

# Fotovoltaika a prepäťové ochrany

## Úvod

Fotovoltické (ďalej PV) zdroje el. energie kladú vzhľadom na ich špecifický charakter, viaceré nové požiadavky na komponenty použité v PV systémoch, včítane prepäťových ochrán (ďalej PO).

Celý rad firiem, dodávajúcich svoje výrobky pre použitie v oblasti PV, usiluje o čo najlepšie prispôbenie svojich produktov pre túto aplikačnú oblasť.

Potreby PV z hľadiska technických požiadaviek na prvky použité v týchto systémoch sa odrážajú i na vývoji noriem pre oblasť PV.

To, že viaceré normy pre komponenty do PV systémov sú v súčasnosti iba v návrhovom štádiu, odráža skutočnosť, že rozvoj PV prebieha vysokým tempom a že stav techniky len s ťažkosťami reflektuje tech. požiadavky PV systémov.

Popísaná situácia sa v plnom rozsahu vzťahuje i na oblasť PO pre PV.

### 1. Prečo prepäťové ochrany pre PV inštalácie

Diskusia na túto tému je vo svojej podstate diskusiou o cene za odstránenie rizík v dôsledku prepätia. Situácia je analogická ako pre oblasť striedavých prúdov v počiatkoch masovej elektronizácie pred desiatkami rokov, kedy rastúce škody v dôsledku prepätí vyvolali tlak poisťovní na opatrenia, odstraňujúce, alebo aspoň minimalizujúce, riziká škôd. Výsledkom týchto tendencií je súčasný stav, kedy sa ochrana proti prepätiu stala pre prax v oblasti el. rozvodov, priemyselných systémov i jednotlivých zariadení, samozrejmosťou.

Obdobný trend sa dá očakávať i v oblasti používania PO pre PV. S pribúdajúcimi štvorcovými kilometrami plôch osadených PV panelmi a rokmi prevádzky PV systémov budú dôsledky nepoužívania PO, ale tiež dôsledky technickej úrovne použitých PO postupne narastať. Tieto očakávania nachádzajú odraz i v pripravovanej európskej norme prEN 50539-11, kde je požiadavka na odpojovanie DC prúdu už sformulovaná do technických podmienok.

Súčasná situácia v použití PO pre PV je v čísle 7/2010 časopisu „photovoltaik“, v článku „Jeder Fall ist ein Fall zu viel“ (zhrnutie názorov a prezentácií niektorých výrobcov PO pre PV na veľtrhu „Intersolar“ v Mníchove v r. 2010) dobre charakterizovaná, včítane ostatných noviniek. Z článku sa dá usúdiť, že uvedení dodávateľa, snád s jednou výnimkou, ešte nenašli spoľahlivú odpoveď na problém odpojovania DC prúdov PO v PV systémoch.

Stav technických noriem pre PO v oblasti PV na DC strane systému.

Je všeobecne známe, že pre použitie prepäťových ochrán v rozvodoch striedavého (AC) prúdu existujú už prakticky desiatky rokov normy, vymedzujúce vlastnosti a oblasti použitia týchto prístrojov. Tieto normy sa neustále vyvíjajú v súlade so stavom poznania v danej oblasti a stavom techniky.

Oblasť fotovoltiky je z hľadiska rozsahu jej nasadenia ako energetického zdroja pomerne nová a i preto prechádza prudkým vývojom vo všetkých komponentoch PV systémov, i PV systémov ako takých.

Hoci už existuje celý rad noriem, štandardizujúcich technické požiadavky v tejto oblasti, naše pátranie po štandardoch pre prepäťové ochrany určené do fotovoltických aplikácií, neprinieslo zatiaľ žiadne vyhovujúce výsledky pre DC stranu PV systémov. V čom tkvie príčina? Vo vypínaní (odpojení) jednosmerných prúdov teplotným odpojovacím zariadením (TOZ) prepäťových ochrán. Zatiaľ čo z pohľadu potreby odpojovania skratového prúdu sú pre AC

stranu PV systémov riešenia problému dávno známe, odpojovanie skratového prúdu na DC strane PV systému je pomerne obtiažne riešiteľný problém. Tento stav sa odráža i v príprave príslušných technických noriem.

Je známa nemecká norma DIN EN 62305-3 Beiblatt 5 „Ochrana proti blesku a prepätiu pre PV systémy dodávok el. prúdu“, ktorá predpisuje (doporučuje) nielen použitie PO, ale aj ich minimálne dimenzovanie. Súčasne je v norme formulovaná požiadavka, že v prípade skratu musia byť PO prevedené do bezpečného stavu. Táto požiadavka znamená pre DC stranu systému spoľahlivé zhášanie jednosmerného el. oblúka pre hodnoty napätia a prúdu dané miestom inštalácie PO, čím sú tiež určené požiadavky na PO pre PV.

Ďalším predpisom, ktorý vyžaduje od PO na DC strane PV prerušenie prúdovej dráhy v prípade skratu varistora, je francúzsky štandard UTE C 61-740-51 z r. 2009, pričom jednoznačne definuje i podmienky preukazovania týchto schopností PO.

Európska norma, definujúca technické požiadavky vrátane ich preukazovania, existuje v súčasnosti iba v návrhu, pod označením prEN 50539-11:2009. Aj v tomto návrhu, ktorého vydanie vo forme normy bolo presunuté z r. 2010 na rok 2011, je jednoznačne formulovaná požiadavka prerušenia, alebo zvedenia skratového prúdu spôsobom, ktorý zamedzí vzniku el. oblúka s devastujúcim účinkom na okolie.

Uvedené predpisy reprezentujú prístup odborných kruhov k problematike riadenia rizika u PV zdrojov z pohľadu ochrany proti prepätiu.

## 2. Ako sa chovajú PO pri poklese napätia, alebo skrate ochranného prvku

Pri odpovedi na túto otázku sa obmedzíme len na oblasť DC strany PV systémov, pretože AC strana predstavuje diametrálne odlišnú problematiku, ktorá je vo všeobecnosti známym spôsobom zvládnutá.

Pre odpojovanie DC prúdov PV systémov platí niekoľko základných východísk a predpokladov:

- ako ochranné prvky proti prepätiu môžu byť použité iskrištia, alebo bleskoistky len v prípade, že dokážu po odznení prepätia zhasnúť el. oblúk - teda zamedziť toku následného prúdu. Vzhľadom na veľkú náročnosť riešenia tohto problému sa v PV systémoch na DC strane používajú prakticky výhradne PO na báze obmedzenia napätia (varistory), ktorých špecifické prevádzkové vlastnosti (starnutie, možnosť skratu), vyžadujú zodpovedajúce opatrenia v konštrukciách PO,
- napäťové úrovne v mieste odpojovania sa pohybujú v rozsahu 600 až 1500 V DC
- hodnoty prerušovaných prúdov v prípade skratu ochranného prvku sa pohybujú od niekoľko Ampérov až po desiatky Ampérov, pričom horné ohraničenie prúdov je vzhľadom k rastúcim výkonom striedačov stále vo vývoji,
- hodnoty prerušovaných prúdov v dôsledku starnutia varistorov dosahujú spravidla maximálne niekoľko desiatok miliampér,
- vzhľadom ku skutočnosti, že medzi hodnotou menovitého a skratového prúdu PV stringu sú relatívne malé rozdiely, je riešenie predistenia PO pomocou poistky obtiažne riešiteľné, s ohľadom na požiadavku impulznej zaťažiteľnosti poistky predradenej PO. Z toho vyplýva požiadavka na PO, zvládnuť prerušenie skratového prúdu bez predradenej poistky.

### 2.1. Odpojenie v dôsledku „starnutia“ varistorov

Podstatou tohto javu je postupné znižovanie napätia varistora v dôsledku jeho trvalého zaťaženia napätím. V dôsledku zaťaženia sa „únikový prúd“ postupne zvyšuje, čoho

dôsledkom je zvyšovanie teploty varistora. Pri dosiahnutí teploty zodpovedajúcej roztaveniu spájky teplotného odpojovacieho zariadenia (TOZ), dôjde k rozpojeniu prúdovej dráhy PO. K tomu dochádza pri únikových prúdoch rádovo v desiatkach miliampér, v závislosti na ďalších parametroch prostredia (teplota) a konštrukcii TOZ.

Pri rozpojení TOZ v dôsledku starnutia varistorov nedochádza v dôsledku nízkych prúdov tečúcich prúdovou dráhou, ani v prípade jednosmerného prúdu a vysokého napätia k možnosti vzniku el. oblúka.

## 2.2. Odpojenie v dôsledku skratu varistora

Predpoklady pre vznik skratu varistora sú dané v prvom rade pôsobením impulzného prepätia (bleskové výboje pri búrkach).

Z hľadiska pravdepodobnosti skratu varistora hrá tiež významnú úlohu „starnutie“ varistora. Čím vyššie sú únikové prúdy, tým väčšia je pravdepodobnosť prerazu varistora pri impulznom prepätí.

V prípade prerazu varistora klesne jeho odpor na hodnoty, ktoré vyžadujú, napriek vysokému prúdu (ampére, až desiatky ampér), pomerne dlhý čas pre oteplenie TOZ na hodnotu, pri ktorej dochádza k jeho rozpojeniu.

Popísaný prípad rozpojenia TOZ je z pohľadu vzniku el. oblúka kritický. Keďže hodnota prúdu i napätia sú pre vznik el. oblúka s vysokou rezervou splnené, dochádza u PO, kde proces prerušenia prúdovej dráhy nie je opatreniami vhodnými pre uvedené parametre DC prúdu zvládnutý, k vzniku el. oblúka a deštrukcii PO.

Uvedená situácia bola simulovaná (metódou podľa vyššie zmieneného návrhu normy) na skúšobni KIWA a všetky skúšané vzorky (rôznych výrobcov) plne zodpovedali hore uvedeným tvrdeniam.

Samozrejme, ako už bolo v inej časti článku uvedené, vznik popísanej situácie má z hľadiska frekvencie výskytu vzťah k „starnutiu“ varistorov, čo vyžaduje tiež dlhodobejšiu prevádzku PV zariadení.

## 3. Známe riešenia prerušenia prúdovej dráhy PO pre PV systémy na DC strane

Autorovi tohto článku sú v súčasnej dobe známe len dve riešenia, ktoré úlohu prerušiť prúdovú dráhu riešia jej presmerovaním. Presmerovanie bez prerušenia je riešenie, ktoré vedie k pomerne značným stratám na energii, pretože až výmenou vadnej časti prepäťovej ochrany dochádza k odstráneniu strát energie.

Alternatívou je presmerovanie prúdovej dráhy tak, že v prúdovej dráhe po jej presmerovaní je zaradená vhodná poistka, ktorá preruší tok prúdu. Táto alternatíva je pri dobrom zvládnutí všetkých sprievodných problémov presmerovania a vhodných parametroch prepäťovej ochrany pre danú aplikáciu určitým zlepšením predchádzajúcej alternatívy. Je tiež známe riešenie, využívajúce sériové zapojenie varistora a bleskoistky, ktorého cieľom je zvýšenie životnosti varistora a tým i zníženie rizika vzniku DC el. oblúka. Toto riešenie však v prípade rozpojenia TOZ vzniku el. oblúka nedokáže zabrániť.

## 4. Riešenie prerušenia prúdovej dráhy PO pre PV systémy na DC strane firmy KIWA

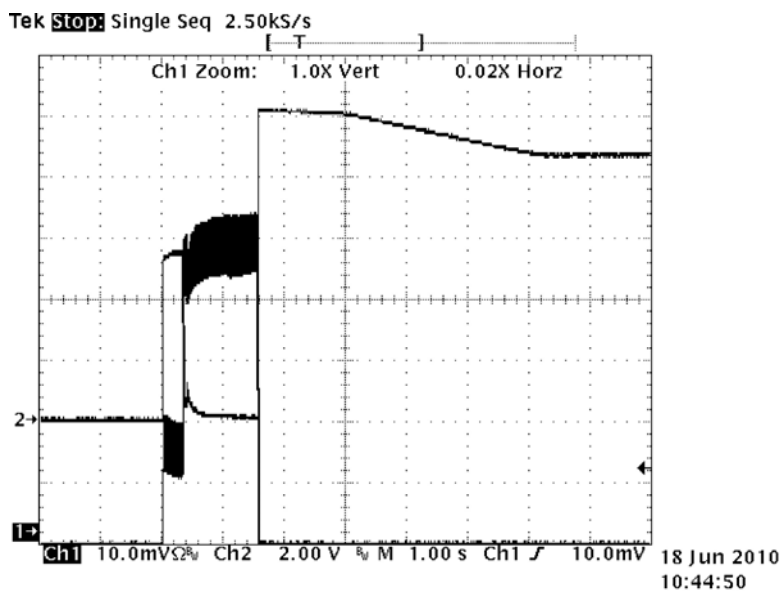
Pre riešenie odpojovania DC prúdu v TOZ PO, prichádza firma KIWA s novým konceptom riešenia uvedeného problému. Toto riešenie je chránené európskou patentovou prihláškou EP 10164827.7, ďalej prihláškou PCT/B2010/001951 a je využité u prepäťových ochrán typovej rady POPV, s ktorými sa firma KIWA po prvýkrát prezentovala na veľtrhu Intersolar 2010 v Mníchove.

Riešenie prerušenia prúdovej dráhy u PO typu POPV zabezpečuje prerušenie prúdovej dráhy v prípade prerazu varistora vo všetkých prípadoch uvedených v odstavci 2., v rozsahu od

niekoľko desiatok miliampér až po 50 A, pri napätiach až 1000 V DC, v závislosti od konkrétneho vyhotovenia POPV. Pre odpojenie sa nepoužíva ani predradená ani vnútorná poistka. Keďže nie je používaná vnútorná poistka, je prípustné zaťaženie na jeden pól podstatne vyššie, ako u systémov s integrovanou vnútornou poistkou.

Pre ilustráciu je na obr. č. 1 znázornený typický priebeh rozpojenia TOZ pre POPV II 2+1 700 V DC / 50 A, na obr. č. 2 je zobrazený detail prerušenia prúdu na TOZ.

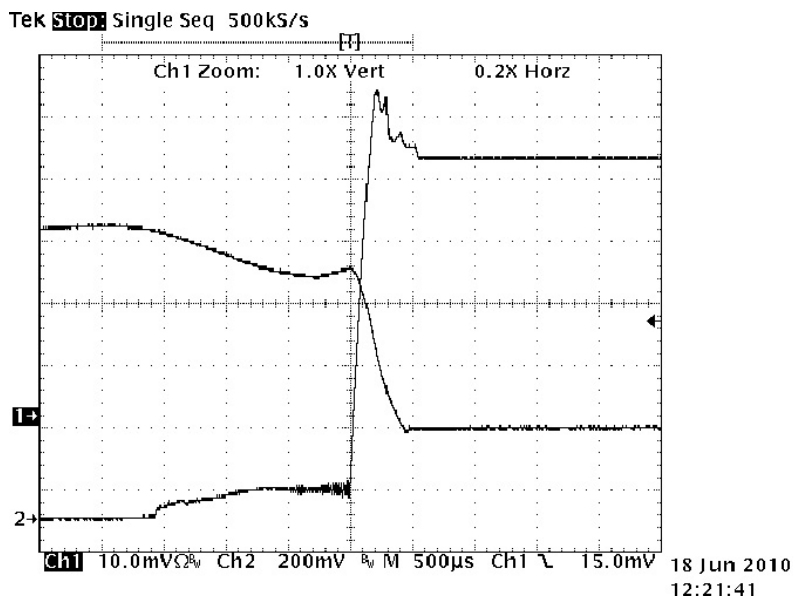
Osciloskopické záznamy pochádzajú zo skúšok na KESP EF STU Bratislava.



Obr. č. 1. Celkový záznam z pôsobenia vzorky č.1, plusová vetva,

$$U = 860 \text{ V}, I_{\text{nast}} = 50 \text{ A}, \tau_1 = 2 \cdot 10^{-4} \text{ s.}$$

$$1: 10 \text{ A/d}, 2: 200 \text{ V/d}, 1 \text{ s/d.}$$



Obr. č. 2. Pôsobenie TOZ a prerušenie prúdu vzorky č.2, mínusová vetva,

$$U = 860 \text{ V}, I_{\text{nast}} = 30 \text{ A}, \tau_4 = 4,5 \cdot 10^{-4} \text{ s.}$$

$$1: 10 \text{ A/d}, 2: 200 \text{ V/d}, 500 \mu\text{s/d.}$$

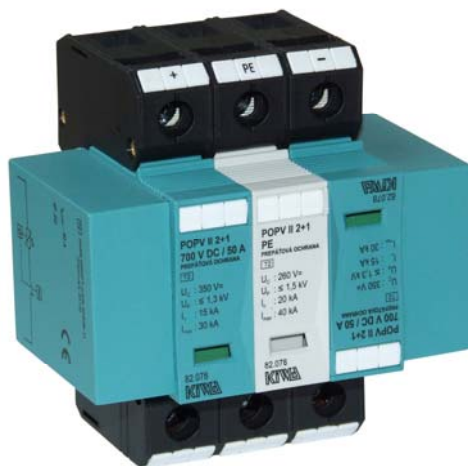
V nasledujúcej tabuľke sú uvedené parametre niektorých prepäťových ochrán typovej rady POPV

| KIWA                                                                   | TYP         | POPV II 2+1<br>700 V DC /20 A                              | POPV II 3<br>700 V DC /20 A | POPV II 2+1<br>700 V DC /50 A | POPV II 3<br>700 V DC /50 A | POPV II 2+1<br>1000 V DC /40 A | POPV II 3<br>1000 V DC /40 A |
|------------------------------------------------------------------------|-------------|------------------------------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Počet portov                                                           |             | 2+1                                                        | 3                           | 2+1                           | 3                           | 2+1                            | 3                            |
| Maximálne pracovné napätie                                             | $U_{CPV}$   | 700 V=                                                     | 700 V=                      | 700 V=                        | 700 V=                      | 1000 V=                        | 1000 V=                      |
| Napätová ochranná hladina pri                                          | $U_p$       |                                                            |                             |                               |                             |                                |                              |
|                                                                        | L+/L-       | ≤ 2,6 kV                                                   | ≤ 2,6 kV                    | ≤ 2,6 kV                      | ≤ 2,6 kV                    | ≤ 4 kV                         | ≤ 4 kV                       |
|                                                                        | L+L-/PE     | ≤ 2,8 kV                                                   | ≤ 2,6 kV                    | ≤ 2,8 kV                      | ≤ 2,6 kV                    | ≤ 3,5 kV                       | ≤ 4 kV                       |
| Doba odozvy $t_A$                                                      | L+/L-       | < 20 ns                                                    | < 20 ns                     | < 20 ns                       | < 20 ns                     | < 20 ns                        | < 20 ns                      |
|                                                                        | L+L-/PE     | < 100 ns                                                   | < 20 ns                     | < 100 ns                      | < 20 ns                     | < 100 ns                       | < 20 ns                      |
| Menovitý výbojový prúd (8/20)                                          | $I_n$       | 15 kA                                                      | 15 kA                       | 15 kA                         | 15 kA                       | 15 kA                          | 15 kA                        |
| Max. výbojový prúd (8/20)                                              | $I_{max}$   | 30 kA                                                      | 30 kA                       | 30 kA                         | 30 kA                       | 30 kA                          | 30 kA                        |
| Skratová odolnosť                                                      |             |                                                            |                             |                               |                             |                                |                              |
| podľa prEN 50539-11:2009<br>(OCM/PV <sub>3</sub> )                     | $I_{SCPV}$  | 20 A                                                       | 20 A                        | 50 A                          | 50 A                        | 40 A                           | 40 A                         |
| podľa UTE C 61-740-51                                                  | $I_{CC}$    | 20 A                                                       | 20 A                        | 50 A                          | 50 A                        | 40 A                           | 40 A                         |
|                                                                        | $I_{SCWPV}$ | 4,17 A                                                     | 4,17 A                      | 10,4 A                        | 10,4 A                      | 8,3 A                          | 8,3 A                        |
| Signalizačný prepínací kontakt                                         |             | M3/0.25 Nm, □ 0,2 ... 1,5 mm <sup>2</sup> , max. 250 V~/1A |                             |                               |                             |                                |                              |
| Indikácia činnosti TOZ<br>(tepelné odpojovacie zariadenie)             |             | zelená (OK) / červená(OUT)                                 |                             |                               |                             |                                |                              |
| Min. ... max. uťahovací moment                                         |             | 2 ... 3 Nm                                                 |                             |                               |                             |                                |                              |
| Prierez pripojovacích vodičov                                          | - drôt      | 4 ... 35 mm <sup>2</sup>                                   |                             |                               |                             |                                |                              |
|                                                                        | - lanko     | 4 ... 25 mm <sup>2</sup>                                   |                             |                               |                             |                                |                              |
| Rozsah prevádzkových teplôt                                            |             | - 40 ... +70 °C                                            |                             |                               |                             |                                |                              |
| Krytie                                                                 |             | IP 20                                                      |                             |                               |                             |                                |                              |
| Rozmery                                                                |             | 97 x 64 x 52,5 mm                                          |                             | 97 x 64 x 87,5 mm             |                             | 97 x 64 x 87,5 mm              |                              |
| Montáž na profilovú DIN lištu                                          |             | 35 x 7,5 mm                                                |                             |                               |                             |                                |                              |
| Klasifikácia<br>DRAFT prEN 50539-11 (February 2010)<br>UTE C 61-740-51 |             | typ 2 $\square$ T2<br>trieda II                            |                             |                               |                             |                                |                              |

Na obr. 3 a 4 sú znázornené konkrétne typy POPV



Obr. č. 3. POPV II 2+1 700 V DC / 20 A



Obr. č. 4. POPV II 2+1 700 V DC / 50 A

## 5. Záver

V predloženom článku autor poukazuje na výsledky vo výskume a vývoji v oblasti prepäťových ochrán pre fotovoltiku, ktoré boli v uplynulom období dosiahnuté vo firme KIWA.

Za pozornosť stojí skutočnosť, že doteraz neboli tak vysoké parametre prerušenia prúdovej dráhy u prepäťových ochrán pre fotovoltiku žiadnym výrobcom prepäťových ochrán pre danú kategóriu výrobkov s výmenným modulom zverejnené.

V Nitre 26.08.2010

Ing. Jozef Černička CSc.