

9. SLOVENSKA FOTOVOLTAIČNA KONFERENCA

SLO-PV 2023

7. junij 2023

Meritve FN instalacij - v teoriji in praksi

Meritve FN instalacij, teoretične podlage, merilne metode ter uporaba in izvedba
le teh v realnem okolju

Predavatelj:
Pavel Prelog



Vsebina

1. Meritve na FN instalacijah
2. Podlage za izvajanje meritev
3. Merilne metode
4. Meritev izolacije na DC strani
5. Merjenje I/U karakteristike

Meritve na FN instalacijah

Osnova je standard **EN 62446-1**

To je živ standard, ki se stalno spreminja in dopoljuje

Zadnje spremembe:

- Standard je razbit na 3 dele
 - Part 1: Grid connected systems - Documentation, commissioning tests and inspection
 - Part 2: Grid connected systems - Maintenance of PV systems
 - Part 3: Outdoor infrared thermography of photovoltaic modules and plants
- Maksimalna sistemska napetost je dvignjena na 1500 V
- Dodani so novi testi
- Dopolnjene so metode pregledov (inspections)
- Ter še nekaj drugih sprememb

Ostali standardi vezani na meritve v FN instalacijah

- **IEC 60364-7-712**
Electrical installations of buildings – Part 7-712: Requirements for special installations or locations – Solar photovoltaic (PV) power supply systems
- **IEC 60891**
Photovoltaic devices – Procedures for temperature and irradiance corrections to measured I-V characteristics
- **IEC 60904 –1**
Measurement of photovoltaic current–voltage characteristics
- **IEC 61853-1**
Irradiance and Temperature Performance Measurements and Power Rating
- **IEC 61829:2016**
Crystalline silicon photovoltaic (PV) array – On-site measurement of I-U characteristics

Meritve na FN instalacijah

- Standard EN 62446-1 razdeli meritve na dva režima:
 - A) Na **kategorijo 1**, ki zajema:
 - teste na AC strani v skladu s standardom IEC 60364-6
 - ter teste na DC strani:
 - a) Neprekinjenost ozemljitvenih povezav
 - b) Test polaritete
 - c) **Combiner box test**
 - d) Test odprto zančne napetosti (U_{oc}) FN niza **ali snopa**
 - e) Test kratkostičnega toka (I_{sc}) FN niza **ali snopa**
 - f) Funkcijski test
 - g) Test izolacijske upornosti
 - h) V zadnji, še neveljavni verziji standarda, so dodani še preizkusi IMD in RCM naprav

Meritve na FN instalacijah

B) Na **kategorijo 2**, ki poleg testov kategorije 1 zajema še:

- a) Meritev I/U karakteristike FN niza ali snopa
 - b) Pregled FN instalacije z IR kamero
-
- Standard predvideva še nekaj dodatnih testov, ki pa se jih izvaja samo v specifičnih situacijah:
 - a) Napetost proti zemlji (izvaja se v primeru, ko- proizvajalec modulov zahteva visokoohmsko povezavo proti zemlji)
 - b) Test blokirne diode – izvaja se samo v instalacijah, kjer je ta dioda uporabljena
 - c) Test vlažne izolacije
 - d) Ocena senčenja

Meritve na FN instalacijah

- Za izvedbo naštetih pregledov in meritve so potrebni ustrezeni instrumenti ki so prilagojeni naravi enosmernih FN instalacij
- Potrebno je zagotoviti varno uporabo teh instrumentov, ustrezeno funkcionalnost in ustrezne karakteristike (1500 V, DC tokovi do nekaj 10 A)



Maksimalno 1000 V
in 15 A



MI 3109
Instrument za meritve in
preizkušanje DC strani FN
instalacij



A 1378
Za beleženje temp. celice in
osvetlitve



A 1400
PV temperaturna
sonda



A 1427
Merilna PV celica

MI 3108

Kombiniran instrument za meritve in preizkušanje DC in AC strani FN instalacij

NOVO!

MI 3115 in MI 3114

PV instrumenti za 1500 V FN sisteme



MD 9260
DC klešče, 1500 V
Op: že v prodaji



PV Analyser
MI 3115
Category 2 tester
1500 V, 20 A

PV Tester
MI 3114
Category 1 tester
1500 V, 20 A

PV Remote WL
A 1785
Remote PV unit with Wi-Fi
for real-time connectivity

Meritve karakteristik jalovih moči skladno z navodili za priključevanje in obratovanje proizvodnih naprav in hraničnikov priključenih v distribucijsko omrežje



Zakonodajni okvir - SONDSEE 2020, Priloga 5:

- Pogoji glede na moč;
- Pogoji glede na napetostni nivo;
 - Meritev sposobnosti proizvodnje in porabe jalove moči;
 - Testiranje karakteristike jalove moči;
 - Testiranje stabilnosti in odzivnosti jalove moči.

Delovna moč PN	Nap. nivo priklopa	TIP PN (RfG)	Zagotavljanje skladnosti	Vrsta PN	Št. faz priklopa	Karakteristika jalove moči	Karakteristika delovne moči	Zaščita na LM	Način obratovanja
0 W < P_{PN} < 800 W	NN	--	--	vse	1	--	--	Z-Uf-A ali ekviv. vsebovana	P
800 W ≤ P_{PN} < 3,7 kW	NN	A	ENOSTAVEN postopek	vse	1 ali 3	--	D-1	Z-Uf-A	M, P
3,7 kW ≤ P_{PN} < 10,0 kW	NN	A	ENOSTAVEN postopek	vse	1*** ali 3	--	D-1		
10,0 kW < P_{PN} ≤ 150 kW	NN	A	ENOSTAVEN postopek	vse	3	--	D-1	Z-Uf-B ali Z-Uf-A	M, P
150 kW < P_{PN} < 250 kW	NN	B	POENOSTAVLJEN postopek	vse	3	J-N3	D-1	Z-Uf-B	M, P
	SN *	B	STANDARDEN postopek	vse	3	J-S1	D-1		
250 kW ≤ P_{PN} < 5,0 MW	SN	B	STANDARDEN postopek	vse	3	J-S1	D-1, D-2, D-3	Z-Uf-B	M, P
	NN **	B	POENOSTAVLJEN postopek	vse	3	J-N3	D-1, D-2, D-3		
5,0 MW ≤ P_{PN} < 20,0 MW	SN	C	RAZŠIRJEN postopek	vse	3	J-S2	D-2, D-3	Z-Uf-C	M, P
20,0 MW ≤ P_{PN}	SN	D	POPOLN postopek	vse	3	J-S2	D-2, D-3	Z-Uf-C	M, P

Meritve na AC strani



MI 3108

Kombiniran instrument za meritve in preizkušanje DC in AC strani FN instalacij



MI 3155 EurotestXD

Multifunkcijski instrument za meritve in preizkušanje NN instalacij



MI 3144 Impedance adapter

Instrument za merjenje impedance zanke med inverterjem in transformatorjem pri velikih FN elektrarnah
400/800 V → 20 kV

Merjenje izolacijske upornosti FN modulov ali nizov

Metoda 1 merjenja izolacije, opisana v standardu IEC 62446, ima za posledico dve vrednosti:

R_{OC+} Izolacijska upornost med pozitivnim izhodom in zemljo

R_{OC-} izolacijska upornost med negativnim izhodom in zemljo

Metoda 2, opisana v standardu, vrne samo eno vrednost:

Izolacijska upornost R_{SC} med izhodi v kratkem stiku in zemljo

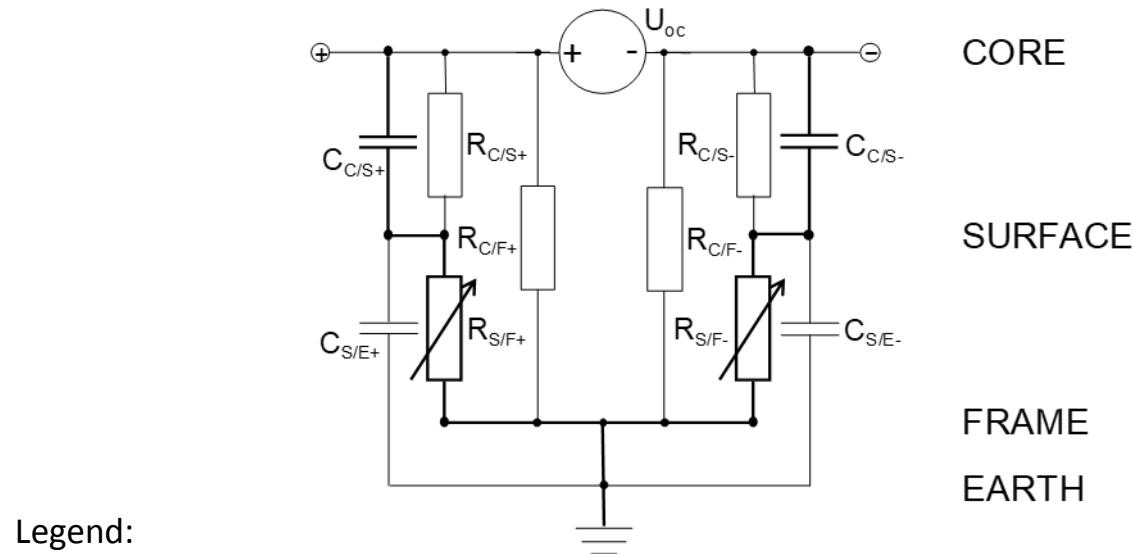
Da bi dobili primerljive rezultate, je treba obe vrednosti prve metode pretvoriti v rezultat z eno samo vrednostjo. To je mogoče storiti s spodnjo enačbo, ki temelji na električnem nadomestnem modelu fotonapetostnih modulov oz. nizov in vrne enako vrednost ali vrednost zelo blizu izolacijskega upora, izmerjenega z metodo 2:

$$R_{OC} = \frac{U_{OC}}{U_M} \times \frac{R_{OC+} \times R_{OC-}}{R_{OC+} - R_{OC-}} \quad R_{OC} \cong R_{SC}$$

Za natančno vrednost R_{OC} mora biti osvetlitev med meritvami stabilna!

Merjenje izolacijske upornosti FN modulov ali nizov

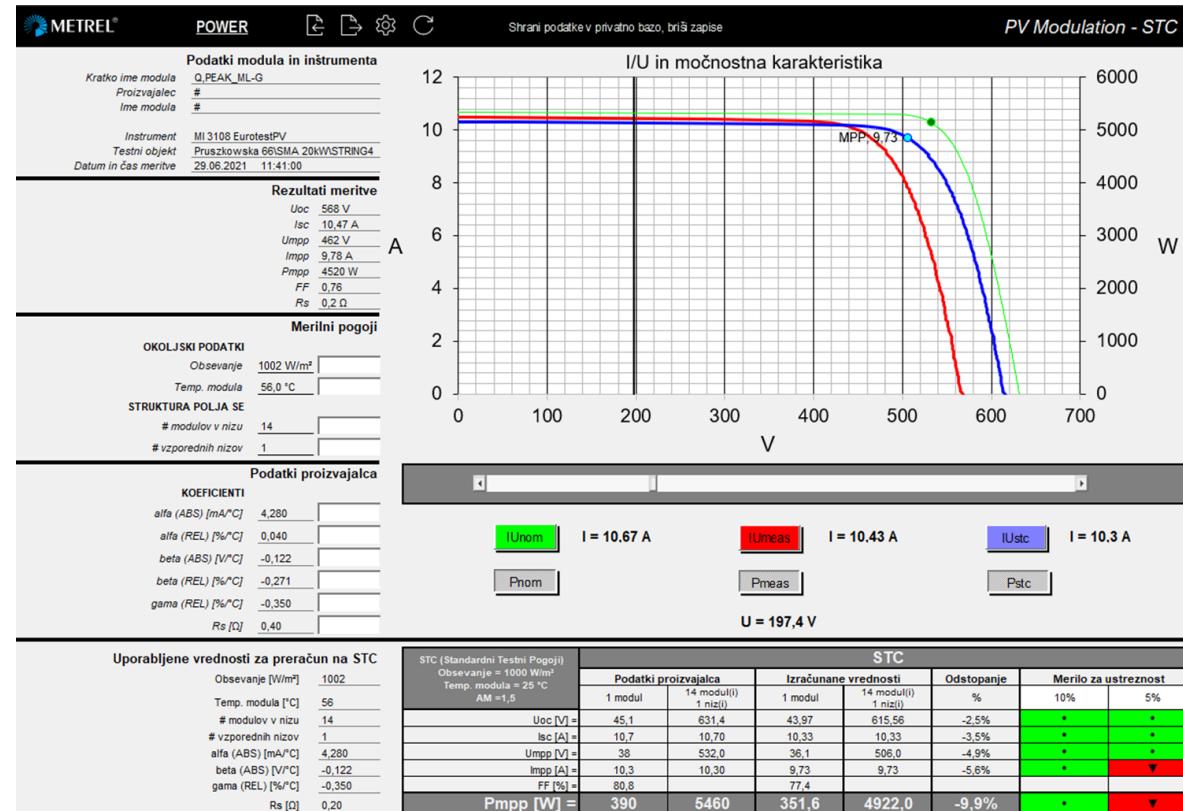
Električna nadomestna shema fotonapetostnih modulov
(z vidika merjenja izolacije)



$R_{C/S}$	Upornost materialov med jedrom in površino modula (običajno plast EVA folije in stekla na sprednji strani ter EVA folije na hrbtni strani modula)
$R_{C/F}$	Upornost materialov med jedrom in okvirjem
$R_{S/F}$	Upornost med površino modula in okvirjem
$C_{C/S}$	Kapacitivnost med jedrom in površino modula
$C_{S/E}$	Kapacitivnost med površino modula in zemljo

Merjenje I/U karakteristike FN modulov ali nizov

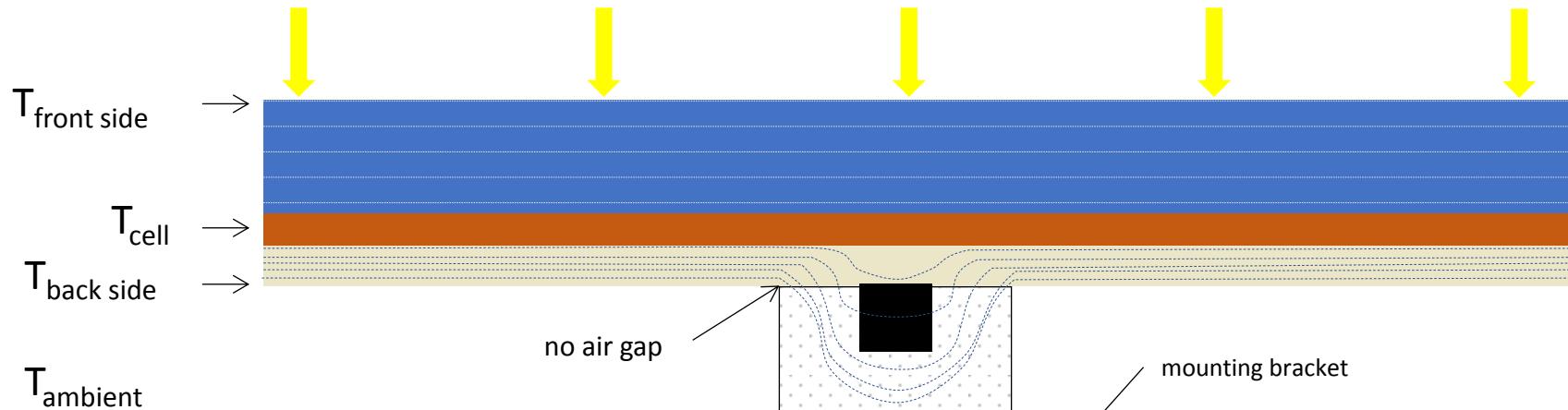
- Rezultati meritev FN modulov so odvisni od mnogo dejavnikov zato brez ustrezone obdelave (interpretacije) izmerjenih vrednosti ovrednotenje le teh običajno ni možno.
- I/U karakteristika FN modulov je odvisna od tehničnih lastnosti samih modulov in od trenutne temperature FN celice ter osvetlitve.
- Da omogočimo ovrednotenje rezultatov se le te preračuna na standardne testne pogoje (STC), postopki in enačbe so jasno opisani v standardu



Teh STC preračunov se zaradi kompleksnosti ne izvaja ročno, to je vgrajeno v programsko opremo instrumentov in računalnikov.

Merjenje I/U karakteristike FN modulov ali nizov

Pogoj za kvalitetno meritev je tudi točen zajem temperature FN celice in osvetlitve.



Nekaj minut po tem, ko je senzor pritrjen, se temperaturne črte upognejo proti temperturnemu senzorju in izmerjena temperatura je zelo blizu temperaturi celice.

PRAVILNA PRITRDITEV
SEZORJEV JE POGOJ ZA
DOBRO MERITEV!

