda regulator. Več sončnih modulov je povezanih v polje sončnih modulov (slika 2.5).



Slika 2.5 Sestava sončnega modula

Da bi razumeli delovanje sončne celice, si moramo naprej ogledati sestavo sončnega modula. Na sliki 2.6 vidimo, da je vsaka celica sestavljena iz dveh plasti dopiranega silicija (tipa-p in tipa-n), ki sta med seboj v stiku in tako oblikujeta spoj.

Sončne celice so nameščene na trdi hrbtni plošči, medtem ko mreža električnih priključkov leži nad in pod obema plastema. Električni povezovalni trakovi gredo od dna ene celice na vrh naslednje in povezujejo celice v zaporedno vezavo. Nad plastjo mreže električnih priključkov je dodana odbojna plast za povečanje absorpcije sončne svetlobe. Na koncu je dodana trpežna plast stekla, vse skupaj pa je zapečaten v aluminijev okvir. Sončna celica je zelo tanka, v premeru meri približno 100 mm, njena maksimalna napetost je 0,7 V, maksimalna proizvedena moč celice pa je pri napetosti 0,4 V. [8]

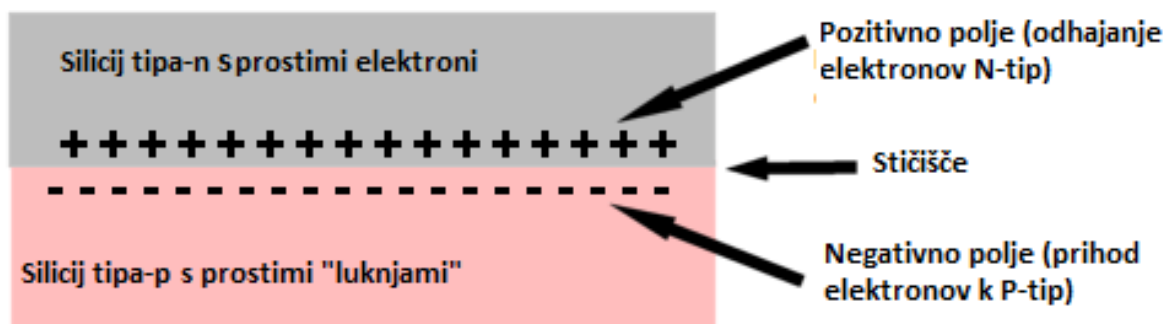


Slika 2.6 Zgradba sončne celice [8]

Kako delujejo sončne celice? Kristalno čisti silicijevi atomi tvorijo mrežo. Atomi imajo jedro, ki vključuje pozitivno nabite protone, okoli jedra pa v plasteh oziroma lupinah krožijo negativno nabiti elektroni. Ker zunanja lupina elektronov ni polna, si s sosednjimi atomi deli elektrone. Tako več atomov gradi kristal. Ti elektroni imajo trdno vez in se težko gibljejo.

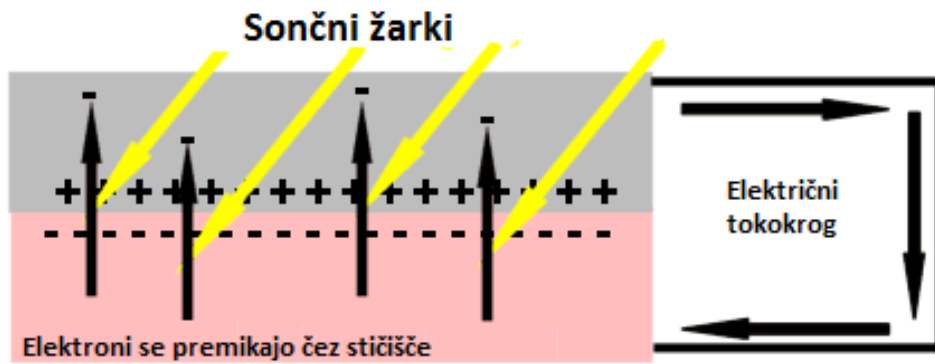
Kristalu silicija lahko v majhnih količinah dodamo ali dopiramo druge elemente. Če mu tako, na primer, dodamo element, ki ima v zunanji ovojnici več elektronov, kot jih ima silicij, dobimo negativne prosto nabite elektrone, in dobimo silicij tipa-n. S tem smo ustvarili polprevodnik in bomo s prostimi elektroni prevajali električni tok bolje, kot bi to delali, če bi imeli čisti silicij. In obratno, če dodamo element z manj elektronov v zadnji lupini, kot jih ima čisti silicij, dobimo silicij tipa-p. S tem pridemo do območja tako imenovane luknje, kjer manjkajo elektroni (proste luknje) in s tem dobimo silicij s pozitivno nabitostjo.

V solarni celici (slika 2.7) sta silicij tipa-n in tipa-p v stiku drug z drugim. Elektroni se premaknejo k stičišču tipa-n in tipa-p, saj jih privlačijo bližnje luknje tipa-p. Stičišče deluje kot ovira, da se elektroni ne premaknejo naprej, in tako nastane električno polje. [8]



Slika 2.7 N-tip in P-tip Silicija [8]

Če sončna celica (slika 2.8) absorbira sončno energijo, bo ta energija porinila elektrone čez stičišče. V primeru sklenjenega električnega kroga med obema tipoma silicija bodo elektroni stekli čezenj nazaj, od koder so začeli, in nadaljevali v neskončnost.



Slika 2.8 Električni tokokrog sončne celice [8]

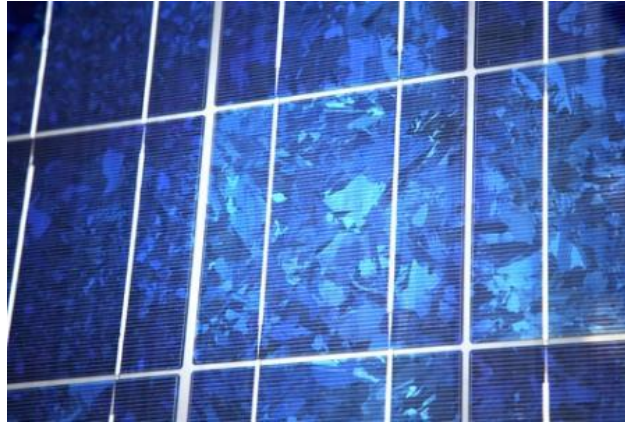
Poznamo tri osnovne oblike zgradbe sončnih modulov, vsi pa imajo za osnovo silicijevo tehnologijo. Osnovne oblike so: monokristalne sončne celice, polikristalne sončne celice in amorfne sončne celice. [8]

Monokristalne celice (slika 2.9) so odrezane od enega silicijevega kristala in tako dejansko predstavljajo rezino kristala. Imajo gladko teksturo, z očesom pa lahko vidimo debelino rezine. Te celice so najbolj učinkovite, a hkrati najdražje za izdelavo. Poleg tega so precej toge, zato morajo biti vgrajene v trden okvir.



Slika 2.9 Monokristalne celice

Polikristalne celice (slika 2.10) so izrezane iz bloka silicija, sestavljenega iz velikega števila kristalov. Imajo pegasti odsevni videz in tudi tu lahko vidimo debelino rezine. Te celice so nekoliko manj učinkovite, a cenejše za izdelavo. Je pa tudi te celice potrebno vgraditi v trden okvir.



Slika 2.10 Polikristalne celice

Amorfne celice (slika 2.11) so izdelane tako, da postavimo tanko amorfno plast (ne kristali) silicija na veliko plast po površini. So manj učinkoviti in stroški za izdelavo so manjši. Zaradi amorfne narave tankega sloja je taka celica fleksibilna in, ker je proizvedena na fleksibilni površini, je fleksibilen celoten sončni modul. Ena od karakteristik amorfni celic je tudi, da se njihova moč s časom zmanjšuje, še posebej v prvih mesecih delovanja. Realno moč amorfni celic tako dobimo šele po nekaj mesecih, ko se le-te stabilizirajo. [8]



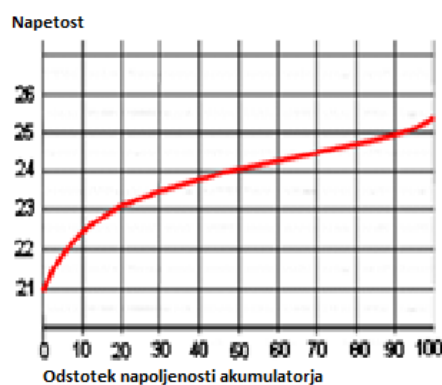
Slika 2.11 Amorfne celice

2.2.2. Sončni regulator

Če bi akumulator neposredno obremenili s fotonapetostnim modulom, bi ga zaradi velikega nihanja napetosti uničili. Poleg tega bi proizvedeno električno energijo pošiljali nazaj na sončni modul in ga s tem poškodovali. Da bi se izognili taki nevarnosti, je potrebno fotonapetostnem sistemu dodati regulator. Ta opravlja naslednje funkcije, pomembne za delovanje fotonapetostnega sistema: [9]

- skrbi za polnjenje;
- niskonapetostni izklop bremen (ang. Low-voltage load disconnect LVD) – zmanjšuje poškodbe baterij s preprečevanjem pretiranega praznjenja akumulatorja;
- preprečuje uhajanje električne energije nazaj na sončne module;
- sistem spremljanja – analogni ali digitalni merilni zaslon, lučke in/ali opozorilni alarmi;
- zaščiti pred velikimi tokovi;
- opravlja avtomatski nadzor stranskih obremenitev, nadzor nad lučmi, vodnimi črpalkami in drugimi obremenitvami s časovniki ali stikali;
- opravlja temperaturno kompenzacijo – sistem, ki spreminja napajalno napetost glede na temperaturo v prostoru, v katerem se nahaja akumulator.

Ko sprejemamo energijo iz akumulatorja in je ta skoraj prazen, bo regulator takoj pričel z regulacijo med sončnim modulom in akumulatorjem. To bo počel, dokler napetost ne bo preseгла vnaprej definiranega nivoja. Če imamo, na primer, 24 V sistem, bo regulator napajal akumulator do 30 V maksimalne napetosti. Na sliki 2.12 vidimo, da se maksimalna napoljenost akumulatorja giblje med 24,5 V in 25,5 V, ampak to je akumulator, ki je v stanju mirovanja (se ne polni).



Slika 2.12 Odstotek napoljenosti akumulatorja [8]

V primeru, ko napajalna napetost preseže 30 V, regulator preneha z napajanjem akumulatorja z namenom preprečevanja preobremenitve akumulatorja. To pa še ne pomeni, da je

akumulator v celoti napolnjen. Zato bo regulator akumulatorju pričel pošiljati kratke napetostne impulze in ga s tem v celoti napolnil.

Glavna razlika med regulatorji je v tem, za kakšne fotonapetostne sisteme ga uporabimo (samostojne ali omrežne). Zato je ključni izbor pravilnega regulatorja odvisen od višine vhodne napetosti iz sočnih modulov (če jih imamo veliko, pomeni, da bo napetost visoka), ali je v sistemu predviden gradnik za shranjevanje električne energije in kakšen je maksimalni polnilni tok (največji tok, ki ga proizvajajo sončni moduli).

Polnilni regulatorji imajo svoj lasten nadzorovani izhod enosmerne napetosti, ki ga lahko uporabimo v sistemih, kjer se uporablja enosmerna napetost, lahko pa tudi priključimo razsmernik za napajanje izmeničnih porabnikov. V tak sistem je vgrajena kontrolna enota, ki prekine dobavo električne energije v primeru prenizke napetosti v akumulatorju.

Ta nadzorovan izhod enosmerne napetosti verjetno ne bo dovedel zadosti električne moči, da bi bil sposoben razsmerniku zagotoviti zadostno električno moč. Zato se ta priključi neposredno na akumulator, kar pa posledično pomeni, da mora imeti razsmernik svojo lastno kontrolno enoto.

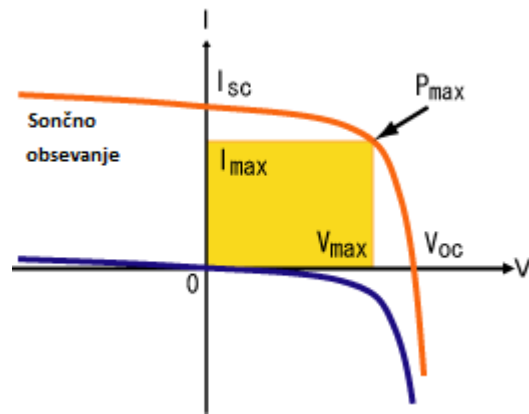
Polnjenje s pulzno-širinsko modulacijo

Kot smo omenili zgoraj, bi preprosti regulatorji ob prekoračitvi maksimalne napajalne napetosti prenehali z napajanjem in z njim ponovno začeli, ko bi napetost padla pod nivo. Večina današnjih regulatorjev pa uporablja tako imenovano pulzno-širinsko modulacijo ali PWM (angl. Pulse Width Modulation). Ko regulator zazna, da je bila presežena kritična meja običajnega napajanja akumulatorja, prične s pomočjo modulacije PWM pošiljati kratke impulze v različnih časovnih intervalih z namenom polnjenja akumulatorja do maksimuma.

Polnjenje s sledenjem točke maksimalne moči

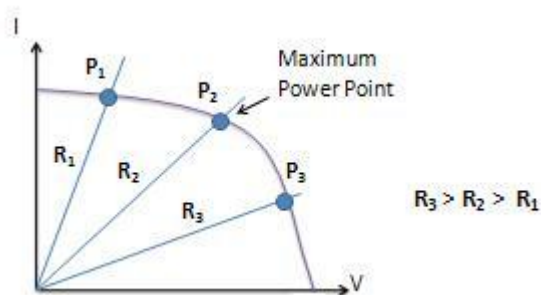
Nova tehnologija napajalnega regulatorja je sledenje točke maksimalne moči (angl. Maximum Power Point Tracker - MPPT), ki izboljša učinkovitost izkoriščanja sončnih modulov v različnih vremenskih pogojih.

Sledenje točke maksimalne moči je algoritem, vključen v regulatorje, in se uporablja za iskanje ter izkoriščanje točke maksimalne moči na sončnih modulih v različnih pogojih (dež, difuzna svetloba, jutranja/večerna svetloba ...). Maksimalna moč variira glede na trenutne pogoje sončnega obsevanja, temperaturo zraka in temperaturo sončnih modulov. Tok in napetost, pri kateri sončni modul proizvede maksimalno moč, se imenuje točka maksimalne moči, njena lokacija pa ni poznana. Na sliki 2.13 vidimo oranžno krivuljo, ki predstavlja sončno obsevanje, in rumeno polje, ki predstavlja sledenje trenutne maksimalne točke P_{max} .



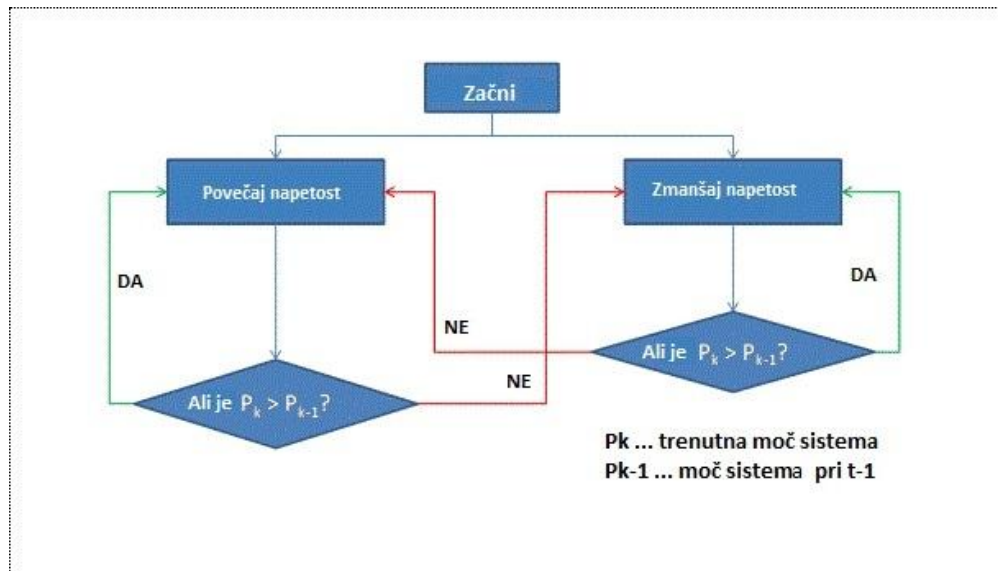
Slika 2.13 Sledenje točke maksimalne moči [10]

V primeru, da se sončno obsevanje zmanjša, se poviša napetost in zmanjša tok, ter obratno, če je sončno obsevanje veliko, se zmanjša napetost in poveča tok (slika 2.14).



Slika 2.14 Prikaz sledenja točke maksimalne moči pri različnem sončnem obsevanju [10]

Vzbujaj in opazuj (slika 2.15) je eden od načinov, pri katerem spreminjamo delovno napetost ali tok, pridobljen iz sončnih modulov, toliko časa, dokler ne dobimo točke maksimalne moči sončni modulov. Če, na primer, povečujemo napetost na sončnem modulu, se povečuje izhodna moč modula, zato sistem povečuje obratovalno napetost, dokler ta ne začne upadati. Ko se to zgodi, se napetost zmanjša in se vrne na prejšnjo, najvišjo vrednost izhodne moči. Ta proces se nadaljuje, dokler ni dosežena točka največje moči. Zato moč niha okrog največje vrednosti moči, dokler proces ne poišče točke maksimalne moči. Način vzbujaj in opazuj je najpogosteje uporabljena metoda MPPT, saj je enostavna za izvedbo. [10]



Slika 2.15 Prikaz uporabe koncepta vzbujaj in opazuj [10]

2.2.3. Solarni akumulator

Akumulatorji v samostojnih fotonapetostnih sistemih se uporabljajo za shranjevanje električne energije. V primeru, ko sončni moduli ne oddajajo zadosti električne energije, se jo odvzema iz akumulatorjev. Najpogosteje se uporablja svinčene akumulatorje, ki morajo biti zgrajeni tako, da vzdržijo prekomerno ciklično praznjenje. Svinčene celice imajo nazivno napetost 2 V (odvisno od stanja napolnjenosti). Te celice so povezane v serijo, ki proizvedejo 12 V, 24 V ali 48 V napetost.

Globoko ciklično praznjenje je najpogostejši problem, ki se pojavi v samostojnih sistemih, saj se bo akumulator v času sončnega dne najverjetneje popolnoma napolnil in kasneje popolnoma izpraznil, predno se bo spet ponovno napolnil. Ciklično praznjenje je proces, v katerem se akumulatorji polnijo in praznijo. V primeru, ko se napajanje iz sončnih modulov prekine, se proces praznjenja pospeši (globoko praznjenje). Za preprečitev preglobokega praznjenja se doda kontrolno enoto.

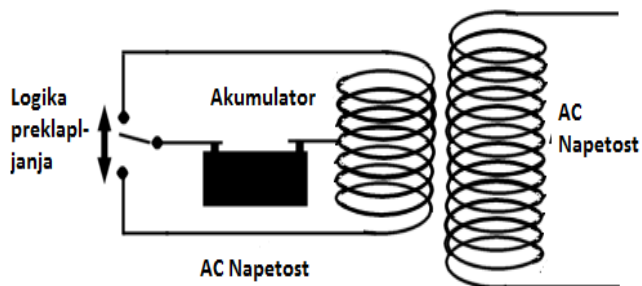
2.2.4. Razsmernik

Razsmernik pretvarja proizvedeno enosmerno električno napetost v izmenično napetost podobno tisti, ki nam jo pošilja distributer omrežja (zagotavljanje izmenične napetosti za vse gospodinjске naprave). Večina razsmernikov se priklaplja neposredno na akumulatorje, v nekaterih primerih pa posredno prek kontroliranega izhoda regulatorja.

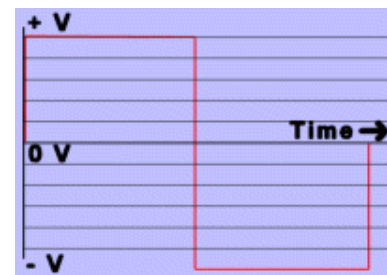
Delovanje

Razsmernik je sestavljen iz treh delov (slika 2.16): (1) logike, ki preklaplja polariteto enosmerne napetosti in v sistem uvede nihanje s frekvenco 50 – 60 Hz, (2) primarne tuljave in

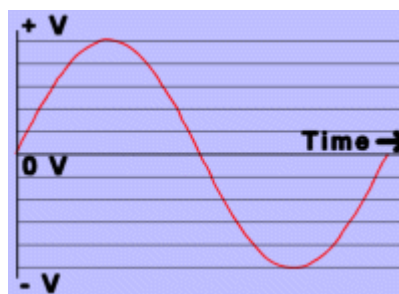
(3) sekundarne tuljave. Izmenični tok skozi primarno tuljavo ustvari magnetno polje. To polje povzroči v sekundarni tuljavi izmenični tok z višjo napetostjo. Ta postopek proizvede pravokotno obliko izmeničnega signala (slika 2.17).



Slika 2.16 Princip delovanja razsmernika [8]



Slika 2.17 Pravokotna oblika izmeničnega signala [8]

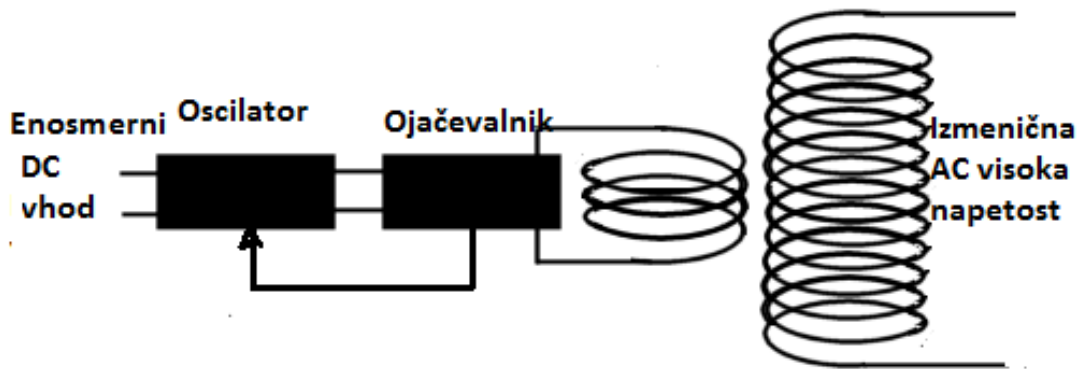


Slika 2.18 Čisti sinusni izmenični signal [8]

Zgoraj opisan princip delovanja najdemo predvsem v enostavnih razsmernikih. Dejanska oblika signala enostavnih razsmernikov je nekje med pravokotno obliko signala (slika 2.17) in sinusnega signala (slika 2.18). Zato tak popačen signal ni primeren za delovanje izmeničnih motorjev.

Sinusni razsmernik

Da bi dobili sinusni signal, moramo razsmerniku dodati na vhod pozitivno povratno zanko. To naredimo z oscilatorjem (slika 2.19). Ojačenemu signalu vrinemo oscilacijo, tako da del ojačenega izhodnega signala dovedemo nazaj na vhod kot pozitivni signal. Pozitivni signal, ki ga dobimo, modificiramo toliko časa, da dobimo želeno frekvenco izhodnega signala (50 - 60 Hz).



Slika 2.19 Delovanje sinusnega razsmernika [8]

Pri preprosti logiki vezja, ki preklaplja z določeno frekvenco, bo oscilator proizvajal nizek izhodni tok. Ta tok bo z ojačevalnikom okrepljen in poslan na primarno tuljavo.

Omrežni razsmerniki

Gre za razsmernike, ki jih je možno priklopiti na omrežje. Če želimo sinusni razsmernik priklopiti na distribucijsko omrežje, bi moral omrežni razsmernik zajemati vzorce distribucijskega omrežja. Ta vzorec se okrepi v razsmerniku ali se ga sinhronizira z oscilatorjem. [8]

2.2.5. Vzorčni samostojni fotonapetostni sistem

Na slovenskem trgu je veliko ponudnikov gradnikov za izgradnjo samostojnega fotonapetostnega sistema. Zato se moramo na začetku vprašati, kako velik sistem želimo postaviti (kaj želimo z njim napajati).

Ko vemo, kaj želimo napajati, sledi izračun porabe električne energije porabnikov: vzamemo moč posamičnega porabnika P_i , čas t_i obratovanja posamičnega porabnika in seštejemo porabo električne energije posamičnega porabnika,

$$E = \sum_{1}^{i} P_i * t_i$$

(2.1)

pri čemer je E celotna potrebna električna energija.

Sledi izračun nazivne moči fotonapetostnega sistema P_n z naslednjo enačbo:

$$P_n = \frac{E}{t_{pod}}.$$

(2.2)

Vrednost spremenljivke t_{pod} (povprečni čas sončnega obsevanja na dan) lahko zelo variira. Kot povprečje se vzame vrednost 5 ur, izračunana pa je glede na število ur sončnega obsevanja pozimi in poleti. Če bi, na primer, število ur sončnega obsevanja določili na 2 uri (zimski čas), bi bil samostojni sistem (pre)drag. V zimskem času bi deloval dobro, poleti pa, ko je sončnega obsevanja precej več kot 2 uri, bi imeli v njem odvečno električno energijo (akumulatorji bi se hitro napolnili in regulator bi prenehal napajati). In obratno, če bi število ur sončnega obsevanja določili na, na primer, 8 ur, bi imeli poceni sistem, ki pa bi pozimi ne bi zadoščal. Zato sprejmemo kompromis in vzamemo povprečno vrednost 5 ur.

Po izračunani enačbi dobimo nazivno moč P_n fotonapetostnega sistema. Z naslednjo enačbo pa izračunamo, kolikšno število sončnih modulov potrebujemo (N_m), pri čemer je P_m nazivna moč modula:

$$N_m = \left\lceil \frac{P_n}{P_m} \right\rceil.$$

(2.3)

Drug pomemben faktor je izračun in nato izgradnja skladišča električne energije. Izgradnja skladišča z akumulatorji je predvsem odvisna od želja uporabnika sistema, moči sončnih modulov in potrebne energije za pogon porabnika. Za preprečitev globokega praznjenja akumulatorja moramo pri izračunu njegove kapacitete upoštevati večjo moč od dejansko potrebne.

$$E_p = \frac{E}{MDOD},$$

(2.4)

kjer je $MDOD = 0,75$ varnostni faktor.

Sledi izračun kapacitete akumulatorjev (U predstavlja nazivno napetost akumulatorja):

$$C = \frac{E_p}{U},$$

(2.5)

in število potrebnih akumulatorjev:

$$N_a = \left\lceil \frac{C}{C_n} \right\rceil,$$

(2.6)

kjer je C_n kapaciteta posamičnega akumulatorja.

Na koncu je potrebno načrtovati še primeren regulator in razsmernik.

Za pravilen izbor regulatorja je pomembno upoštevati način vezave sončnih modulov in akumulatorjev. Primer: imamo samostojni fotonapetostni sistem, kjer sta načrtovana dva sončna modula. Lahko ju priključimo vzporedno ali zaporedno. Če vzamemo zaporedno vezavo, dobimo večjo napetost in manjši tok, če pa vzamemo vzporedno, obdržimo napetost, tok pa se poveča.

Primeren razsmernik se izbere na podlagi moči in občutljivosti porabnika. Nekateri porabniki, kot so izmenični motorji in skrinje za zamrzovanje potrebujejo čisti sinusni signal, kar prinese podražitev razsmernika. Ostali porabniki, kot so na primer luči in osebni računalnik, pa ne potrebujejo sinusnih razsmernikov. [11]

Praktični izračun

Primer izračuna števila potrebnih sončnih modulov in akumulatorjev pri končnem porabniku osebnem računalniku z močjo 100 W in s 24 –urno priključenostjo v omrežje:

100 W moči potrebuje v enem dnevu 2,4 kWh (izračunano z enačbo (2.1)) električne energije. Z enačbo (2.2) dobimo potrebno skupno moč sončnih modulov, ki je 480 W. Na koncu uporabimo enačbo (2.3), da dobimo število potrebnih sončnih modulov, torej 2, kjer je nazivna moč sončnega modula 240 W.

Nato lahko nadaljujemo z izračunom števila akumulatorjev. Izračunamo varno količino potrebne električne energije z enačbo (2.4), ki znaša 3600 Wh, in posledično dobimo potrebno kapaciteto akumulatorjev s pomočjo enačbe (2.5), ta pa znaša 300 Ah. Ko imamo potrebno kapaciteto akumulatorjev, lahko izračunamo število potrebnih akumulatorjev, pridemo do številke 2 (2.6). Potrebujemo torej dva akumulatorja pri nazivni kapaciteti akumulatorja 220 Ah.

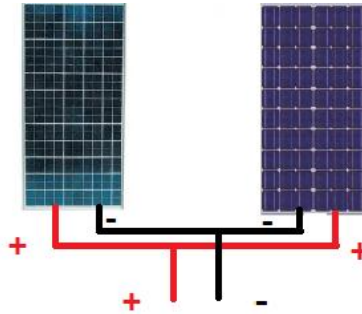
Vzorčni primer samostojnega fotonapetostnega sistema

Vzorčni primer samostojnega sistema je postavljen ob zasebni stanovanjski hiši v Tacnu pod Šmarno goro. Glavni namen izgradnje samostojnega sistema je predstavitev, načrtovanje, izgradnja in kasnejša analiza učinkovitosti takega sistema, cilj pa je zmanjšanje mesečnega stroška za porabljeno električno energijo.

Najprej si pogledjmo zgradbo in način načrtovanja vzorčnega primera.

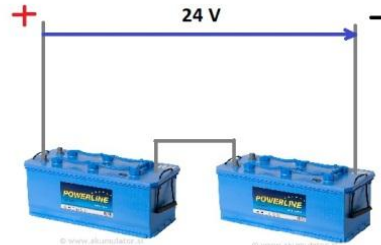
Sistem je sestavljen iz dveh sončnih modulov (polikristalni sončni modul nazivne moči 240 W in monokristalni sončni modul nazivne moči 230 W), dveh akumulatorjev kapacitete 225 Ah, regulatorja MPPT, prikazovalnika LCD in razsmernika (slika 2.30). [12]

Sončna modula sta povezana vzporedno (slike 2.20, 2.25, 2.26), kar pomeni, da ohranjamo napetost sončnih modulov, v regulator pa posledično priteče večji električni tok.



Slika 2.20 Vzporedna vezava sončnih modulov

Akumulatorja v samostojnem sistemu sta vezana zaporedno (sliki 2.21, 2.28), tako da je med kontaktoma napetost 24 V. Razlogi za zaporedno vezavo so predvsem v fizični napeljavi, saj smo s tem prepolovili električni tok in tako lahko uporabili tanjše električne vodnike.



Slika 2.21 Zaporedna vezava akumulatorjev

V naš vzorčni samostojni fotonapetostni sistem je vključen razsmernik Sinergex (sliki 2.22, 2.29) delovne moči 1000 W in kratkotrajne moči 2000 W. Razsmernik 24 V enosmerno napetost razmeri v 230 V sinusno napetost.



Slika 2.22 Čisti sinusni razsmernik Sinergex 1000W

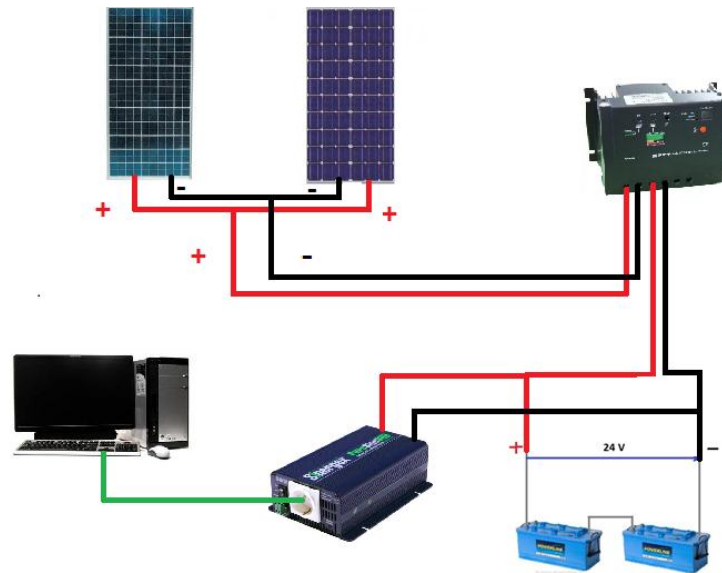
Regulator samostojnega sistema je Epsolar MPPT Tracer 2210RN 20A (slika 2.23). Njegova maksimalna napetost na vходу je 32 V, vhodni tok, ki prihaja iz sončni modulov, pa ne sme presegati 20 A. Maksimalna moč sistema ne sme presegati 520 W pri 24 V sistemu. Z regulatorjem lahko gradimo 12 V ali 24 V napetostni sistem (vzporedna / zaporedna vezava akumulatorjev). Regulator ima svoj krmiljen enosmerni napetostni izhod, s katerim lahko napajamo enosmerne napetostne porabnike. K regulatorju je možno dodati zaslon LCD, s katerim spremljamo delovanje sistema.



Slika 2.23 Epsolar MPPT Tracer 2210RN 20 A in njegova priključitev

Vsi naštetni gradniki so povezani skupaj in gradijo samostojni fotonapetostni sistem. Slika 2.23 nam tudi prikaže način priključitve gradnikov, kot so sončni moduli in akumulatorji (slika 2.27).

Na sliki 2.24 je predstavljena povezava gradnikov v vzorčnem primeru samostojnega fotonapetostnega sistema. Sončna modula, ki sta vezana vzporedno, sta priključena neposredno na solarni regulator. Slika 2.23 nam prikaže lokacijo priključitve (rdeči krogec). Akumulatorja sta vezana zaporedno in priključena neposredno na regulator (slika 2.23, modri krogec). Razsmernik je priključen neposredno na akumulator.



Slika 2.24 Način povezave vzorčnega samostojnega fotonapetostnega sistema



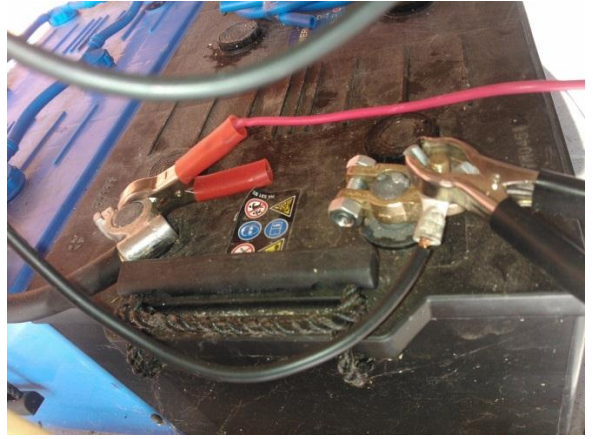
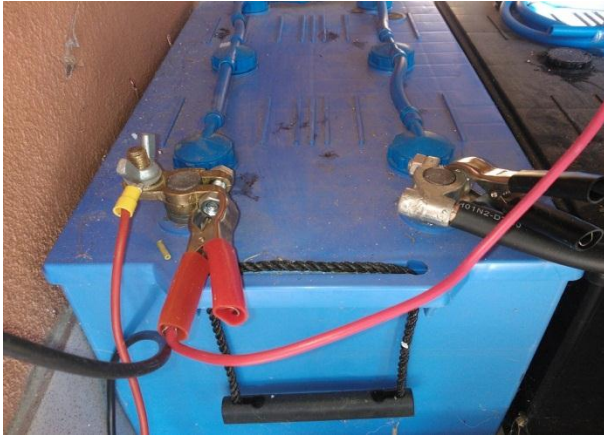
Slika 2.25 Vezava fotonapetostnih modulov



Slika 2.26 Y člen za vzporedno vezavo sončnih modulov



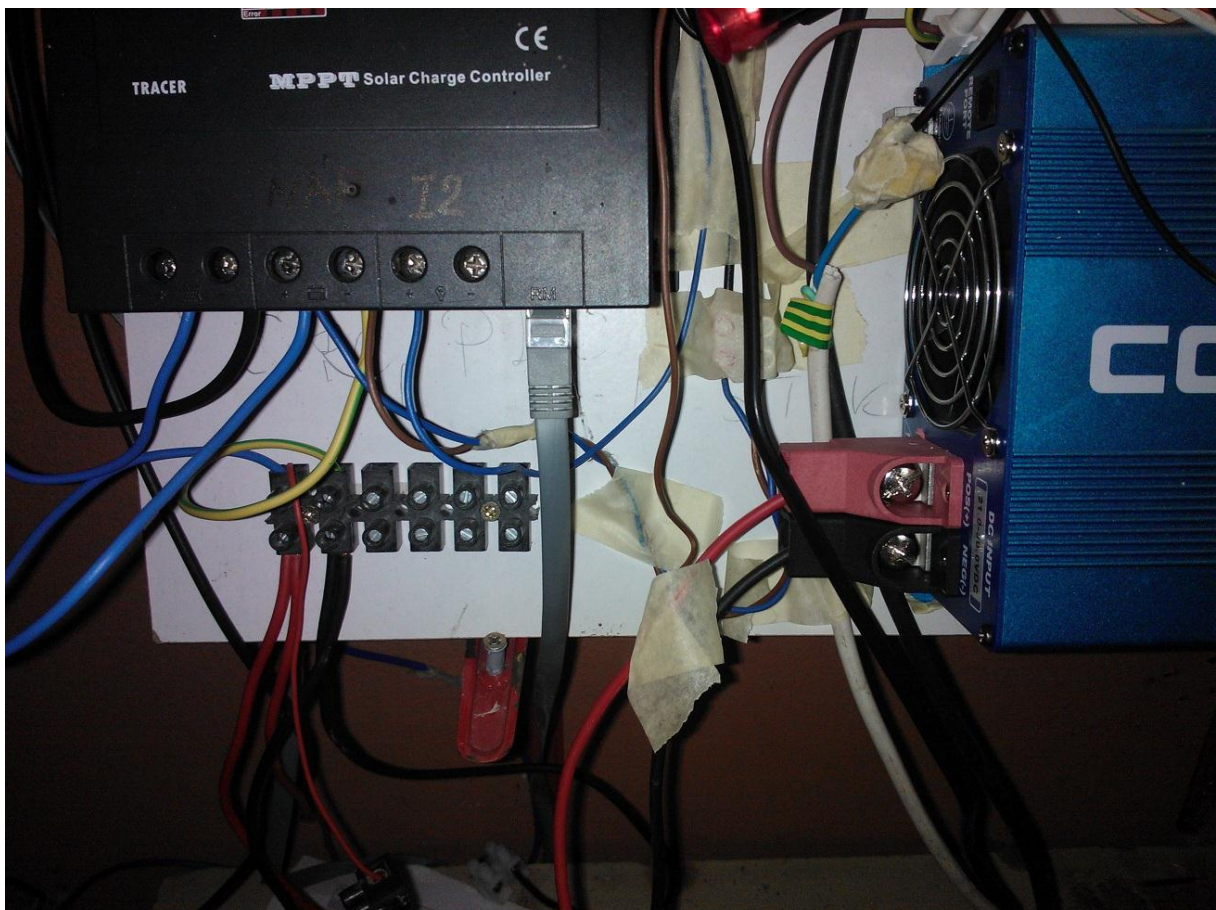
Slika 2.27 Priklučitev gradnikov na regulator MPPT



Slika 2.28 Vezava akumulatorjev



Slika 2.29 Sinusni razsmernik



Slika 2.30 Skupna vezava fotonapetostnih gradnikov

3. Avtomatizacija vzorčnega fotonapetostnega sistema

V primerih, ko v samostojnem fotonapetostnem sistemu ni dovolj električne energije, bi bila edina možnost, da se porabnike priključi nazaj v distribucijsko omrežje. V času priključitve porabnikov v distribucijsko omrežje se kopiči tudi električna energija, pridobljena iz sončnih modulov. Tukaj pa se potem pojavi vprašanje, kdaj lahko porabnike spet priključimo nazaj v sistem. Poleg tega sončni moduli, ko ni svetlobe (noč), ne proizvajajo električne energije. Električna energija iz distribucijskega omrežja je ponoči cenejša (nižja tarifa), zato bi jo bilo smiselno shraniti v akumulatorje za kasnejšo dnevno porabo energije (če in ko iz sončnih modulov ne bi dobili dovolj energije).

S tem pa pridemo do ključnega problema oziroma dileme: ali bomo morali nenehno ročno preklapljati porabnike iz enega sistema na drugega?

Da bi se temu izognili, je smiselno sistemu dodati gradnik - krmilnik, ki je sposoben avtomatsko preklapljati med sistemoma. Vzorčnemu samostojnemu fotonapetostnemu sistemu smo tako dodali krmilnik Alpha AL2-10MR-D (slika 2.1) proizvajalca Mitsubishi. Njegovi glavni nalogi sta:

- na podlagi vhodnih parametrov določati trenutek preklop med omrežjema;
- na podlagi notranje ure določati čas nižje tarife.



Slika 3.1 Alpha krmilnik AL2-10MR-D

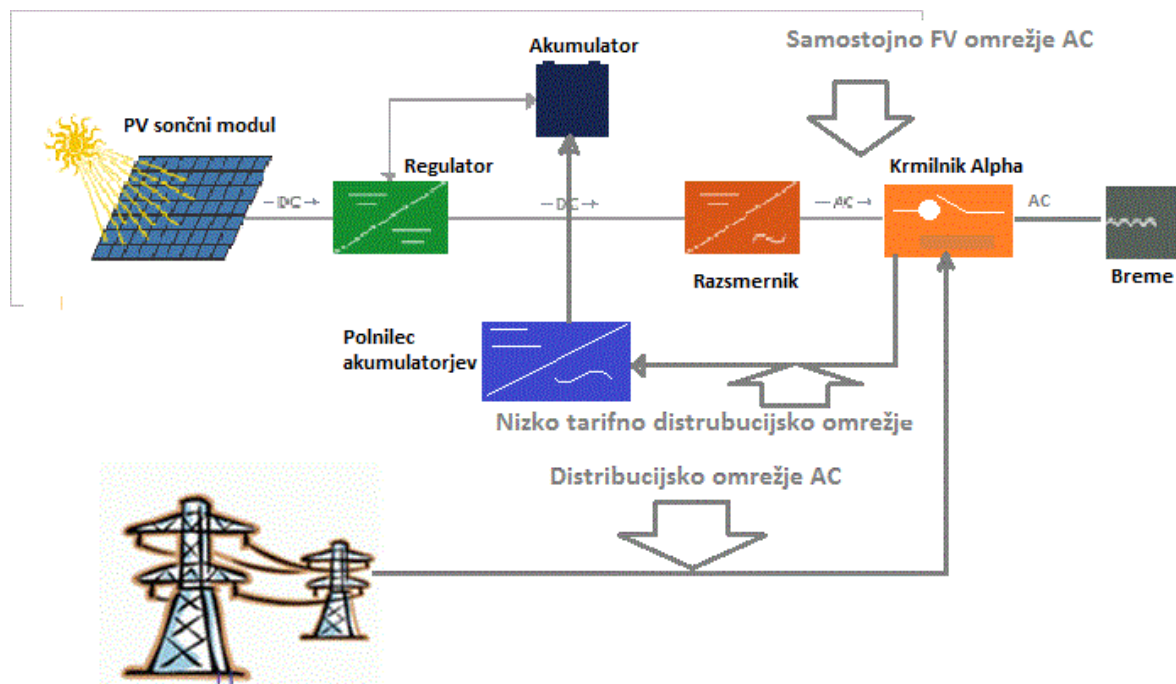


Slika 3.2 Polnilec akumulatorjev PACO MBC 1205

Za nočno polnjenje akumulatorjev iz distribucijskega sistema smo uporabili dva polnilca akumulatorjev (slika 3.2), ki sta krmiljena s krmilnikom Alpha. [13]

3.1. Fizična vgradnja gradnikov v vzorčni samostojni fotonapetostni sistem

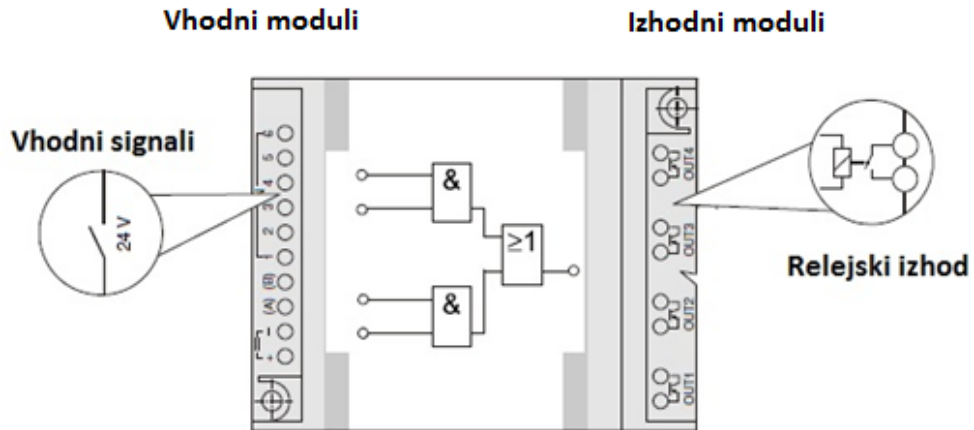
Na sliki 3.3 vidimo implementacijo krmilnika Alpha, ki se uporablja za preklapljanje med omrežjema, in je vstavljen med razsmernik samostojnega fotonapetostnega sistema, distribucijsko omrežje in breme / porabnika (slika 3.16). Tudi polnilca akumulatorjev sta priklopljena in regulirana prek krmilnika Alpha. Samostojni sistem je s tem avtomatiziran in ročno preklapljanje ni potrebno.



Slika 3.3 Implementacija krmilnika Alpha in polnilcev akumulatorjev

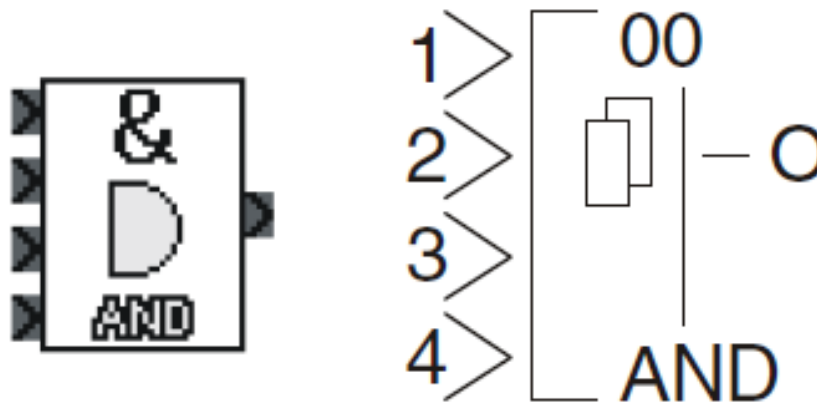
3.2. Priklučitev in delovanje vzorčnega avtomatiziranega sistema

Krmilnik Alpha AL2-10MR-D ima (slika 3.4) šest digitalnih vhodov, štiri izmed teh vhodov se lahko uporabi tudi kot analogni vhod z vgrajenim 8-bitnim analogno-digitalnim pretvornikom. Krmilnik ima štiri izhode z relejskim preklapljanjem, na katerega lahko pripeljemo 250 VAC napetosti in 8 A maksimalnega toka.



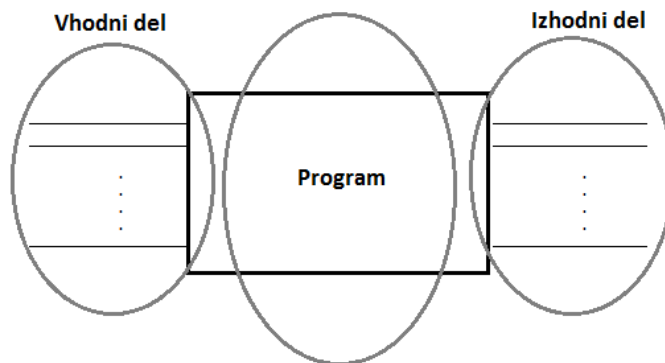
Slika 3.4 krmilnik Alpha: skica povezave

Za programiranje krmilnika Alpha se uporabljata dva načina. Prvi je vnašanje programa prek vgrajenega vmesnika na samem krmilniku (slika 3.5, desno), drugi način pa poteka prek osebnega računalnika, kjer je potrebno najprej naložiti program Alpha programming (slika 3.5, levo) in se povezati s krmilnikom preko priključka RS-232. Krmilnik se programira v obliki funkcijskih blokov (angl. Function Block Language).



Slika 3.5 AND funkcija levo: funkcijski blok programa Alpha programming, desno: način programiranja z vmesnikom na krmilniku.

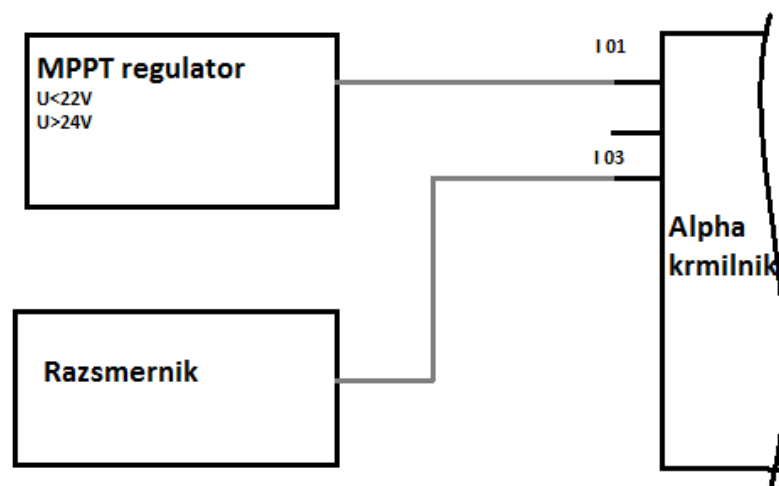
Za lažjo predstavitev priključitve krmilnika Alpha, bomo tega razdelili na tri dele (slika 3.6): vhodni signali, izhodni signali in osrednja programirna logika (program v krmilniku Alpha).



Slika 3.6 Priključitev krmilnika po delih

Prvi del: vhodni signali

Za prepoznavanje trenutnega stanja v samostojnem fotonapetostnem sistemu, moramo na vhod krmilnika Alpha pripeljati dva signala (slika 3.7). Prvi signal, I_{01} , ki ga standardno pošilja regulator MPPT, nam pove, kakšno je trenutno stanje v samostojnem fotonapetostnem sistemu. V primeru, da je na akumulatorju napetost večja od 22 V, je signal I_{01} prisoten, in obratno, če napetost pade pod 22 V, je signal odsoten. V primeru, da signal I_{01} ni prisoten, se bo ta ponovno pojavil, ko bo napetost v samostojnem sistemu narasla na referenčno napetost 24 V. Drugi signal, I_{03} , pošilja ga razsmernik, nam pove, ali je napetost na razsmerniku prisotna.



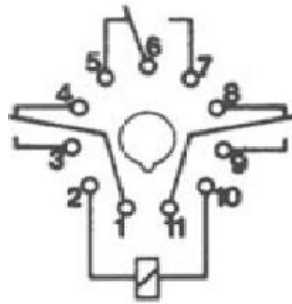
Slika 3.7 Vhodni signali

Drugi del: izhodni signali

V izhodne releje krmilnika se priklaplja tako distribucijsko kot samostojno fotonapetostno omrežje. Zato moramo biti ob priključitvi obeh omrežij na skupni dovod do porabnika previdni. V nasprotnem primeru lahko kaj hitro uničimo razsmernik ali celo prekinemo distribucijsko omrežje.

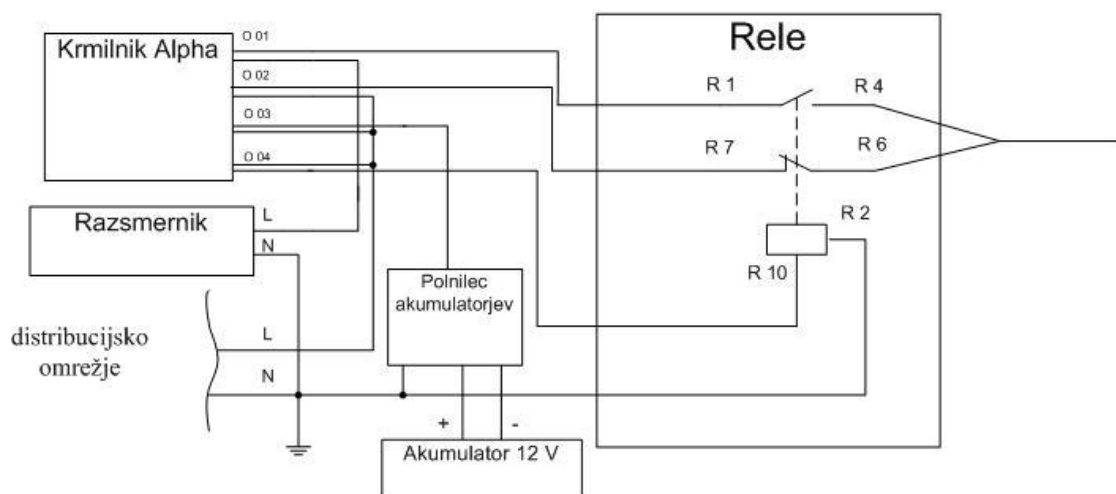
Prva varovalka (slika 3.11) za preprečitev omenjenega problema je programska zaščita, ki zakasni preklon tako distribucijskega O_{01} kot fotonapetostnega omrežja O_{02} na odvodni vodnik k porabniku. S to zakasnitvijo pa se izognemo prehodnim pojavom v sistemu.

Če si pogledamo sliko 3.11, opazimo, da je stičišče distribucijskega in fotonapetostnega omrežja v stiku, kar pa pomeni, da lahko ob prehodu iz enega omrežja v drugega pride do konflikta med faznimi zamiki (dvofazno omrežje, odboj faznega zamika nazaj k viru). Zato je sistemu treba dodati še dodatno varovalo, tako imenovani rele, s katerim fizično preprečimo morebiten stik obeh omrežij (slika 3.8).



Slika 3.8 Kontaktni releja

Krmilni izhod O_{04} ob visokem stanju povzroči preklon releja (slika 3.9). S tem povzročimo preklon kontaktov na releju (slika 3.8). Na vhod izhodnega modula O_{01} krmilnika Alpha je priključen razsmernik in na vhod izhodnega modula O_{02} je priključeno distribucijsko omrežje.



Slika 3.9 Način povezave releja s krmilnikom Alpha in vezava polnila akumulatorjev

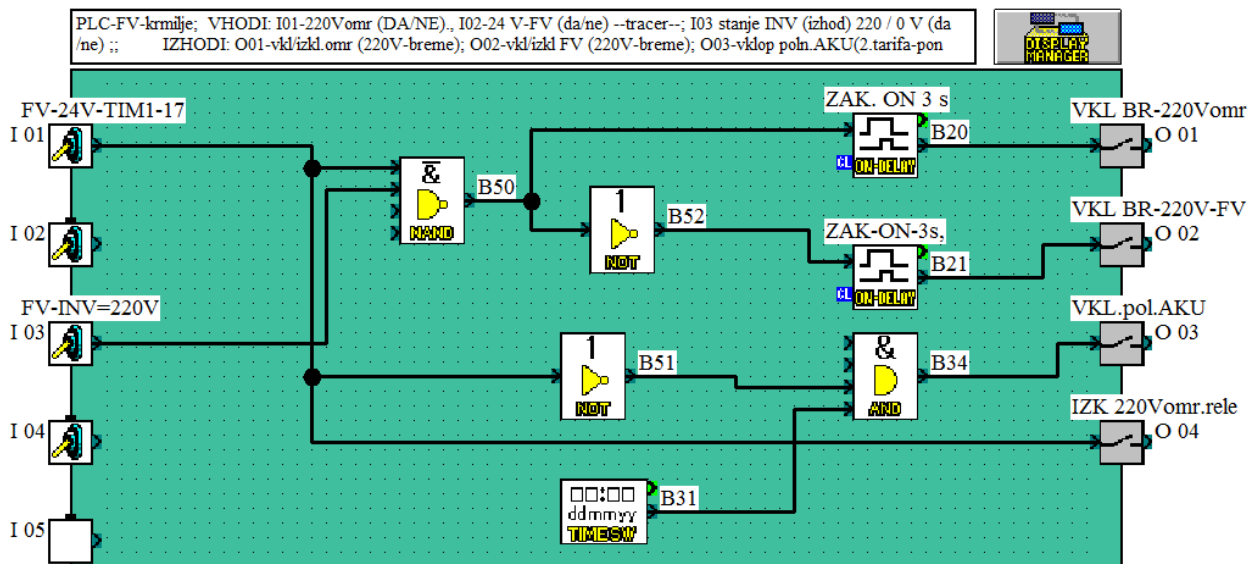
Distribucijsko omrežje je tudi priključeno na vhod izhodnega modula O₀₃, s katerim krmilimo polnilca akumulatorjev (slika 3.9).

Tretji del: programska logika

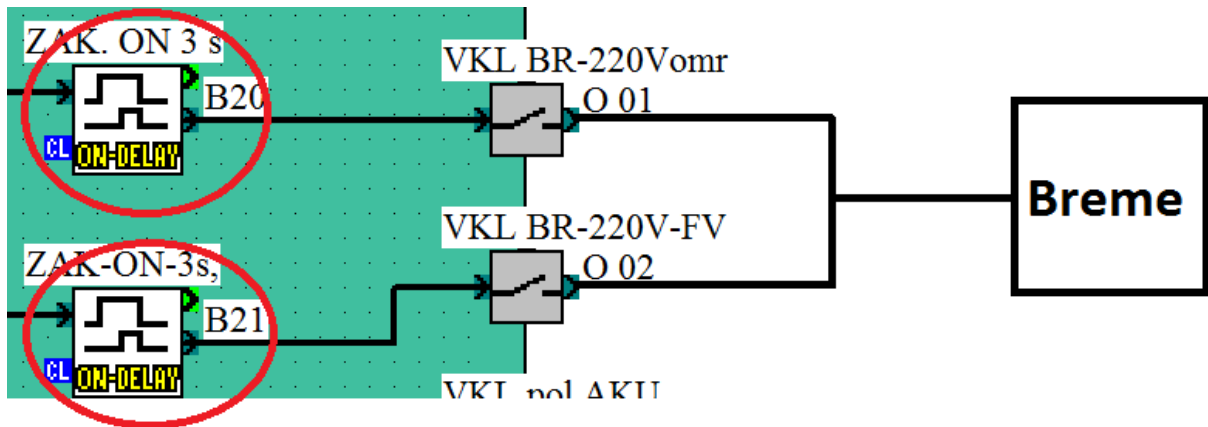
Program, pisan z orodjem Alpha programming (slika 3.10), ima naslednje vhodne / izhodne signale:

Tabela 3.1 Vhodni / izhodni signal in njihov pomen

Oznaka vhodnega / izhodnega signala	Pomen
I ₀₁ - FV-24V-TIM 1-17	Vhodni signal, ki ga dobimo iz regulatorja MPPT
I ₀₃ - FV-INV = 220V	Vhodni signal, ki ga dobimo iz razsmernika
O ₀₁ - VKL BR-220V omr	Izhodni signal za vklučitev bremena na distribucijsko omrežje
O ₀₂ - VKL BR-220V-FV	Izhodni signal za vklučitev bremena na razsmernik
O ₀₃ – VKL pol AKU	Izhodni signal za vklučitev polnilcev akumulatorjev
O ₀₄ – 220V omr.rele	Izhodni signal potreben za preklonitev releja pri določenih pogojih



Slika 3.10 Program pisan v okolju Alpha programming

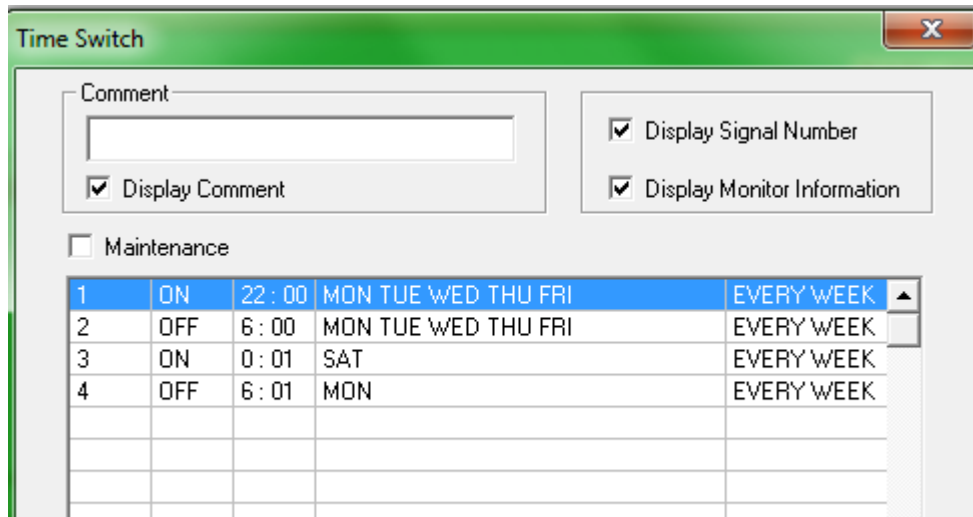


Slika 3.11 Programska zaščita z zakasnitvijo; rdeča krogca sta zakasnitvi z zakasnitvenim časom treh sekund.

Tabela 3.2 Pravilnostna tabela

Vhodi		Izhodi			
I_{01}	I_{03}	O_{01}	O_{02}	O_{03}	O_{04}
0	0	1	0	0	0
0	1	1	0	0	0
1	0	1	0	0	1
1	1	0	1	0	1

Delovanje programa je prikazano na sliki 3.10 s pravilnostno tabelo 3.2. Preklapljanje releja z izhodom O_{04} je neposredno krmiljeno z vhodom I_{01} . Funkcija NAND v bloku B50 (slika 3.10) izključi distribucijsko omrežje O_{01} le v primeru, ko je na obeh vloh (I_{01} in I_{03}) prisoten signal (visoka napetost). Obenem pa funkcija NOT v bloku B52 negira stanje izhoda bloka B50 in s tem, ko sta oba vhodna signala (I_{01} in I_{03}) prisotna, zakasnjeno vklopi izhod O_{02} (vklop fotonapetostnega omrežja). Zakasnitvi za tri sekunde v bloku B20 in B21 preprečita kakršenkoli konflikt med distribucijskim omrežjem in omrežjem razsmernika. S programskim blokom za časovni vklop B31 ob določenem dnevu in uri simuliramo nižjo tarifo distribucijskega omrežja (slika 3.12). S simuliranim signalom nižje tarife in neigranim vhodnim signalom I_{01} vklopimo izhod O_{03} . To pomeni, da želimo napajati akumulatorje s polnilci akumulatorja le v primeru, ko je na akumulatorju napetost manjša od 22 V in je čas nižje tarife.



Slika 3.12 Simulacija nižje tarife

3.3. Merjenje električne energije

Naslednji korak pri izboljšavi vzorčnega samostojnega fotonapetostnega sistema je zbiranje podatkov o njegovem delovanju (proizvedena količina električne energije iz sončnih modulov). Podatke je smiselno shranjevati za nadaljnjo obdelavo, hkrati pa jih prikazati tudi na spletni strani. Da bi te podatke iz samostojnega sistema dobili, moramo poiskati primeren gradnik. Ta mora meriti enosmerno proizvedeno električno energijo in voditi komunikacijo z osebnim računalnikom.



Slika 3.13 Circutor MK-30 DC



Slika 3.14 Circutor LM50 TCP +

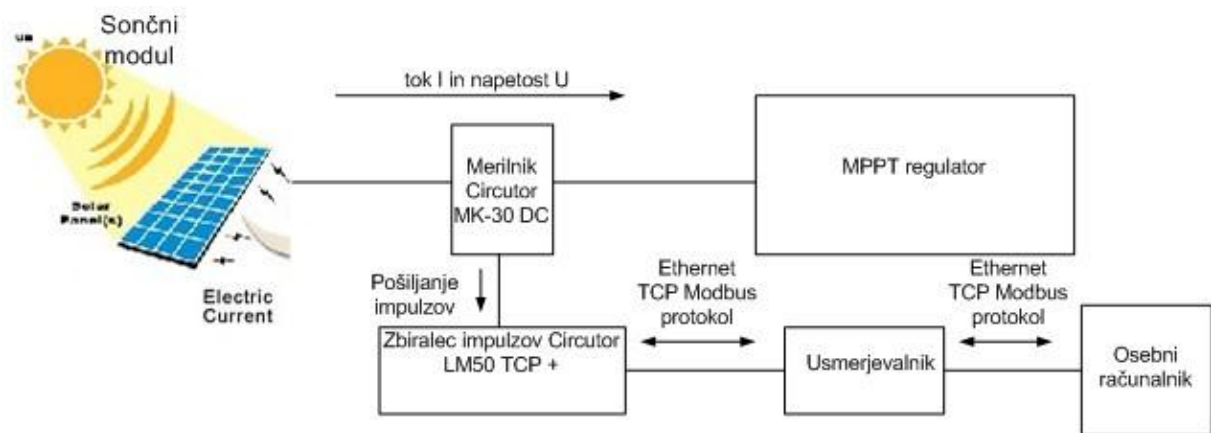
Samostojnemu fotonapetostnemu sistemu smo tako dodali merilnik Circutor MK-30 DC (sliki 3.13 in 3.18), ki meri enosmerno električno energijo, napetost, tok in trenutno proizvedeno moč. Poleg osnovnih meritev gradnik pošilja električne impulze v določenem intervalu (za vsak določeno količino proizvedene električne energije pošilja impulze napravi LM50 TCP+). Ker sam merilnik nima neposredne povezave z računalnikom (pošilja samo impulze), smo

sistemu dodali še zbiralnik impulzov Circutor LM50 TCP+ (sliki 3.14 in 3.19), ki zbira impulze iz merilnika MK-30 in jih prek omrežja Ethernet pošilja na osebni računalnik. [14]

Vstavljanje naprav v samostojni fotonapetostni sistem

Merilnik MK-30 je povezan na dovodni vhod regulatorja MPPT (slika 3.15). S tem na vходу merimo proizvedeno električno energijo iz sončnih modulov. Impulzi, ki jih pošilja merilnik, pomenijo količino proizvedene električne energije.

Naprava LM50 TCP+ ima svoj fizični naslov MAC (angl. Media Access Control Address), s katerim prek usmerjevalnika dobi svoj omrežni naslov in s tem se komunikacija z osebnim računalnikom lahko prične (slika 3.15).



Slika 3.15 Vgradnja MK30 DC in LM50 TCP+ v samostojni fotonapetostni sistem

3.4. Postavitev sistema

Pri konstrukciji samostojnega fotonapetostnega sistema smo naleteli na veliko vprašanj in težav, ki pa smo jih proti reševali. Preden smo pričeli s postavitvijo sistema, se je bilo najprej treba pozanimati, kakšni fotonapetostni sistemi sploh obstajajo. Nato je bilo potrebno izbrati med omrežnim ali samostojnim fotonapetostnim sistemom. Zaradi modularnosti samostojnega sistema smo se odločili, da postavimo slednjega.

Pri izbiri gradnikov samostojnega fotonapetostnega sistema je bilo odločilnih nekaj faktorjev, predvsem: finančni vložek, velikost potrebnega sistema in sama lega sistema.

Fotonapetostna modula smo postavili v smeri jug in pod kotom 35 stopinj. Akumulatorja, regulator, razsmernik, krmilnik, merilnik in zbiralnik impulzov se nahajajo v notranjosti objekta. Naslednja faza pri postavitvi sistema je bila povezava gradnikov, povezava modulov z regulatorjem, dovod distribucijskega omrežja in periferno povezovanje notranjih gradnikov.

Pri vzpostavitvi fotonapetostnega sistema smo naleteli še na nekaj težav. Ena je bila fizična montaža fotonapetostnih modulov. Teh nismo mogli preprosto postaviti ob zid, ampak je bilo potrebno narediti konstrukcijo, na katero smo jih namestili. Druga težava se je pojavila pri povezovanju modula z regulatorjem. Povezava mora biti čim manj ovirana, kar pomeni, da je potrebno pripraviti primerno ožičenje.

Ob avtomatizaciji sistema je bilo potrebno paziti na dovod distribucijskega omrežja v avtomatiziran samostojni fotonapetostni sistem. Tukaj je bilo potrebno dovesti vodnik 230 V, ga primerno zaščititi in priključiti na krmilnik. V nadaljevanju je bilo potrebno urediti dodatno napajanje krmilnika. Na začetku vzpostavitve sistema je bilo tako uničenih kar nekaj razsmernikov in to kljub temu, da je bila v programu za krmilnik uvedena zakasnitev. Razlog je bil fazni zamik med distribucijskim in fotonapetostnim omrežjem. Rešitev smo našli v zunanjem releju, ki fizično prepreči kakršenkoli tovrstni pojav.

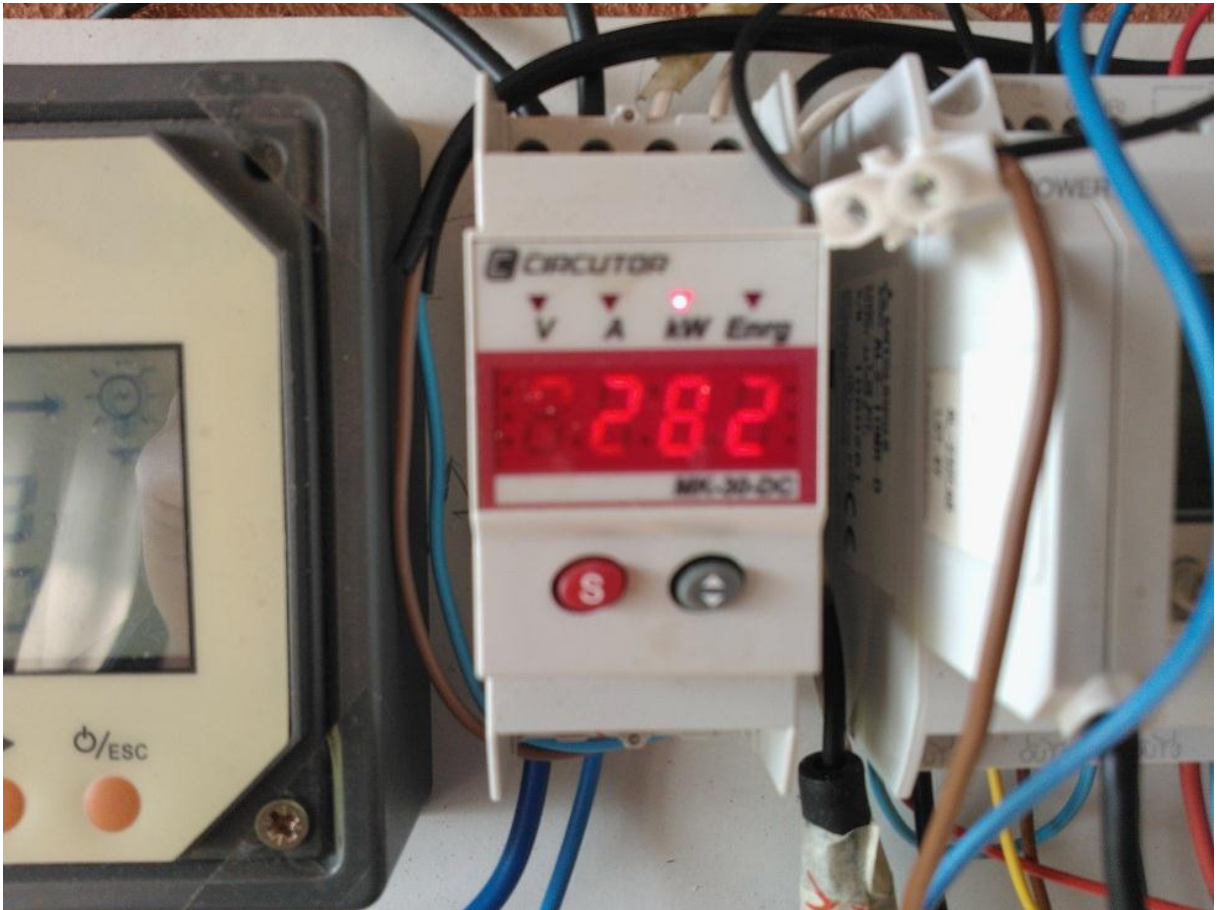
Pri računalniško podprtem samostojnem fotonapetostnem sistemu smo pri sami fizični izvedbi morali paziti še na pravilno povezovanje komponent in dodelitev kabla UTP napravi LM-50 TCP+. Nato je bila potrebna vzpostavitev komunikacije z gradnikom LM-50 TCP+ (dodelitev omrežnega naslova gradniku).



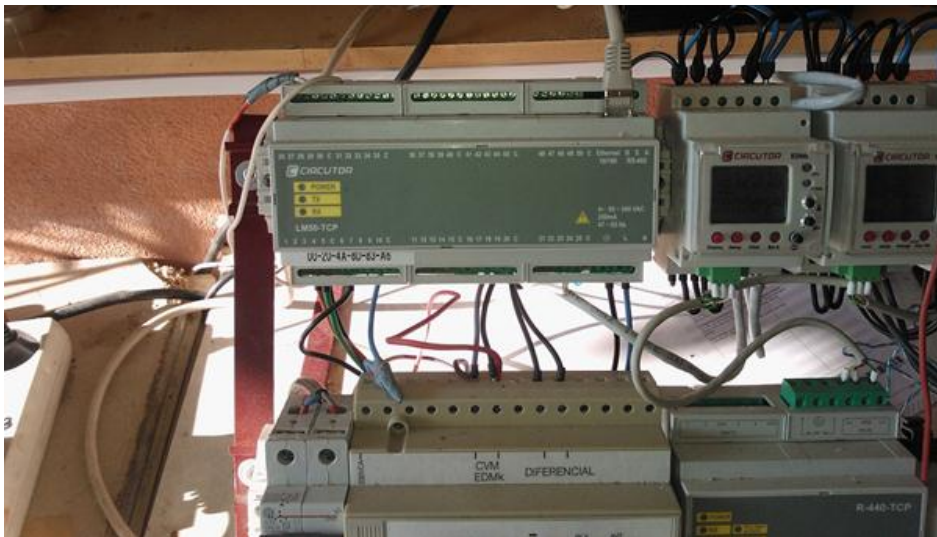
Slika 3.16 Dejanska povezava krmilnika Alpha



Slika 3.17 Vezava izhodov krmilnika na rele



Slika 3.18 Vezava circutor MK-30 DC



Slika 3.19 Vezava Circutor LM 50 TCP+

4. Izdelava spletne strani

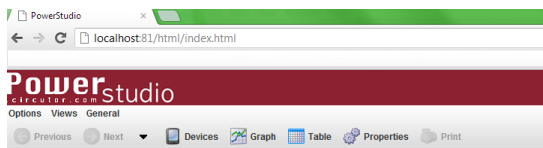
Pri izdelavi spletne strani je bilo potrebno na začetku zbrati in shraniti podatke v zato pripravljeno podatkovno bazo. Po vnosu podatkov v podatkovno bazo smo sprogramirali spletno stran, ki jih prikazuje. Na koncu je bilo potrebno spletno stran objaviti na spletni strežnik.

4.1. Zbiranje, razvrščanje in shranjevanje pridobljenih podatkov

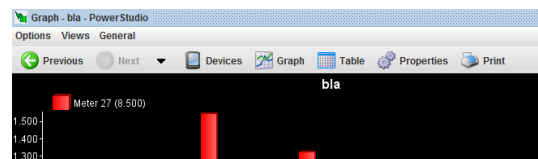
Za zbiranje in razvrščanje pridobljenih podatkov smo uporabili programski paket Powerstudio proizvajalca Circutor. V njem dobimo programe Powerstudio Client, Powerstudio Editor in Powerstudio Engine Manager.

Preden se posvetimo pridobivanju podatkov, moramo najprej vzpostaviti komunikacijo z napravo LM50 TCP+, kar naredimo s programom Powerstudio Editor.

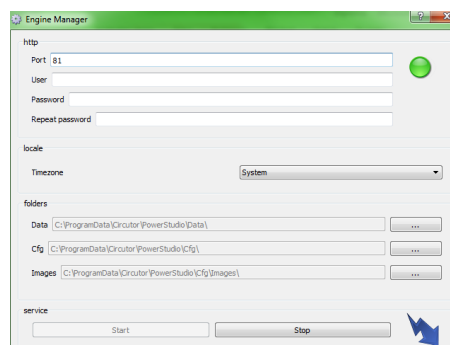
Strežnik Power Engine Manager (slika 4.3) neposredno komunicira z napravo LM50 TCP+, podatke, ki jih pridobi, pa shranjuje v datoteke. Dostopanje do strežnika je možno prek brskalnika (<http://localhost:port>) (slika 4.1) ali prek programa Power Client (slika 4.2).



Slika 4.1 Prikaz v brskalniku



Slika 4.2 Prikaz v Power clientu



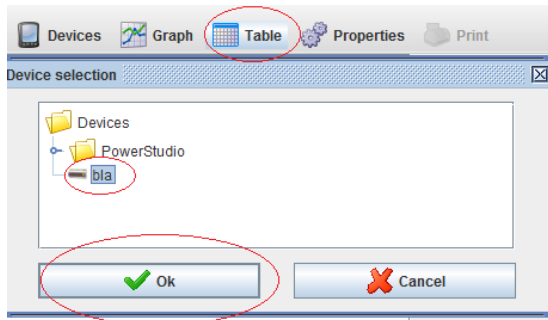
Slika 4.3 Power Engine Manager

Pridobivanje podatkov

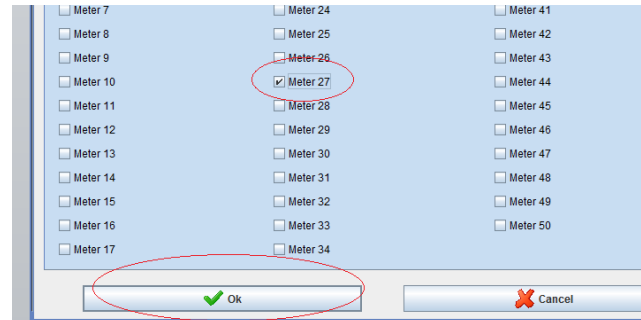
Spletna stran za beleženje podatkov uporablja podatkovno bazo MySQL. Za to, da bi podatkovno bazo napolnili, do podatkov na strežniku Power Engine Manager dostopamo s programom Power Client in jih shranimo v obliki tabele Microsoft Excel. Da bi dobili

primerno obliko podatkov, shranjenih v datoteko, jih moramo pravilno razvrstiti za kasnejšo uporabo v bazi MySQL. Določiti je potrebno tudi primeren prikaz razpona podatkov, to je razvrščanje po določeni periodi in prikaz razpona period.

Za naš primer smo izbrali periodo 1 ure in razpon 1 leto. V programu Power Client izberemo zavihek Table (slika 4.4), nato kliknemo napravo LM-50 TCP+ (odvisno od tega, kako smo jo poimenovali, ko smo ustvarjali povezavo). Prikaže se nam izbor vhodov, kjer izberemo številko vhoda, na katerega smo priklopili merilnik MK-30 DC. V našem primeru je to vhod številka 27 (slika 4.5).

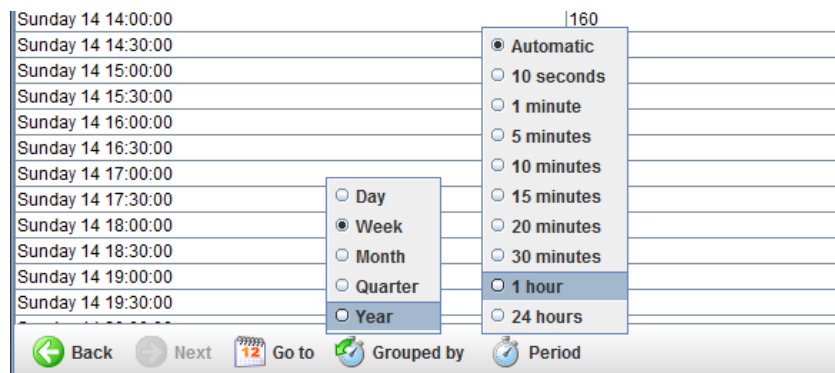


Slika 4.4 Izbira LM 50 TCP+ naprave



Slika 4.5 Izbira vhodne spremenljivke

Nato izberemo primeren razpon prikaza in časovno periodo prikaza (slika 4.6).



Slika 4.6 Nastavitev periode in razpon prikaza

Sedaj, ko imamo izpisane vse vrednosti za leto s periodo 1 ura, moramo prek programa Power Client te podatke shraniti v datoteko Excel.

S shranjenimi podatki v tabeli Excel lahko pripravimo podatkovno bazo. Oblika zapisa podatkov je sledeča: »7/12/12 10:00:00 AM ; 100«, pri čemer sta datum in ura zapisana v formatu MM/DD/LL UU:MM:SS in AM/PM (dopoldan/popoldan). S podpičjem je datum ločen od vrednosti.

4.2. Podatkovna baza MySQL

Kot smo že omenili, se podatki iz ustvarjene datoteke prenesejo v podatkovno bazo MySQL. V delovnem okolju (Workbench MySQL), ki ga dobimo ob namestitvi, smo ustvarili novo podatkovno bazo in povezavo na njo. Preden pa smo pričeli z branjem podatkov iz datoteke, je bilo potrebno v podatkovni bazi ustvariti tabelo, kamor smo dodali stolpca tipa int in tipa varchar. SQL stavek je sledeč:

```
CREATE TABLE table ();
```

Vnos podatkov iz tabele excel v novo ustvarjeno tabelo smo naredili z ukazom:

```
LOAD DATA LOCAL INFILE »«  
INTO TABLE FIELDS TERMINATED BY ';' '  
LINES TERMINATED BY '\n'
```

Osveževanje podatkov

Proizvajalec Circutor nam ponuja tudi programski paket SQL Data Export, ki omogoča dostopnost podatkov v realnem času, saj podatke zbira iz strežnika Power Engine Manager, jih pretvori, ustvari ustrezne relacije med različnim podatki in jih kasneje vnese v podatkovno bazo MS SQL Server 2005. Bi bil pa vložek v ta programski paket smiseln le v primeru, ko bi samostojni fotonapetostni sistem postal tržno zanimiv.

Da bi naš sistem dobival kar se da sveže podatke, smo mu dodali še programski paket Mouse in Keyboard Recorder [15]. Je brezplačen in snema naše poteze, dogodke na osebem računalniku. Ko program preneha s snemanjem, lahko te korake kontinuirano ponavlja. S tem pridemo do ažuriranih podatkov.

4.3. Spletna stran s predstavljenimi podatki

Spletna stran je pisana v spletni aplikaciji ASPX.NET, v programskem okolju Microsoft Visual Studio 2010. To okolje je enostavno za uporabo, saj so elementi za izdelavo spletnih strani že vgrajeni vanj. Spletna aplikacija ASPX.NET uporablja programski jezik C#.

V programskem okolju Microsoft Visual Studio 2010 smo ustvarili projekt (spletno aplikacijo). Spletni aplikaciji smo dodali nov spletni obrazec (ang. web form) z imenom default.aspx, v katerega se dodajajo elemente spletne strani HTML. Pri novem spletnem obrazcu se avtomatično generira razred default.aspx.cs, s katerim lahko pišemo metode, funkcije in, kar je najpomembneje, odzivamo se na dogodke spletnih elementov HTML.

V naš spletni obrazec smo dodali gradnike Calendar1, Label1 Label2, Label3, SqlDataSource1, GridView1 in Chart1.

Gradnik Calendar1

Ker je spletna aplikacija prilagojena za prikaz podatkov po dnevih, smo v naš spletni obrazec dodali gradnik koledar Calendar1 (slika 4.7). S tem, ko uporabnik spletne strani klikne na določen dan, se mu prikaže izbrani dan. Sproži se dogodek Calendar1_SelectionChanged, ki se ga obdela v razredu default.aspx.cs.

september		oktober 2012				november	
pon	tor	sre	čet	pet	sob	ned	
24	25	26	27	28	29	30	
1	2	3	4	5	6	7	
8	9	10	11	12	13	14	
15	16	17	18	19	20	21	
22	23	24	25	26	27	28	
29	30	31	1	2	3	4	

Slika 4.7 koledar (Calendar1)

Gradniki Label

Gradnik Label1 po izbiri dneva prikaže polni format datuma. Gradnik Label3 se na spletni strani ne prikaže in se uporablja za prikaz primerne formata datuma za poizvedovanje po podatkovni bazi. Gradnik Label2 prikaže celotno dnevno porabo električne energije (slika 4.8).



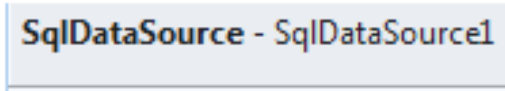
Slika 4.8 Gradniki (Label 1,2,3)

Gradnika SqlDataSource1 in GridView1

Gradnik SqlDataSource1 (slika 4.10) je povezovalno-poizvedovalni gradnik po podatkovni bazi MySQL. Pri vnosu gradnika SqlDataSource1 je le-tega potrebno pravilno nastaviti. Na začetku mu moramo dodati povezavo do podatkovne baze MySQL. Ko imamo povezavo s podatkovno bazo vzpostavljeno, je potrebno napisati poizvedovalni stavek:

```
SELECT dan,vrednost FROM meritve WHERE dan like CONCAT(@dan,'%');
```

Poizvedovalni stavek poišče dan in vrednost v tabeli meritve, pri katerem je dan podoben @dan. Parameter @dan se določi iz prej omenjenega gradnika Label3. Pripravljene podatke v gradniku SqlDataSource1 gradnik GridView1 (slika 4.10) prebere in izpiše v tabelo.



Slika 4.9 SqlDataSource1

Databound Col0	Databound Col1	Databound Col2
abc	0	abc
abc	1	abc
abc	2	abc
abc	3	abc
abc	4	abc

Slika 4.10 GridView1

Gradnik Chart1

Gradnik Chart1 prebere podatke iz gradnika GridView1 in jih izriše v graf. Zaradi lažje predstavitve osi x (24-urni sistem namesto PM/AM) smo v razredu default.aspx.cs dogodku Calendar1_SelectionChanged dodali blok, ki to preoblikuje.

Razred default.aspx.cs

Ko uporabnik spletne strani sproži dogodek s klikom dneva na koledarju, se v razredu sproži funkcija *Calendar1_SelectionChanged*. Funkcija povzroči dve ključni operaciji. Prva je izpis primerne formata datuma. V gradniku Label1 z naslednjim programskim stavkom:

```
Label1.Text=Calendar1.SelectedDate.Month.ToString()+"/"+ Calendar1.SelectedDate.Day.ToString() + "/" + ZaddnjiLeto;
```

poskrbimo, da je format datuma primeren za poizvedovanje po podatkovni bazi MySQL.

Druga operacija je izris grafa in ob enem izračun celotne električne energije za določen dan.

Sedaj, ko so podatki v gradniku SqlDataSource1 (uspešno poizvedovanje po podatkovni bazi), je potrebno podatke iz SqlDataSource1 nekako pridobiti in jih shraniti v objekt DV (DataView). To smo naredili s programskim stavkom:

```
DataView DV =(DataView) SqlDataSource1.Select(DataSourceSelectArguments.Empty);
```

Zaradi različnega formata izpisa datuma (primer 7/6/12 8:00:00, 7/13/12 10:00:00) smo napisali funkcijo *Preberi(int dan, int mesec)*, da bi se ognili kasnejši težavi izrisa podatkov. Nato smo ustvarili blok *try*, s katerim preverimo, ali je kaj podatkov v objektu DV. V primeru, da podatki ne obstajajo, program lovi napako in skoči na blok *catch*. Tam izklopi vidnost grafa in na gradniku Label2 izpiše »Za dan ni podatkov«.

Če podatki obstajajo v bloku *try*, se definirajo parametri za izris grafa in seštevanje količine električne energije, nato se z zanko *foreach*, s katero se sprehodimo po objektu DV. V zanki *foreach* se sešteva skupna količina električne energije. V bloku *if else* preverjamo format zapisa (AM/PM). V samem bloku *if else* lahko ponovno vidimo blok *try catch* za lovljenje napake pri formatu izpisa. S tem tako v bloku *if* kot v bloku *else* preverjamo lokacijo ure za kasnejšo uporabo. Ko se zanka *foreach* konča, dobljene podatke prikažemo na gradniku Char1.

4.4. Objava spletne strani na strežnik IIS

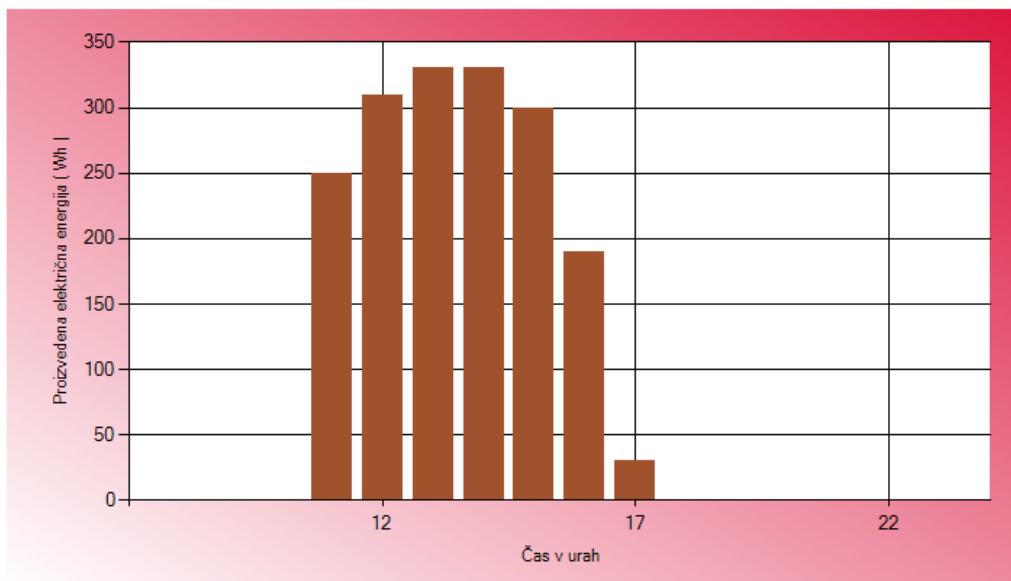
Novejši operacijski sistemi Microsoft Windows (Od MS Windows 2000 naprej) omogočajo vklop spletnega strežnika Internet Information Services (IIS). Spletni strežnik IIS je produkt Microsofta in podpira različne spletne aplikacije, med njimi je tudi spletna aplikacija ASPX.NET. Za vključitev in delovanje je potrebno v sistemskih nastavitvah poiskati Windows Futures, kjer vklopimo IIS.

Po vzpostavitvi spletnega strežnika IIS, smo nanj naložili spletno aplikacijo. Programsko okolje Microsoft Visual Studio 2010 nam ponuja vmesnik, s katerim lahko spletno aplikacijo naložimo na že aktiven strežnik IIS. V oknu Solution Explorer kliknemo z desno tipko miške na naš projekt (spletna aplikacija) in kliknemo Publish. Pojavi se nam okno Publish Web, v katerega vpišemo naslov strežnika (v našem primeru localhost) in kliknemo Publish (slika 4.11).

Izbrani dan: 21. oktober 2012

september		oktober 2012					november
pon	tor	sre	čet	pet	sob	ned	
24	25	26	27	28	29	30	
1	2	3	4	5	6	7	
8	9	10	11	12	13	14	
15	16	17	18	19	20	21	
22	23	24	25	26	27	28	
29	30	31	1	2	3	4	

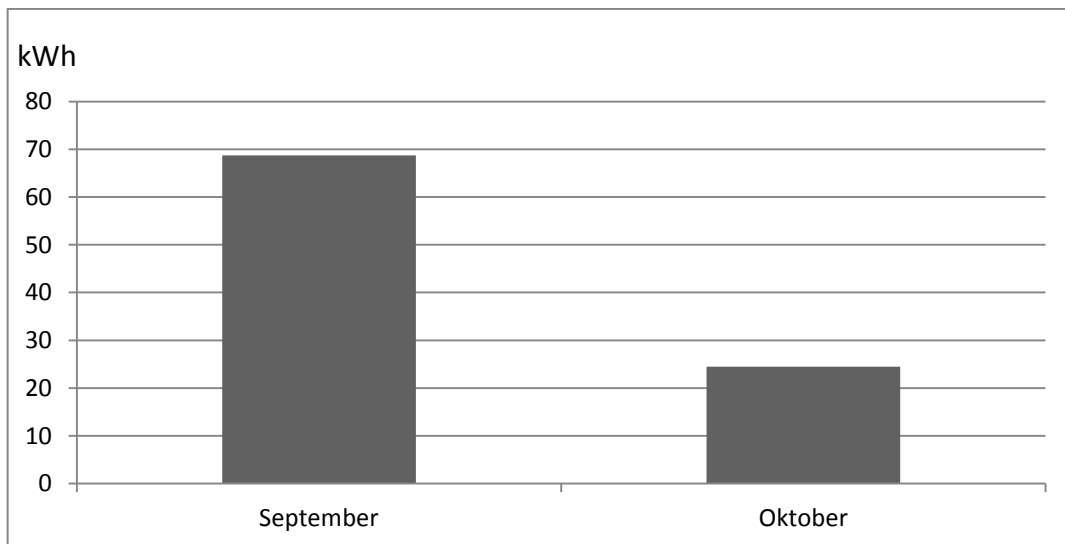
Celotna dnevna pridobitev sončne energije je: 1740 Wh
Za mesecni izris kliknite [tukaj](#)



Slika 4.11 Spletna stran

5. Učinkovitost računalniško podprtega fotonapetostnega sistema

Učinkovitost izgrajenega računalniško podprtega fotonapetostnega sistema lahko že nekaj mesecev opazujemo in imamo tako na voljo tudi že nekaj realnih podatkov (slika 5.1). Tako je bilo v mesecu septembru proizvedene za 68,7 kWh električne energije, kar pomeni, da je bila dnevna proizvedena električna energija 2,2 kWh. Številka bi lahko bila tudi večja, saj je imel sistem v določenih dnevih presežek električne energije, ki pa je nismo mogli nikjer shraniti (premalo akumulatorjev). Za mesec oktober pa je bilo proizvedene električne energije 24,5 kWh, povprečno na dan torej 777 Wh. Iz tega lahko sklepamo, da je bila v mesecu septembru vreme bolj naklonjeno proizvodnji električne energije. [16]



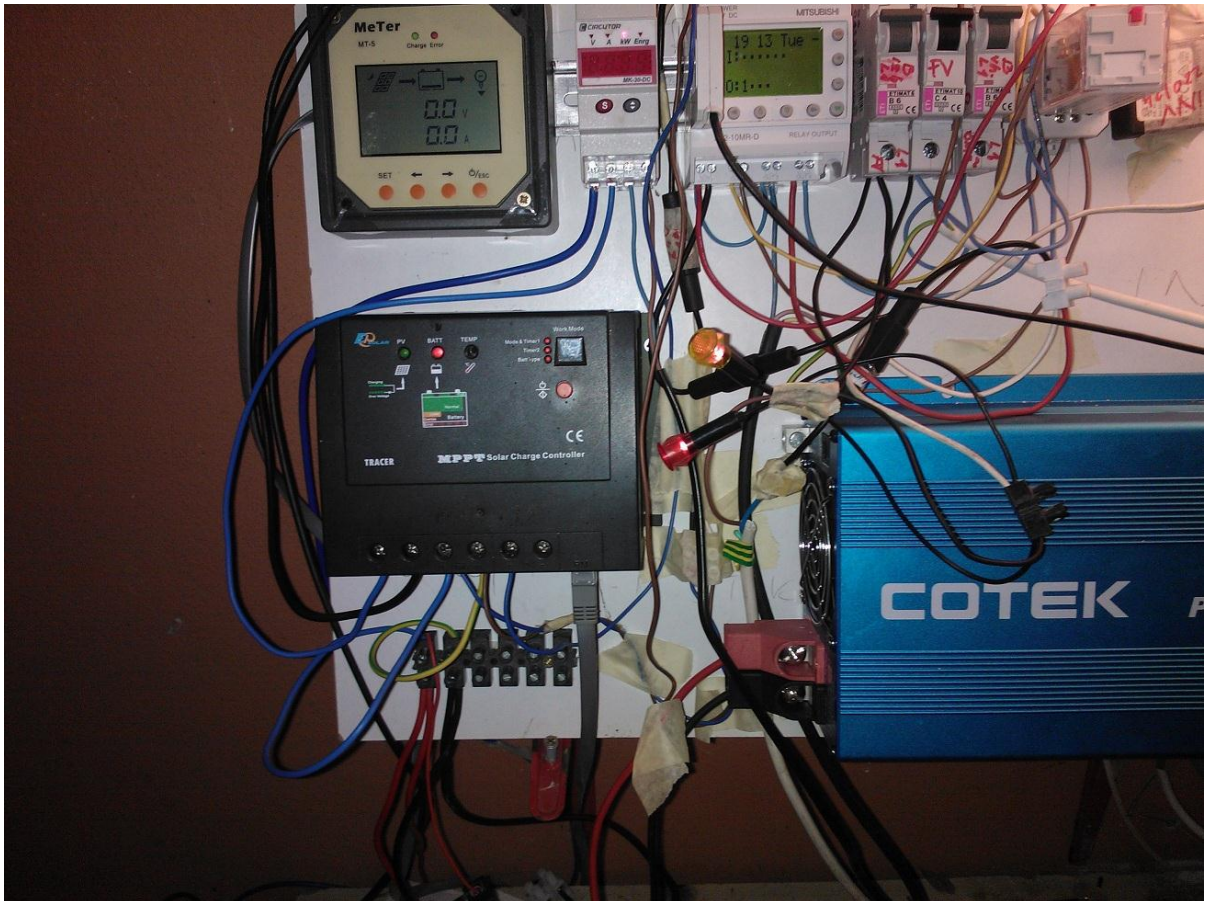
Slika 5.1 Grafikon proizvedene električne energije v mesecu septembru in oktobru

Na tem mestu pa bi radi poudarili še en vidik izgradnje samostojnega fotonapetostnega sistema, to je zmanjšanje porabe električne energije, ki jo pridobivamo iz distribucijskega omrežja. V našem primeru je zmanjšana povprečna poraba električne energije zaradi vgrajenega samostojnega fotonapetostnega v mesecu septembru znašala 385 kWh (visoka tarifa). Naš sistem je v mesecu septembru proizvedel 68,7 kWh, kar v povprečju zmanjša mesečno plačilo električne energije za 17,6 odstotka.

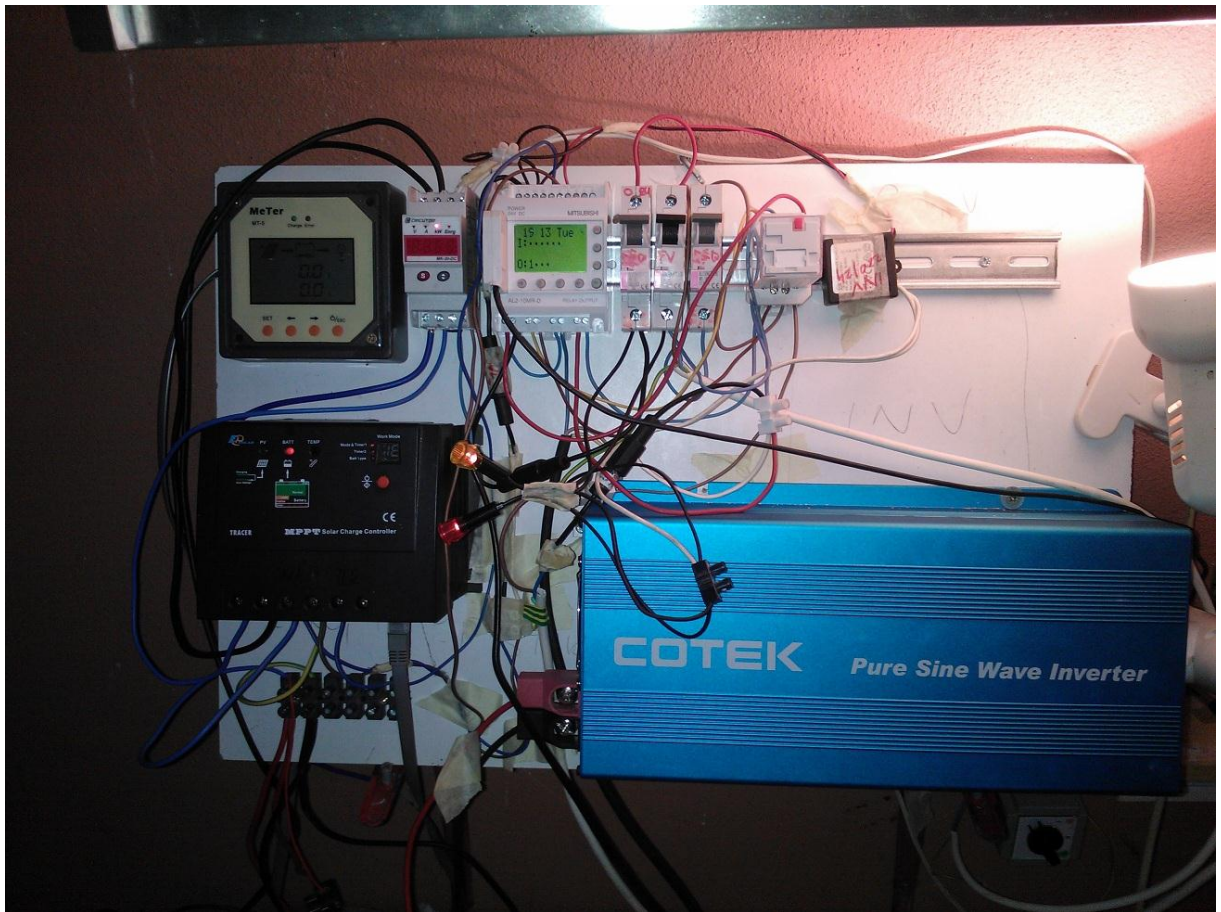
Če sedaj izračunamo še, kdaj se nam bo investicija v fotonapetostni sistem povrnila, moramo najprej proizvedeno električno energijo iz samostojnega fotonapetostnega sistem pomnožiti s

ceno kWh (pri našem distributerju omrežja je 0,063 €/kWh), torej: $68,7 \text{ kWh} * 0,063 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 4,32 \text{ €}$. Sedaj moramo temu izračuni prišteti še omrežnino distributerja, prispevke in trošarino (v našem primeru 0,043 €/kWh, 1,5€, 2,2€) $(68 \text{ kWh} * 0,043 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}) + 4,32\text{€} \approx 11 \text{ €}$.

Naša investicija v samostojni fotonapetostni sistem je ocenjena na 1.700 evrov. Glede na trenutne cene električne energije bi se investicija v samostojni fotonapetostni sistem povrnila v približno enajstih letih. Ker pa se bo cena električne energije v prihodnosti najverjetneje še povečevala, se bo investicija povrnila prej kot v enajstih letih.



Slika 5.2 Računalniško podprt samostojni fotonapetostni sistem v obratovanju



Slika 5.3 Celovit računalniško podprt samostojni fotonapetostni sistem

6. Zaključek

Glavni prispevek diplomske naloge je prikaz načrtovanja, izdelave in uporabe računalniško podprtega samostojnega fotonapetostnega sistema. Model predstavljenega sistema bi lahko implementirali v zasebne objekte (na primer stanovanjske hiše). S tem bi prihranili pri stroških, poleg tega bi lahko prek brskalnika v realnem času spremljali podatke o proizvedeni električni energiji in posledično o prihrankih, ki bi jih dosegli s tem. Prednost sistema, kot smo ga pokazali, je tudi v tem, da njegov uporabnik ne potrebuje znanja za izgradnjo takšnega računalniško podprtega samostojnega fotonapetostnega sistema.

Izboljšave zgrajenega fotonapetostnega sistema pa so seveda tudi še možne. Ena od pomembnejših izboljšav je, da bi avtomatiziranemu sistemu dodali napravo, ki bi preprečila začasno prekinitev dobave električne energije porabnikom. Druga pomembna izboljšava bi bila nadgradnja spletne strani, ki bi prikazovala mesečno proizvedeno električno energijo (sedaj samo dnevno). Tretja izboljšava pa bi lahko bila nakup programa Circutor SqlDataExport, s katerim bi dobili redno osvežene in bolj organizirane podatke. A nakup tega programa bi se obrestoval le v primeru, ko bi tak fotonapetostni sistem postal tudi širše (tržno) zanimiv.

Sklenem lahko, da ima fotovoltaika pred seboj svetlo prihodnost. Z novimi tehnologijami in izboljšavami, predvsem vse boljšim izkoristkom sončnih celic in povečanjem kapacitete akumulatorjev, lahko rečem, da bo v tem, še bolj pa v prihodnjem desetletju sončna energija prednjačila pred drugimi oblikami pridobivanja energije. Edina alternativa, ki deluje na podoben način, kot deluje sonce, je fuzija, ki pa je, da bi jo lahko širše uporabljali, po napovedih strokovnjakov oddaljena še vsaj nekaj desetletij.

Po drugi strani pa je tudi res, da bo prehod od fosilnih na obnovljive vire energije precej težak in bo predstavljal velik korak za človeka. Morda pa bo k hitrejšemu prehodu pomagala tudi današnja kriza, ki človeka postavlja na križišče. Na njem pa je, ali bo izbral pravo pot, ki je gotovo tudi v obnovljivih virih energije. Prepričan sem, da bo naša civilizacija s prihodom novih generacij krenila na pravo pot, kjer bo sonce svetilo vsem ljudem («Ubi sol lucet omnibus»), kot je izjavil Petronius že pred približno dva tisoč leti.

Literatura

- [1] (2012) History of Photovoltaic cell. Dostopno na: http://www.schoolgen.co.nz/se/pv_history.aspx
- [2] Izidor Šenekar, *Diplomsko delo: Oskrba povprečne slovenske hiše z električno energijo*. Maribor: Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, 2009
- [3] (2012) PV portal. Dostopno na: <http://pv.fe.uni-lj.si>
- [4] (2012) Izračun donosnosti. Dostopno na: <http://www.energijasonca.si/index.php?page=izracun-donosnosti>
- [5] (2012) Solar power in Germany. Dostopno na: http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_power_in_Germany
- [6] (2012) Sončno obsevanje. Dostopno na: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/countries/countries-europe.htm>
- [7] Nina Šrot, *Diplomsko delo: Geografski pogoji rabe sončne energije (fotovoltaika) v Sloveniji in na Portugalskem*. Ljubljana: Filozofska fakulteta, oddelek za geografijo, 2007
- [8] (2012) Solar Facts. Dostopno na: <http://www.solar-facts.com/>
- [9] (2012) Brightgreenenergy. Dostopno na: http://www.brightgreenenergy.co.uk/Charge_Controller_Regulator_General_information.asp
- [10] (2012) National Instruments. Dostopno na: <http://www.ni.com/white-paper/8106/en>
- [11] ASSAD ABU-JASSER. (2009, November) A STAND-ALONE PHOTOVOLTAIC SYSTEM, CASE STUDY: A RESIDENCE IN. Dostopno na: <http://www.trisanita.org/jases/asespaper2010/ases09v5n1y2010.pdf>
- [12] (2012) Velog. Dostopno na: <http://www.akumulator.si/>
- [13] (2012) Inea. Dostopno na: <http://www.inea.si/>
- [14] (2012) Belmet. Dostopno na: <http://www.belmet.si/Home.aspx>
- [15] Mouse and keyboard recorder. Dostopno na: <http://www.ilovefreesoftware.com/22/windows/productivity/free-mouse-keyboard-recorder-repeat-actions.html>

- [16] Vreme mesec september. Dostopno na:
<http://forum.zevs.si/index.php?action=printpage;topic=4742.0>
- [17] (2012) Letna rast Fotovoltaike. Dostopno na: <http://optics.org/indepth/3/8/4>
- [18] Anton Čižman, *Procesno računalništvo*. Kranj: Moderna organizacija, 1999
- [19] Viloz Michel Labouret Anne, *Solar photovoltaic energy*. London: The Institution of Engineering and Technology, 2010
- [20] Hoffmann Volker U. Goetzberger Adolf, *Photovoltaic solar energy generation*. Berlin; New York: Springer, cop., 2005

A. Izvorna koda spletne strani default.aspx

```

<%@ Page Language="C#" AutoEventWireup="true" CodeBehind="default.aspx.cs"
Inherits="Circutor.prikaz" %>

<!DOCTYPE html PUBLIC "-//W3C//DTD XHTML 1.0 Transitional//EN"
"http://www.w3.org/TR/xhtml1/DTD/xhtml1-transitional.dtd">

<html xmlns="http://www.w3.org/1999/xhtml">
<head runat="server">
  <title></title>
</head>
<body>
  <form id="form1" runat="server">
    <div>
      Izbrani dan:
      <asp:Label ID="Label3" runat="server" Font-Bold="True" Font-Size="Medium"
        ForeColor="#333399"></asp:Label>
      <br />
      <asp:Label ID="Label1" runat="server" Visible="False"></asp:Label>
      <br />
      <br />
      <asp:Calendar ID="Calendar1" runat="server"
        onselectionchanged="Calendar1_SelectionChanged" BackColor="White"
        BorderColor="White" BorderWidth="1px" Font-Names="Verdana" Font-Size="9pt"
        ForeColor="Black" Height="190px" NextPrevFormat="FullMonth" Width="350px">
        <DayHeaderStyle Font-Bold="True" Font-Size="8pt" />
        <NextPrevStyle Font-Bold="True" Font-Size="8pt" ForeColor="#333333"
          VerticalAlign="Bottom" />
        <OtherMonthDayStyle ForeColor="#999999" />
        <SelectedDayStyle BackColor="#333399" ForeColor="White" />
        <TitleStyle BackColor="White" BorderColor="Black" BorderWidth="4px"
          Font-Bold="True" Font-Size="12pt" ForeColor="#333399" />
        <TodayDayStyle BackColor="#CCCCCC" />
      </asp:Calendar>&nbsp;
      <br />
      Celotna dnevna pridobitev sončne energije je:
      <asp:Label ID="Label2" runat="server" Visible="False" Font-Bold="True"
        Font-Size="Medium" ForeColor="Red"></asp:Label>
      &nbsp;Wh<br />
      <asp:SqlDataSource ID="SqlDataSource1" runat="server"
        ConnectionString="<%$ ConnectionStrings:circutorConnectionString %>"
        ProviderName="<%$ ConnectionStrings:circutorConnectionString.ProviderName
%>"

        SelectCommand="SELECT dan,vrednost FROM meritve WHERE dan like
CONCAT(@dan,'%');">
        <SelectParameters>
          <asp:ControlParameter ControlID="Label1" Name="dan"
PropertyName="Text"
          Type="String" />
        </SelectParameters>
      </asp:SqlDataSource>
      <br />
      <asp:GridView ID="GridView1" runat="server" AutoGenerateColumns="False"
        DataSourceID="SqlDataSource1">
      </asp:GridView>
      <br />
      <asp:Chart ID="Chart1" runat="server" BackColor="Crimson"
        BackGradientStyle="DiagonalRight" BackImageAlignment="Top"
        BackImageTransparentColor="White" BorderlineColor="Transparent"
Height="400px"

```

```

        Palette="Chocolate" Width="700px" Visible="False">

        </asp:Chart>
        <br />
    </div>
</form>
</body>
</html>

```

B. Izvorna koda spletne strani default.aspx.cs

```

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Linq;
using System.Web;
using System.Web.UI;
using System.Web.UI.WebControls;
using System.Web.UI.DataVisualization.Charting;
using System.Data;
using System.Data.SqlClient;

namespace Circutor
{
    public partial class prikaz : System.Web.UI.Page
    {
        protected void Page_Load(object sender, EventArgs e)
        {
        }

        protected void Calendar1_SelectionChanged(object sender, EventArgs e)
        {
            //Bere letnico, ki je bila izbrana in izlušči zadnji dve številki!
            String ZaddnjiLeto = Calendar1.SelectedDate.Year.ToString().Substring(2,
                2);
            //Shrani vrednost v label1 v formatu MM/DD/LL za kasnejše poizvedovanje po
            SQL bazi
            Label1.Text = Calendar1.SelectedDate.Month.ToString() + "/" +
                Calendar1.SelectedDate.Day.ToString() + "/" + ZaddnjiLeto;
            //V Label3 shrani polni zapis izbranega datuma
            Label3.Text = Calendar1.SelectedDate.ToLongDateString();
            //Beri SqlDataSource1
            DataView DV =(DataView)
                SqlDataSource1.Select(DataSourceSelectArguments.Empty);
            //Pomebno za ksanješo uporabo pri branju subStringa
            int Lokacija = Preberi(Calendar1.SelectedDate.Day,
                Calendar1.SelectedDate.Month);
            //V bloku try je zapisana celotna procedura za izris grafa
            try
            {
                //Za previranje ali je kaj podatkov v DV objektu, če ni vrne
                Exception -> lovi napako
                Label2.Text = DV[0].ToString();
                GridView1.Visible = true;
                Label2.Visible = true;
                Chart1.Visible = true;
                int DnevnaPridobitevWH = 0;
                //Ustvari serijo podatkov za graf po imenu Dan
            }
        }
    }
}

```

```

Series s2 = new Series("Dan");
s2.ChartArea = "Area1";

/*
 * Zanka foreach
 * Sprehodi se po objektu DV in riši graf
 * Seštej DnevnaPridobitevWH
 */
foreach (DataRowView DVr in DV)
{
    DnevnaPridobitevWH =DnevnaPridobitevWH+(
        Convert.ToInt32(DVr["vrednost"].ToString()));
    String Xos=null;
    String test = null;

    /*
        * Lepši prikaz podatkov uveden 24 ur sistem;
        blok (if else) AM or PM ?
        * branje ure z subStringom
        * 1.problem: baza prikaže uro 1:00:00 ali 10:00:00 uveden blok
        try catch da se teh posebnosti znebimo
        * 2.problem: lokacija začetka ure primer: prikaz oblike datuma
        7/7/12 ali 10/7/12 ali 10/30/12
        * Spremenljivka Lokacija reši problem.
    */

    //preverjaj končnjico AM ali PM
    if (DVr["dan"].ToString().EndsWith("AM"))
    {
        test = DVr["dan"].ToString().Substring(Lokacija, 2);
        //Lovi napako je "1" ali "10"
        try
        {
            {
                int stevilo = Convert.ToInt32(test);
                Xos = stevilo.ToString();
            }
            catch (Exception ex) {
                Xos = DVr["dan"].ToString().Substring(Lokacija, 1);
            }
        }
    }
    else {
        test = DVr["dan"].ToString().Substring(Lokacija, 2);
        //Lovi npako je "1" ali "10"
        try
        {
            {
                int stevilo = Convert.ToInt32(test);
                //Izredni primer ob 12 uri opoldan= 12 PM
                if (stevilo == 12)
                {
                    Xos = stevilo.ToString();
                }
                else
                {
                    //Prištej 12 (24 urna oblika)
                    Xos = (stevilo + 12).ToString();
                }
            }
        }
        catch (Exception ex)
        {

```

