

REFERAT - III

Viktor Martinčič, univ. dipl. inž. el.

ETI Elektroelement
viktor.martincic@eti.si

mag. Mitja Koprivšek, univ. dipl. inž. el.

ETI Elektroelement
mitja.koprivsek@eti.si

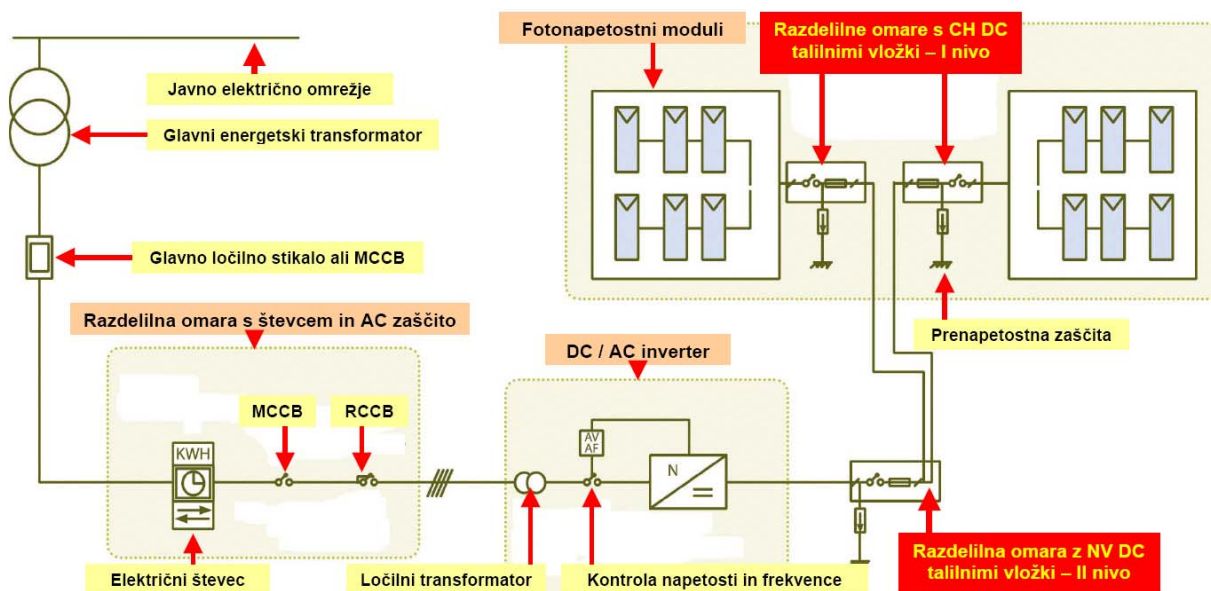
FOTONAPETOSTNI SISTEMI - PREGLED OBSTOJEČIH IN PRIPRAVA NOVIH IEC STANDARDOV ZA FOTOVOLTAIČNE VAROVALKE

Povzetek:

Fotonapetostni sistemi so eden od pomembnih bodočih alternativnih virov energije, ki bodo bistveno vplivali na izgradnjo elektroenergetskih sistemov. Zaradi svojih tehničnih lastnosti in posebnosti v projektiranju, izgradnji in obratovanju, so predvidene tudi spremembe v standardih za posamezne gradnike fotovoltaičnih sistemov. V prispevku so prikazane spremembe in dopolnitve standarda IEC 60269 za talilne varovalke, kjer bodo v posebnem delu definirani vsi tehnični pogoji za fotovoltaične talilne varovalke. Spremembe standarda so še v delovni fazi in še niso dokončne. Kljub temu že v tej fazi predstavljajo koristno informacijo o trendu razvoja na področju zaščitnih naprav v fotonapetostnih sistemih in bodo koristne za vse, ki se ukvarjajo z njimi.

1. UVOD

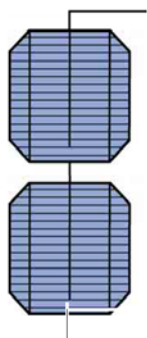
Izraz »fotonapetostni« sistemi, v nadaljevanju imenovani PV sistemi (iz angleške besede »PhotoVoltaic«) pomeni skupino vseh naprav in posameznih enot PV inštalacij, ki so potrebne za pravilno delovanje celega sistema. Na sliki 1. je prikazana tipična električna shema PV sistema, priključenega na javno elektroenergetsko omrežje.



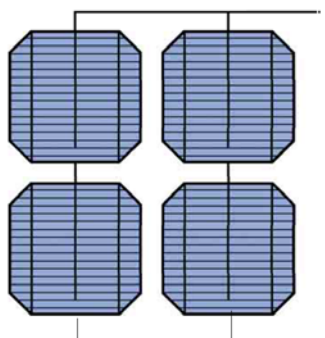
Slika 1.

V PV sistemih, ki na javno elektroenergetsko omrežje niso priključeni ali v PV sistemih manjših moči lahko katera od spodaj navedenih naprav ali enot tudi manjka, vendar pogledjmo najpomembnejše:

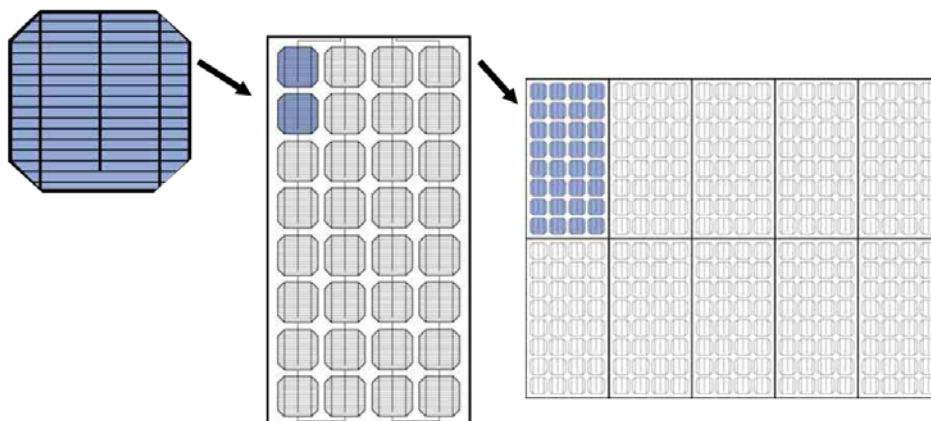
→ **PV moduli**, ki so v osnovi sestavljeni iz PV celic. Celice so v modulu povezane zaporedno, da dobimo željeno, dovolj visoko napetost (slika 2.) in nato še paralelno, da dosežemo zadostno vrednost toka (slika 3.). PV moduli so nato povezani v mrežo – ali polje (ang. Array, slika 4.), ki je osnovna enota za pretvorbo električne energije iz energije sonca.



Slika 2.



Slika 3.



Slika 4.

Tipični podatki modula s 60 zaporedno vezanimi celicami so:

- Vršna moč $P_{mpp} = 210\text{Wp}$
- Napetost vršne moči $U_{mpp} = 28,2\text{V}$
- Tok vršne moči $I_{mpp} = 7,45\text{A}$
- Napetost odprtih sponk $U_{oc} = 36,5\text{V}$
- Kratkostični tok $I_{sc} = 8,15\text{A}$

- **Podporne strukture in zaščitna ohišja**, ki skrbijo za zaščito vseh elementov PV inštalacije pred vremenskimi in ostalimi vplivi okolice
- **Nizkonapetostni ločilniki, običajno v kombinaciji s taljivimi varovalkami**, s katerimi odklopimo posamezne dele inštalacije – na primer en modul ali celotno DC vejo
- **Inverterji**, ki konvertirajo enosmerni tok (DC) v izmenični tok (AC)
- **Kabli, razdelilne omare, varovalke, ločilniki, stikala**
- **Prenapetostna zaščita**
- **Ločilni transformatorji, kontrolniki napetosti in frekvence, števcji, močnostni odklopniki MCCB, zaščitna stikala na diferenčni tok (RCCB)**
- **Akumulatorji**, ki skrbijo za shranjevanje energije za čas ko jo potrebujemo (samo v primeru samostojnega PV sistema)
- **Zaščitno-kontrolne enote**, ki preprečujejo preveliko napolnjenost akumulatorjev (tudi samo v samostojnih PV sistemih)

2. PREDSTAVITEV OBSTOJEČIH STANDARDOV ZA PV INŠTALACIJE

Za tehnične lastnosti, preizkušanje in certificiranje zgoraj naštetih elementov seveda obstaja cela vrsta standardov, ki so bili v začetni fazi neodvisno razviti in uporabljeni v posameznih državah, oziroma z (včasih zelo agresivnim) vplivom različnih proizvajalcev oz. ponudnikov PV sistemov.

Zahteve za PV sisteme so seveda različne v industrijsko razvitih državah v primerjavi z željami in zmožnostmi v manj razvitih državah, kjer je tudi s pomočjo PV sistemov električna energija sedaj dobavljiva tudi na zelo oddaljenih lokacijah.

Na nivoju IEC (mednarodne elektrotehnične zveze) standarde pripravlja več različnih tehničnih komitejev (TC). Zaradi vse večje razpršenosti in neenotnih smeri razvoja uporabnih lastnosti elementov PV

inštalacij, kakor tudi zaradi bliskovitega razvoja in uporabe fotovoltaike v praksi, ki smo mu priča v zadnjih nekaj desetletjih, so na nivoju IEC ustanovili tehnični komite TC82 s polnim imenom **TC82 »Solar photovoltaic energy systems«**.

TC82 je bil ustanovljen 1981, predvidena področja njegovega delovanja pa so bila predvsem v pripravi mednarodnih standardov za sisteme pretvarjanja sončne energije v električno energijo in sicer za vse elemente celotnega fotonapetostnega sistema (glej dokument SMB/3321/R – Strategic Policy Statement, Junij 2005).

V tem kontekstu je pod nazivom »celoten fotonapetostni sistem« potrebno razumeti celotno področje od začetnega vstopa svetlobe v sončno celico do končne točke kjer se v PV sistemu pridobljena električna energija porablja za različne namene uporabe.

V nadaljevanju bodo po številčnem vrstnem redu predstavljeni trenutno veljavni standardi, ki jih je v zadnjih letih izdal **TC82** (navedene so samo verzije v angleškem jeziku, za večino od omenjenih standardov obstajajo tudi verzije v francoščini in španščini):

- **IEC 60891 (1987-04) Ed.1.0**
Procedures for temperature and radiance corrections to measured I-U characteristics of crystalline silicon photovoltaic devices
(Kratek prevod: Postopki za korekcijo temperature in žarenja pri meri I-U karakteristike PV celice iz kristalnega silicija)
- **IEC 60891-Am1 (1992-06) Ed.1.0**
Amendment 1 - Procedures for temperature and radiance corrections to measured I-U characteristics of crystalline silicon photovoltaic devices
(Kratek prevod: Dodatek 1 - Postopki za korekcijo temperature in žarenja pri meri I-U karakteristike PV celice iz kristalnega silicija)
- **IEC 60904-1 (2006-09) Ed.2.0**
Photovoltaic devices – Part 1: Measurement of photovoltaic current-voltage characteristics
(Kratek prevod: Merjenje fotonapetostne tokovno-napetostne karakteristike)
- **IEC 60904-2 (2007-03) Ed.2.0**
Photovoltaic devices – Part 2: Requirements for reference solar devices
(Kratek prevod: Zahteve za referenčne PV celice)
- **IEC 60904-3 (2008-04) Ed.2.0**
Photovoltaic devices – Part 3: Measurement principles for terrestrial photovoltaic (PV) solar devices with reference spectral irradiance data
(Kratek prevod: Merilni postopki z referenčnimi podatki žarenja za PV celice)
- **IEC 60904-5 (1993-10) Ed.1.0**
Photovoltaic devices – Part 5: Determination of the equivalent cell temperature (ETC) of photovoltaic (PV) devices by the open-circuit voltage method
(Kratek prevod: Določanje ekvivalentne temperature celice (ETC) PV celice z metodo napetosti odprtega vezja)
- **IEC 60904-7 (2008-11) Ed.3.0**
Photovoltaic devices – Part 7: Computation of the spectral mismatch correction for measurements of photovoltaic devices
(Kratek prevod: Izračun spektralno neskladnih korekcij za merjanje PV celic)
- **IEC 60904-8 (1998-02) Ed.2.0**
Photovoltaic devices – Part 8: Measurement of spectral response of a photovoltaic (PV) device
(Kratek prevod: Merjenje spektralnega odziva PV celice)
- **IEC 60904-9 (2007-10) Ed.2.0**
Photovoltaic devices – Part 9: Solar simulator performance requirements
(Kratek prevod: Zahteve za lastnosti solarnega simulatorja)
- **IEC 60904-10 (1998-02) Ed.1.0**
Photovoltaic devices – Part 10: Methods of linearity measurement
(Kratek prevod: Metode za merjenje linearnosti)

- **IEC 61194 (1992-12) Ed.1.0**
Characteristic parameters of stand-alone photovoltaic (PV) systems
(Kratek prevod: Metode za merjenje linearnosti)
- **IEC 61215 (2005-04) Ed.2.0**
Crystalline silicon terrestrial photovoltaic (PV) modules – Design, qualification and type approval
(Kratek prevod: Kristalno Silicijevi fotonapetostni moduli – zahteve za klasifikacijo in tpsko preizkušanje)
- **IEC 61345 (1998-02) Ed.1.0**
UV test for photovoltaic (PV) modules
(Kratek prevod: UV test za PV module)
- **IEC 61646 (2008-05) Ed.2.0**
Thin-film terrestrial photovoltaic (PV) modules - Design, qualification and type approval
(Kratek prevod: Tanko-plastni fotonapetostni moduli – zahteve za klasifikacijo in tpsko preizkušanje)
- **IEC 61683 (1999-11) Ed.1.0**
Photovoltaic systems – Power conditioners – Procedure for measuring efficiency
(Kratek prevod: PV sistemi – Stanje energije – Postopki za merjenje učinkovitosti)
- **IEC 61701 (1995-03) Ed.1.0**
Salt mist corrosion testing of photovoltaic (PV) modules
(Kratek prevod: Testiranje PV modulov v slani megli)
- **IEC 61702 (1995-03) Ed.1.0**
Rating of direct coupled photovoltaic (PV) pumping systems
(Kratek prevod: Učinkovitost direktno spojenih PV sistemov)
- **IEC 61724 (1999-04) Ed.1.0**
Photovoltaic systems performance monitoring – Guidelines for measurement, data exchange and analysis
(Kratek prevod: Nadzor lastnosti PV sistemov – Navodila za merjenje, izmenjavo podatkov in analizo)
- **IEC 61725 (1997-05) Ed.1.0**
Analytical expression for daily solar profiles
(Kratek prevod: Analitična formula za določanje dnevnih sončnih profilov)
- **IEC 61727 (2004-12) Ed.2.0**
Photovoltaic (PV) systems – Characteristics of the utility interface
(Kratek prevod: PV sistemi – Karakteristike unergetskega vmesnika)
- **IEC 61730-1 (2004-10) Ed.1.0**
Photovoltaic (PV) module safety qualification –Part 1: Requirements for construction interface
(Kratek prevod: Varnostne zahteve za PV module – Prvi del: Konstrukcijske zahteve)
- **IEC 61730-2 (2004-10) Ed.1.0**
Photovoltaic (PV) module safety qualification –Part 1: Requirements for testing
(Kratek prevod: Varnostne zahteve za PV module – Drugi del: Zahteve za testiranje)
- **IEC 61829 (1995-03) Ed.1.0**
Crystalline silicon photovoltaic (PV) array – On-site measurement of I-U characteristic
(Kratek prevod: Kristalno silicijevo PV polje (mreža) – Neposredno merjenje I-U karakteristike)
- **IEC/TS 61836 (2007-12) Ed.2.0**
Solar photovoltaic energy systems – Terms, definitions and symbols
(Kratek prevod: Solarni fotonapetostni energetske sistemi – Termini, definicije in simboli)
- **IEC 62093 (2005-03) Ed.1.0**
Balance-of-System components for photovoltaic systems – Design qualification natural environments
(Kratek prevod: Sistemsko neuravnotežene komponente fotonapetostnih sistemov – Uvrstitev v naravno okolje)
- **IEC 62108 (2007-12) Ed.1.0**
Concentrator photovoltaic (CPV) module and assemblies – Design qualification and type approval
(Kratek prevod: Zbiralni PV moduli in enote – Ocena konstrukcije in tipskih preizkusov)

- **IEC 62116 (2008-09) Ed.1.0**
Test procedure of islanding prevention measures for utility-interconnected photovoltaic inverters
(Kratek prevod: Testni postopki za preventivno izolacijo PV inverterjev, priključenih na javno električno omrežje)
- **IEC 62124 (2004-10) Ed.1.0**
Photovoltaic (PV) stand alone systems – Design verification
(Kratek prevod: Samostojni PV sistemi – Verifikacija konstrukcije)
- **IEC/TS 62257-1 (2003-08) Ed.1.0**
Recommendation for small renewable energy and hybrid systems for rural electrification –Part 1:
General introduction to rural electrification
(Kratek prevod: Priporočila za manjše obnovljive in mešane energetske sisteme za elektrifikacijo podeželja – Prvi del:
Splošna predstavitev elektrifikacije podeželja)
- **IEC/TS 62257-2 (2004-05) Ed.1.0**
Recommendation for small renewable energy and hybrid systems for rural electrification –Part 2:
From requirements to a range of electrification systems
(Kratek prevod: - Drugi del: Od zahtev do serije sistemov elektrifikacije)
- **IEC/TS 62257-3 (2004-11) Ed.1.0**
Recommendation for small renewable energy and hybrid systems for rural electrification –Part 3:
Project development and management
(Kratek prevod: – Tretji del: Razvoj in vodenje projekta)
- **IEC/TS 62257-4 (2005-07) Ed.1.0**
Recommendation for small renewable energy and hybrid systems for rural electrification –Part 4:
System selection and design
(Kratek prevod: – Četrti del: Izbor in načrtovanje sistema)
- **IEC/TS 62257-5 (2005-07) Ed.1.0**
Recommendation for small renewable energy and hybrid systems for rural electrification –Part 5:
Protection against electrical hazards
(Kratek prevod: – Peti del: Zaščita pred električnimi tveganji)
- **IEC/TS 62257-6 (2005-06) Ed.1.0**
Recommendation for small renewable energy and hybrid systems for rural electrification –Part 6:
Acceptance, operation, maintenance and replacement
(Kratek prevod: – Šesti del: Odobritev, delovanje, vzdrževanje in zamenjava)
- **IEC/TS 62257-7 (2008-04) Ed.1.0**
Recommendation for small renewable energy and hybrid systems for rural electrification –Part 7:
Generators
(Kratek prevod: – Sedmi del: Generatorji)
- **IEC/TS 62257-7-1 (2006-12) Ed.1.0**
Recommendation for small renewable energy and hybrid systems for rural electrification –Part 7-1:
Generators – Photovoltaic arrays
(Kratek prevod: – Sedmi del -1: Generatorji – fotonapetostna polja)
- **IEC/TS 62257-7-3 (2008-04) Ed.1.0**
Recommendation for small renewable energy and hybrid systems for rural electrification –Part 7-3:
Generator set – Selection of generator sets for rural electrifications systems
(Kratek prevod: – Sedmi del - 3: Generatorski niz – Izbor generatorskih nizov za elektrifikacijo podeželja)
- **IEC/TS 62257-8-1 (2007-06) Ed.1.0**
Recommendation for small renewable energy and hybrid systems for rural electrification –Part 8-1:
Selection of batteries and battery management systems for stand-alone electrification systems –
Specific case of automotive flooded lead-acid batteries available in developing countries
(Kratek prevod: – Osmi del - 1: Izbor baterij in polnilnih sistemov zanje za samostojne sisteme elektrifikacije – Poseben
primer uporabe svinčevega avromobilskega akumulatorja)

- **IEC/TS 62257-9-1 (2008-09) Ed.1.0**
Recommendation for small renewable energy and hybrid systems for rural electrification –Part 9-1: Micropower systems
(Kratek prevod: – Deveti del - 1: Mikrosistemi)
- **IEC/TS 62257-9-2 (2006-10) Ed.1.0**
Recommendation for small renewable energy and hybrid systems for rural electrification –Part 9-2: Microgrids
(Kratek prevod: – Deveti del - 2: Mikromreže)
- **IEC/TS 62257-9-3 (2006-10) Ed.1.0**
Recommendation for small renewable energy and hybrid systems for rural electrification –Part 9-3: Integrated system – User interface
(Kratek prevod: – Deveti del - 3: Integrirani sistemi – Uporabniški vmesnik)
- **IEC/TS 62257-9-4 (2006-10) Ed.1.0**
Recommendation for small renewable energy and hybrid systems for rural electrification –Part 9-4: Integrated system – User installation
(Kratek prevod: – Deveti del - 4: Integrirani sistemi – Priključitev uporabnika)
- **IEC/TS 62257-9-5 (2007-06) Ed.1.0**
Recommendation for small renewable energy and hybrid systems for rural electrification –Part 9-5: Selection of portable PV lanterns for rural electrification projects
(Kratek prevod: – Deveti del - 5: Izbor prenosnih PV svetilk za projekte elektrifikacije podeželja)
- **IEC/TS 62257-9-6 (2008-09) Ed.1.0**
Recommendation for small renewable energy and hybrid systems for rural electrification –Part 9-6: Integrated system – Selection of Photovoltaic Individual Electrifications Systems (PV-IES)
(Kratek prevod: – Deveti del - 6: Integrirani sistemi - Izbor individualnih PV sistemov elektrifikacije (PV-IES))
- **IEC/TS 62257-12-1 (2007-06) Ed.1.0**
Recommendation for small renewable energy and hybrid systems for rural electrification –Part 12-1: Selection of self-ballasted lamps (CFL) for rural electrification systems and recommendations for household lighting equipment
(Kratek prevod: – Dvanajsti del -1: Izbor CFL svetilk za uporabo v podeželskih elektroenergetskih sistemih in nasveti za izbiro svetilne opreme za gospodinjstva)

3. PREDSTAVITEV PREDLOGA STANDARDA IEC 62548

Kot se iz gornjega pregleda standardov za področje PV sistemov vidi, obstaja množica informacij, navodil in usmeritev za posamezne elemente ali primere uporabe PV inštalacij. Ne obstaja pa nek skupen dokument, ki bi združeval različne zahteve za PV inštalacije, varnostne napotke, smernice za izbor osnovnih elementov itd.

Tehnični komite TC 82 WG 3 (Systems, sestavljena iz 31 ekspertov iz različnih držav) se je zato odločil pripraviti nov standard, s katerim bi uporabniku olajšali delo na projektiranju PV sistemov. Novembra 2007 je TC82 WG3 pripravil dokument 82/514/CD (Comitee Draft), ki bo služil kot osnova za pripravo standarda IEC 60548 Ed.1 z nazivom »Installation and Safety Requirements for Photovoltaic (PV) Generators«, torej varnostne in konstrukcijske zahteve za PV generatorje.

Ta dokument je v osnovi izpeljan iz standarda IEC/TS 62257-7-1 »Recommendation for small renewable energy and hybrid systems for rural electrification –Part 7-1: Generators – Photovoltaic arrays«, seveda z nekaterimi dodatki in popravki kot naprimer:

- V točki 6.2. so definirane specifikacije za posamezne komponente v zvezi s »kategorijo uporabe opreme«, torej so usklajene z IEC 61730. Za module, ločilna stikala, vtičnice in ostali materila v PV inštalacijah so torej soločeni osnovni tehnični podatki in zahteve.
- Obnovljene, oz. revidirane so zahteve za PV kable
- Dodana je metoda oz. način »sestavljanja, montaže« PV kablov, t.i. »erection method«

- Dodane so osnovne zahteve za varovalke, torej kakšen tip varovalk se lahko uporablja v PV inštalacijah

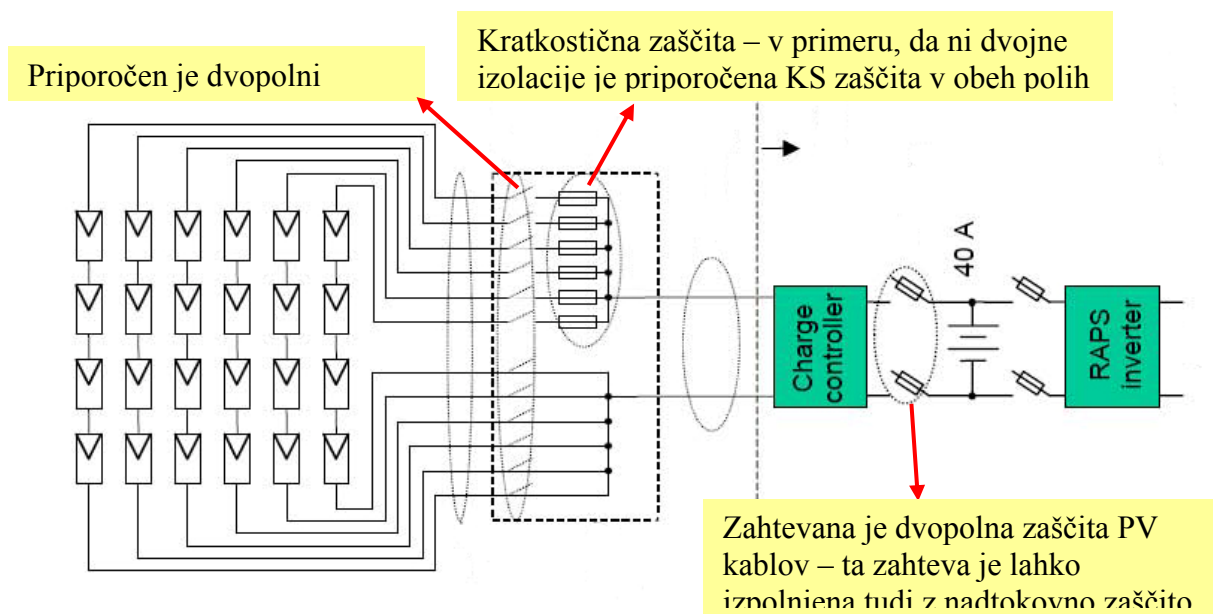
Kratek pregled posameznih pomembnejših točk predloga IEC 62548:

4. Konstrukcija (4.1. Električni del, 4.2. Mehanski del)
5. Varnostna vprašanja (5.1. Zaščita pred dotikom in ognjem, 5.2. Pretokovna zaščita, 5.3. Prenapetostna zaščita)
6. Izbor in montaža električne opreme (6.2. Zahteve za komponente – PV moduli, PV mreža, stikalne enote, kabli, vtičnice, spojne enote, varovalke, By-pass diode, Blocking diode, 6.3. Osnovne zahteve za namestitvev in instalacijo – ozemlitev, sredstva za izključitev)
7. Tehnična potrditev – mora biti izvedena po zahtevah standarda IEC62446
8. Delovanje in vzdrževanje
9. Označevanje in dokumentacija

Annex B – Primeri uporabe

V dokumentu je 82/514/CD je predstavljenih 8 različnih praktičnih primerov – tako samostojnih kot tistih priključenih na omrežje, z različnimi načini ozemljitve. Praktično so prikazani postopki za dimezioniranje posameznih elementov, zaščitnih enot, izračun kablov itd.

Naslednji primer je tipičen, zato ga predstavljamo tudi v tem prispevku:



Opomba: Električni podatki mreže, način ozemljitve, število modulov in ostali podatki so razvidni v dokumentu 82/514/CD (TS 62257-1) v primeru C2 na strani 53.

4. PREDSTAVITEV PREDLOGA STANDARDA IEC 60269-6

Iz dosedanjega opisa standardizacije na področju PV sistemov vidimo torej trend po čimpodrobnejši specifikaciji lastnosti posameznih elementov PV inštalacij.

To je tudi razlog, da se je **SC32B** (IEC tehnični komite za nizkonapetostne varovalke) na svojem zadnjem sestanku, Oktobra 2008 odločil izdelati predlog osnutka novega dela standarda IEC 60269 in sicer IEC 60269-6: »Supplementary requirements for fuse-links for the protection of solar photovoltaic energy systems«, torej »Dodatne zahteve za varovalke za zaščito solarnih fotonapetostnih energetskih sistemov«.

Decembra 2008 je bil izdan dokument **32B/532/NP** (New Work Item Proposal), ki nekoliko podrobneje predstavlja okvire, v katerih naj bi bile načrtovane taljive varovalke za PV sisteme. Ker so lastnosti PV varovalk bližje lastnostim varovalk za zaščito polprevodnikov, smo se odločili (SLO tudi sodeluje v delu IEC SC32B), da bo to delo spadalo v delovno skupino MT9 (priprava standardov za IEC 60269-4 »Supplementary requirements for fuse-links for the protection of semiconductor devices«

Za kratkostično zaščito PV sistemov se varovalke uporabljajo že danes, vendar so izkušnje pokazale, da varovalke z obstoječimi lastnostmi ne zadostujejo v popolnosti zahtevam moderne kratkostične zaščite PV sistemov.

V PV inštalacijah namreč ni možnosti pojava izredno velikih kratkostičnih tokov, zato so tudi zahtevani – predvideni testi izklopne zmogljivosti drugačni. Tudi časovne konstante enosmernega (PV) vezja so v primerjavi s standardnimi zahtevami (v IEC 60269-2) relativno nizke in so običajno pod 2ms. Prav tako še niso dokončno določene nazivne vrednosti napetosti. Zaenkrat je to vrednost max. 1.500V d.c. pri toku do 32A.

V primeru okvare ene PV celice oz enega PV modula ga mora varovalka izklopiti – tako namreč preprečimo, da bi se energija iz celotne mreže porazdelila tudi po okvarjenemu modulu – zato morajo PV varovalke imeti relativno nizke tokove delovanja – primer:

- I_{nf} – spodnji, »non-fusing« tok je definiran kot $1,1I_n$,
- I_f – zgornji, »fusing« tok je definiran kot $1,45I_n$

Za pripravo pripomb in predlogov na dokument 32B/532/NP je še dovolj časa, do 20.03. 2009 je samo rok za potrditev predloga o uvedbi tega novega standarda.

Naslednji sestanek IEC SC32B MT9 je predviden za začetku meseca maja 2009. Do takrat lahko vsak zainteresiran, ki ima izkušnje na področju PV inštalacij preko SIST TC EVA pošlje svoje predloge za dopolnitev posameznih poglavij osnutka standarda IEC60269-6 (dokument 32/532/NP z dne 16.12.2008).

Kot zanimivost naj navedem, da še ni določeno – dogovorjeno, v kakšnem konvencionalnem času naj bi I_{nf} in I_f sploh delovala (3600 s kot naprimer v IEC60269-2 je vsekakor predolg čas za PV aplikacije). Tudi cela množica ostalih parametrov PV talilnih vložkov še ni določena, torej vabimo vse udležence »Kotnikovih dni« v Radencih, da nam posredujejo svoje izkušnje s področja PV inštalacij.

Viri:

1. Dokumenti dostopni na <http://www.iec.ch>
2. Andy Walker PhD PE, Photovoltaic Technology
3. Prospektni material BISOL d.o.o., <http://bisol.si>
4. ETI d.d. Izlake, interno izobraževalno gradivo