

TESTAREA LA DESCĂRCĂRI ATMOSFERICE INDIRECTE A SISTEMELOR SOLARE FOTOVOLTAICE

Șef lucr. dr. ing. Marius Daniel CĂLIN¹, Prof. dr. ing. Elena HELEREA²

¹ Universitatea „Transilvania“ din Brașov, Facultatea de Inginerie Electrică
și Știința Calculatoarelor

REZUMAT. Sistemele fotovoltaice prezintă unele riscuri la utilizarea lor în mediul ambiant exterior, principalul risc fiind susceptibilitatea lor la descărcările atmosferice. Lucrarea are ca scop testarea la lovituri indirecte de trăsnet a unui sistem solar special, orientat într-un mod care facilitează utilizarea luminii solare în orice moment al zilei. O procedură de testare la lovituri indirecte de trăsnet a sistemelor fotovoltaice este implementată și o soluție de creștere a imunității sistemului PV la supratensiuni tranzitorii datorate trăsnetului este testată. Procedura de testare la descărcări indirecte de trăsnet poate fi adaptată oricărui sistem electric, precum linii industriale, roboți.

Cuvinte cheie: Descărcare atmosferică; lovitură de trăsnet; supratensiune tranzitorie; sisteme fotovoltaice; imunitate electromagnetică.

ABSTRACT. The photovoltaic systems present some risks related to their use in outdoor environment, the main being their susceptibility to lightning atmospheric discharges. The paper focus on the testing to indirect lightning surge of a special PV solar system, oriented in a manner that uses sunlight at any time of the day. A testing procedure to indirect lightning discharges on PV systems was implemented and a solution to increase the PV test bench immunity to lightning surge was tested. The testing procedure to indirect lightning discharges can be further extended to any other electrical systems, such as industrial lines, machine tools, robots.

Keywords: Atmospheric discharge; lightning surge; transient overvoltage; PV systems; electromagnetic immunity.

1. INTRODUCERE

Utilizarea surselor de energie regenerabilă este necesară în contextul asigurării dezvoltării unei societăți durabile, precum sursa regenerabilă de energie solară, materializată prin utilizarea sistemelor solare fotovoltaice.

Panourile solare fotovoltaice (PV) sunt utilizate în general în mediul exterior, unde o serie de condiții climatice le afectează performanțele. Cel mai important factor de risc îl constituie prezența fenomenelor orajoase. Se estimează că în fiecare secundă au loc în jur de 100 de lovituri de trăsnet și se manifestă simultan circa 2000 de furtuni pe tot globul pământesc [4, 6, 11].

Efectele loviturilor de trăsnet sunt de două tipuri: descărcarea directă de trăsnet, care afectează primar integritatea structurală a panoului PV și poate provoca incendii în sistemul de distribuție electrică și la instalațiile din vecinătate, respectiv descărcarea indirectă de trăsnet, care afectează în principal parametrii electrici ai panourilor fotovoltaice și circuitele electrice și electronice ale echipamentelor

conectate la rețeaua fotovoltaică, precum invertoarele electrice, sursele de stocare a energiei electrice, sarcinile conectate la rețeaua PV [2, 9, 16].

Lucrarea tratează efectul descărcărilor atmosferice indirecte, în particular asupra funcționării sistemelor fotovoltaice și abordează soluții de creștere a imunității electromagnetice a acestora la loviturile indirecte de trăsnet.

2. LOVITURA INDIRECTĂ DE TRĂSNET

Loviturile indirecte de trăsnet se evidențiază prin propagarea undelor de șoc care apar datorită cuplajelor de natură electromagnetică, induse în circuitele electrice aflate în vecinătatea producerii descărcării atmosferice directe.

În timpul unei furtuni cu descărcări atmosferice, valorile medii înregistrate pentru curentul de trăsnet sunt cuprinse între 5-100 kA, cu o durată de câteva microsecunde, în funcție de mărimea furtunii. Astfel, la producerea unei creșteri bruște a curentului într-un timp foarte scurt, apar supratensiuni

tranzitorii induse care pot produce numeroase defecțiuni, comutări false și alte probleme care afectează calitatea energiei electrice în alimentarea sistemelor tehnice [5, 8, 14].

Există diverse studii care abordează modelarea și simularea impulsului specific loviturii indirecte de trăsnet. Într-un studiu realizat de Ursachi C. în 2015, expresia matematică a impulsului de creștere este abordată în detaliu [15]. Pulsul de supratensiune este modelat folosind funcția dublă exponențială:

$$i(t) = I_m (e^{-\alpha t} - e^{-\beta t}) \quad (1)$$

sau mai relevant:

$$i(t) = I_m (1 - e^{-\alpha t}) \cdot e^{-\beta t} \quad (2)$$

Expresia prezintă un maxim I_m și un punct de inflexiune în ramura descendentă, iar parametrii α și β modelează forma de undă și stabilesc timpii de creștere și de scădere proprii impulsului. Este o funcție relativ simplă care poate fi integrată și derivată cu ușurință.

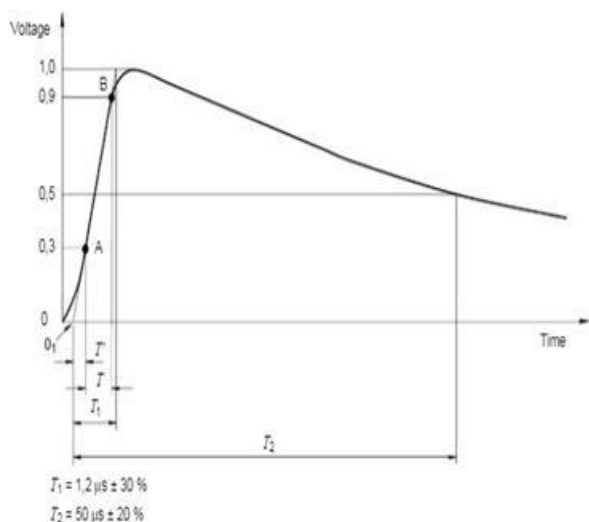


Fig. 2.1. Forma de undă a unui impuls de trăsnet [7]

Conform standardului IEC 61000-4-5, parametrii principali ai unui impuls de supratensiune sunt: timpul de creștere de $1,2 \mu s (\pm 30\%)$ și timpul de scădere de $50 \mu s (\pm 20\%)$.

Măsuri protective de minimizare a efectelor loviturilor indirecte de trăsnet sunt necesare a fi implementate, în funcție de topologia locală a rețelelor electrice. Principalele măsuri protective sunt: implementarea de tehnici eficiente de împământare electrică a sistemelor electrice, care vizează crearea unei căi de minimă impedanță către pământ; utilizarea conductoarelor de ecranare în conexiunile electrice, cu rol de ecranare electromagnetică; introducerea de rezistoare de pre-insertie, cu rol de atenuare a curenților tranzitorii; introducerea de condensatoare de supratensiune, cu rol de reducere a potențialului tranzitoriu de înaltă tensiune nedorită la

sol, respectiv utilizarea descărcătoarelor de supratensiune, care asigură conducerea efectivă a curenților tranzitorii datorati loviturii indirecte de trăsnet la rețeaua de împământare electrică [1, 3, 10, 12, 13, 17].

3. TESTAREA UNUI SISTEM FOTOVOLTAIC LA LOVITURI INDIRECTE DE TRĂSNET

Un sistem solar PV, orientat într-un mod care facilitează utilizarea luminii solare în orice moment al zilei, face obiectul testării la lovituri indirecte de trăsnet (Fig.3.1).



Fig. 3.1. Vedere a sistemului fotovoltaic orientat 180° după lumina solară.

Standul PV este alcătuit din 9 panouri fotovoltaice monocristaline, dispuse semi-sferic pe un cadru din aluminiu.

Testarea standului PV la descărcare atmosferică indirectă s-a efectuat conform următoarei configurații de încercare (Fig.3.2).



Fig. 3.2. Vedere a sistemului fotovoltaic testat la lovituri indirecte de trăsnet.

Standul de testare include un generator de supratensiune pentru simularea loviturii indirecte de trăsnet, tip Voltage Surge Simulator VSS 500N10 prevăzut cu doi electrozi de descărcare, respectiv un osciloscop digital pentru analiza formelor de undă, atât a impulsurilor de supratensiune și curenți tranzitorii generate, cât și a supratensiunii și a curenților tranzitorii induși în rețeaua electrică a sistemului PV care alimentează o sarcină rezistivă.

TESTAREA LA DESCĂRCĂRI ATMOSFERICE INDIRECTE A SISTEMELOR SOLARE FOTOVOLTAICE

S-au efectuat două configurații de testare, în absența și la introducerea unui descărcător de supratensiune, ca măsură principală de minimizare a efectelor loviturilor indirecte de trăsnet (Fig.3.3).

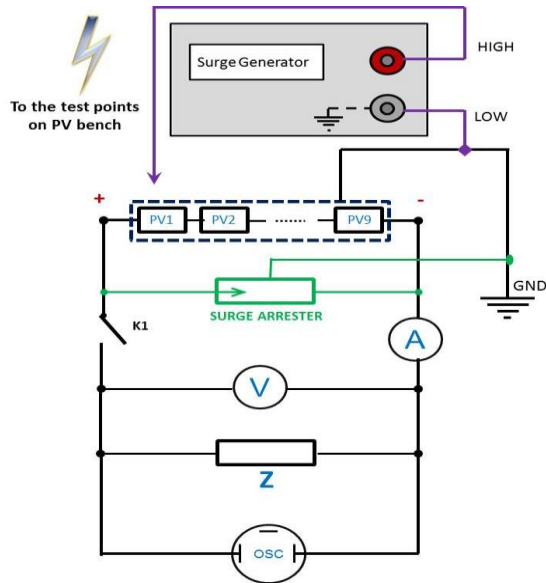


Fig. 3.3. Schema electrică a sistemului PV testat la lovituri indirecte de trăsnet

Osciloscopul este prevăzut cu 4 canale având următoarele funcții: monitorizarea supratensiunii U_{surge} pe canalul CH1, respectiv monitorizarea curentului tranzitoriu I_{surge} pe canalul CH2 de la ieșirea generatorului de supratensiune; măsurarea tensiunii induse U_{stand} pe canalul CH3, respectiv măsurarea curentului indus I_{stand} pe canalul CH4, ca mărimi tranzitorii care apar în circuitul electric al standului PV la lovitura indirectă de trăsnet. Toate testele s-au efectuat într-o încălț ecranată electromagnetic, eficientă în domeniul de frecvență 0 - 18 GHz, conform normativului IEEE 299.

Rezultatele testării la lovituri indirecte de trăsnet sunt redată în Tabelul 1, respectiv în Fig.3.3 - 3.6.

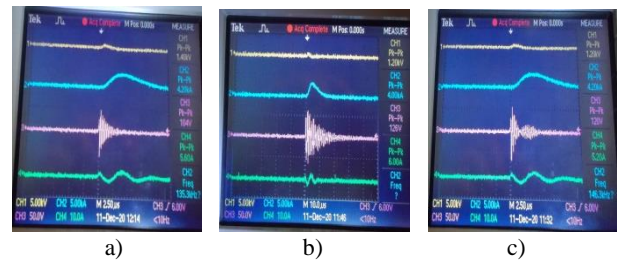


Fig. 3.4. Oscilogramme ale sistemului PV testat la lovituri indirecte de trăsnet, în absența descărcătorului de supratensiune
a) 2kV, 10Ω b) 2kV, 50Ω c) 2kV, 100Ω

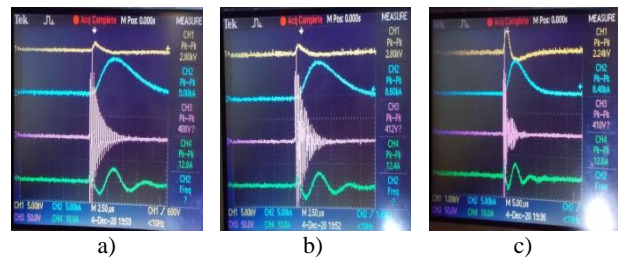


Fig. 3.5. Oscilogramme ale sistemului PV testat la lovituri indirecte de trăsnet, în absența descărcătorului de supratensiune
a) 5kV, 10Ω b) 5kV, 50Ω c) 5kV, 100Ω

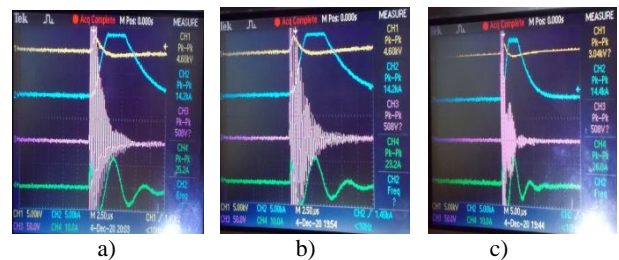


Fig. 3.6. Oscilogramme ale sistemului PV testat la lovituri indirecte de trăsnet, în absența descărcătorului de supratensiune
a) 10kV, 10Ω b) 10kV, 50Ω c) 10kV, 100Ω

Tabelul 1. Date de măsurare a sistemului PV sub influența loviturii indirecte de trăsnet

Supra-tensiune [kV]	Sarcină [Ω]	$U_{\text{surge_pk}}$ [kV]	$I_{\text{surge_pk}}$ [kA]	$U_{\text{stand_pk}}$ [V]	$I_{\text{stand_pk}}$ [A]
2	10	1,4	4,2	104	5,6
	50	1,4	4,2	134	6
	100	1,2	4,2	120	5,2
4	10	2,2	7,4	312	10
	50	2	7,2	296	10,4
	100	2	7,2	338	10
5	10	2,8	9	408	12,8
	50	2,8	8,6	412	12,4
	100	2,24	8,4	410	12,8
6	10	3	10,2	454	14
	50	3	10,2	436	16
	100	3	10,2	470	14,8
8	10	3,8	13,2	508	18,8
	50	3,8	13,2	508	20,8
	100	3,8	13,2	508	20
10	10	4,6	14,2	508	25,2
	50	4,6	14,2	508	23,2
	100	3,04	14,4	508	26

Tabelul 2. Date de măsurare a sistemului PV prevăzut cu descărcător de supratensiune, sub influența loviturii indirecte de trăsnet

Supra-tensiune [kV]	Sarcină [Ω]	U _{surge_pk} [kV]	I _{surge_pk} [kA]	U _{stand_pk} [V]	I _{stand_pk} [A]
2	10	0,84	5,6	92	3,2
	20	0,84	5,6	98	3,2
	50	0,84	5,4	94	3,2
5	10	1,96	5,8	382	4,8
	20	1,92	5,6	380	5,2
	50	1,88	5,4	378	5,2
10	10	1,88	5,6	474	5,6
	20	1,92	5,8	476	6,4
	50	1,92	5,6	474	6,4

Rezultatele testării sistemului PV prevăzut cu descărcător de supratensiune, sub influența loviturii indirecte de trăsnet sunt sistematizate în Tabelul 2.

4. INTERPRETAREA REZULTATELOR

Rezultatele obținute la testele de lovituri indirecte de trăsnet sunt sistematizate grafic în Fig.3.7 - 3.8.

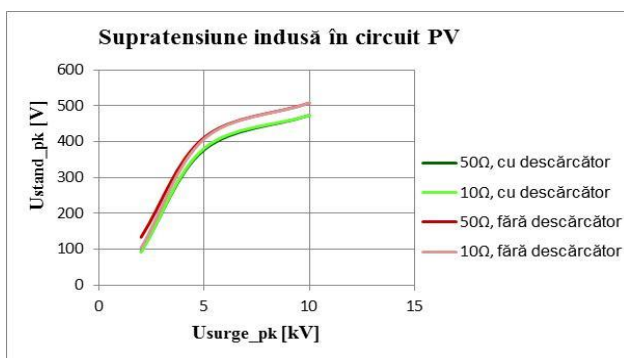


Fig. 3.7. Supratensiunea indusă în sistemul PV

Supratensiunea indusă în standul PV la un impuls de trăsnet aplicat de 10kV scade cu 7% la utilizarea soluției cu descărcător, de la 508V la 474V.

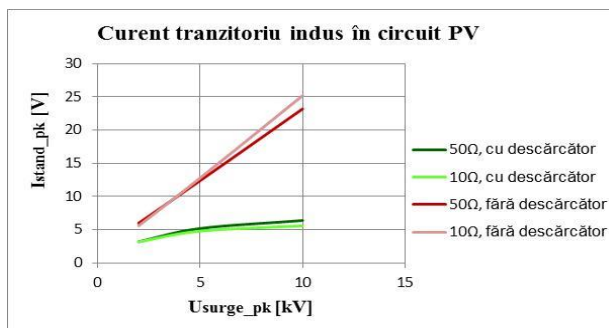


Fig. 3.7. Curentul tranzitoriu indus în sistemul PV

Curentul tranzitoriu indus în standul PV la un impuls de trăsnet aplicat de 10kV scade cu 75% la utilizarea soluției cu descărcător, de la 24,2A la 6A.

5. CONCLUZII

Soluția de minimizare a efectelor loviturilor indirecte de trăsnet tratată în lucrare atestă utilitatea introducerii descărcătorului de supratensiune în circuitul electric al sistemelor PV. Imunitatea electromagnetică generală a sistemului PV testat s-a îmbunătățit considerabil, luând în considerare curenții tranzitori induși la aplicarea unui impuls de trăsnet de 10 kV, prin diminuarea lor în medie cu 75%, de la valorile de vârf de 24 A la 6 A.

MULȚUMIRI

Autorii mulțumesc pentru sprijinul primit de la compania STEINEL Management SRL România, privind utilizarea sistemului PV orientat 180° solar.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Ayub A.S., Siew W.H., Peer F., *Grounding strategies for solar PV panels*, IEEE Int. Symp. on EMC and IEEE Asia-Pacific Symp. on EMC, 2018, Singapore.
- [2] Belik M., *PV panels under lightning conditions*, 15th Int. Sc. Conf. on Electric Power Eng., 2014, Brno, Czech Republic.
- [3] Coetzer K.M., Wiid P.G., Rix A.J., *The MOV as a possible protection measure for bypass diodes in solar PV modules*, Int. Conf. on Clean Electrical Power, 2019, Otranto, Italy.
- [4] Helerea E., Mariut E.L., Călin M.D., *Atmospheric discharge effect on power networks*, Bulletin of the Transilvania University of Brașov, Series I: Engineering Sciences, Vol. 8 (57), No. 2, 2015, Brașov, România.
- [5] Hernandez J., Vidal P., Jurado F., *Lightning and surge protection in photovoltaic installations*, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 23, No. 4, October 2008.
- [6] Holland I., Doorsamy W., Nixon K., *Analysis of lightning surge effects on small-scale rooftop photovoltaic systems*, Power Systems Computation Conf., 2018, Dublin, Ireland.
- [7] Standard IEC 61000-4-5, *CEM - Partea 4-5. Încercări de imunitate la unde de șoc*, 2006.
- [8] Johnson D.L., Vaughan W.W., *Analysis and assessment of peak lightning current probabilities at the NASA Kennedy space center*, Tech. Rep., NASA, 1999, Washington, USA.
- [9] Pons E., Tommasini R., *Lightning protection of PV systems*, 4th Int. Youth Conf. on Energy, 2013, Siofok, Hungary.
- [10] Salman S. et al, *Design and implementation of surge protective device for solar panels*, 2nd IEEE Conf. on Eng. Internet & Eng. System Integration, 2018, Beijing, China.

TESTAREA LA DESCĂRCĂRI ATMOSFERICE INDIRECTE A SISTEMELOR SOLARE FOTOVOLTAICE

- [11] Salinas E. et al, *Some examples of EMI/EMC in wind power systems and large solar parks*, IEEE Int. Symp. on EMC and IEEE Asia-Pacific Symp. on EMC, 2018, Singapore.
- [12] Sato A., Morii N., Sato H., *Development of a fuse-type SPD disconnecter for power supply system and the application guide*, IEEE Int. Telecommunications Energy Conf., 2015.
- [13] Smit H., Rix A., *Comparison of grounding methods for utility scale PV plants*, Int. SAUPEC/ RobMech/ PRASA Conference, 2020, Cape Town, South Africa.
- [14] Sobolewski K., Sobieska E., *Modeling and simulations of lightning protection photovoltaic modules*, IEEE 21st Int. Conf. on Comput. Problems of El. Eng., 2020, Poland.
- [15] Ursachi C., Helerea E., Mariut E.L., Călin M.D., *Mathematical expression of electromagnetic pulse in immunity standards*, IEEE Int. Symp. on Electromagnetic Compatibility and EMC Europe, 2015, Dresden, Germany.
- [16] Zaini N.H. et al, *On the effect of surge protection devices (SPDs) placement for grid-connected solar PV farm*, 34th Int. Conf. on Lightning Protection, 2018, Rzeszow, Poland.
- [17] Zhang Y., Chen H., Du Y., *Considerations of photovoltaic system structure design for effective lightning protection*, IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, Vol. 62, Nr. 4, August 2020.

Despre autori

Şef Lucr. Dr.Ing. **Marius Daniel CĂLIN**

Universitatea „Transilvania“ din Braşov, Facultatea de Inginerie Electrică şi Ştiinţa Calculatoarelor, Braşov, România

www.unitbv.ro/contact/comunitatea-unitbv/2106-marius-daniel-calin.html

marius.calin@unitbv.ro

Prof. Dr.Ing. **Elena HELEREA**

Universitatea „Transilvania“ din Braşov, Facultatea de Inginerie Electrică şi Ştiinţa Calculatoarelor, Braşov, România

www.unitbv.ro/contact/comunitatea-unitbv/2117-helerea-elena.html

helerea@unitbv.ro