

Panelová technika

Střídače SMA nabízejí vhodné řešení pro jakýkoliv FV panel.



Obsah

Vedle FV panelů z krystalického křemíku na trh neustále pronikají nové technologie FV článků i úpravy a vylepšení klasických FV panelů. Inovační technologie, jako jsou tenkovrstvé panely a FV články s kontakty na zadní straně, nabízejí perspektivní výhody – například nízké výrobní náklady, krátké doby energetické amortizace nebo velmi vysokou účinnost.

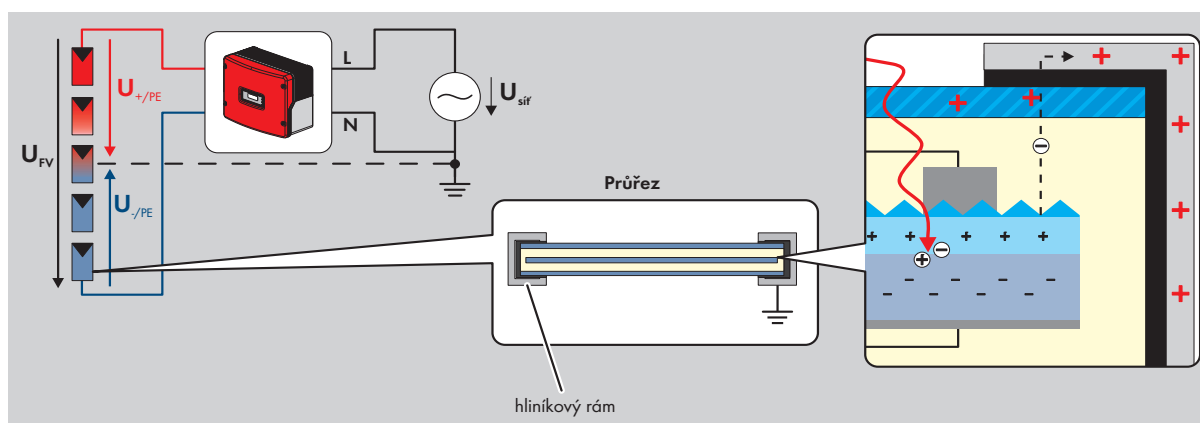
Je však třeba mít na paměti, že některé technologie by se měly používat pouze za určitých podmínek. Proto se musí při používání FV panelů bezpodmínečně dodržovat doporučení pro instalaci od výrobců.

Díky všestranné nabídce různých topologií lze střídače SMA v kombinaci s vhodným doplňkovým vybavením používat tak flexibilně, že pro každou technologii FV panelů je k dispozici optimální přístroj. V těchto technických informacích je popsán aktuální stav zkušeností s použitím různých technologií FV článků a panelů. Tyto informace jsou doplněny konkrétními doporučeními pro výběr vhodného střídače.

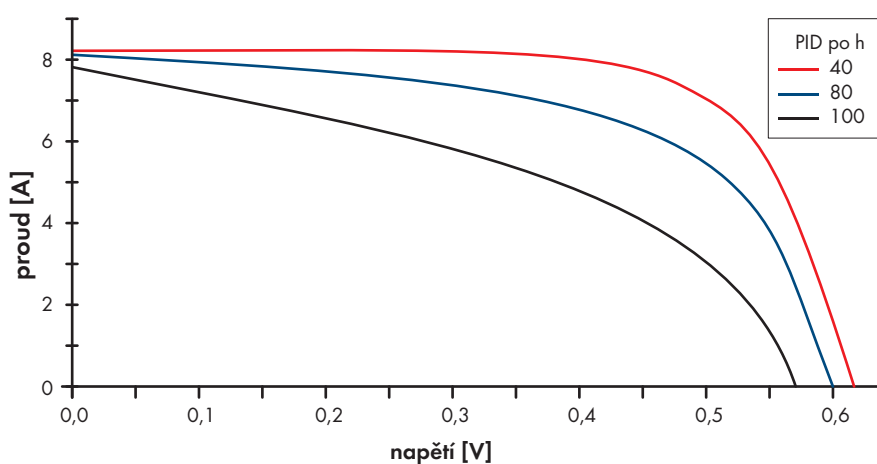
1 Potential Induced Degradation (PID)

Řada instalačních techniků a provozovatelů FV systémů v poslední době slyšela nebo četla o nevysvětlitelné ztrátě výkonu. K tomuto jevu dochází zejména na FV panelu, které je nejbližší u záporného pólu. Zde se potenciál (napětí vůči zemi) FV článků podle délky stringu a typu používaného střídače obvykle pohybuje mezi -200 V a -350 V . Rám FV panelů naproti tomu má potenciál 0 V , protože z bezpečnostních důvodů musí být uzemněný.

Kvůli tomuto elektrickému napětí mezi FV články a rámem se může stát, že se uvolní elektrony z materiálů použitých ve FV panelu a stečou přes uzemněný rám (obrázek 1). To za sebou zanechá náboj (polarizaci), který může nevýhodným způsobem pozměnit charakteristickou křivku FV článků (obrázek 2). Ukázalo se, že takovéto polarizace většinou lze zvrátit. Proto je odlišujeme od nezvratných vlivů, jako je koroze nebo běžné stárnutí.



Obrázek 1: Ukládání elektrických nábojů v důsledku ztrátového proudu mezi FV článkem a rámem FV panelu.



Obrázek 2: Charakteristická křivka FV panelu před degradací a během degradace. Charakteristické je zploštění charakteristické křivky, při němž napětí naprázdno a zkratový proud zůstávají téměř beze změny, ale maximální výkon (MPP) se snižuje až o 70 %.*

Polarizace byly v minulosti známy jen u několika málo typů FV článků, u nichž jejich výrobci upozorňovali na odpovídající zacházení. Vady s touto charakteristikou se však v poslední době projevují i u jiných typů FV článků. Je tedy třeba rozlišovat dva případy:

- Už léta upozorňuje společnost SunPower na to, že její FV panely s články A-300 (typ n) se při provozu pod kladným elektrickým potenciálem polarizují. Jako řešení bylo doporučeno uzemnění kladného pólu FV generátoru.
- Řada z nově zaznamenaných případů se týká také výrobců FV panelů s články typu p. Zde je však polarizace vyvolávána záporným potenciálem a lze jí zabránit uzemněním záporného pólu FV generátoru.

Pokud FV generátor kvůli používanému střídači není možné uzemnit nebo pokud k polarizaci FV panelů již došlo, pomůže jen neutralizace této polarizace. K tomuto účelu společnost SMA Solar Technology AG vyvinula přístroj PVO-Box, který na příslušný pól v noci přivádí obrácené napětí. Další informace k tomuto tématu najdete v technických informacích „Potential Induced Degradation“ (viz www.SMA-Czech.com).

2 Koroze TCO

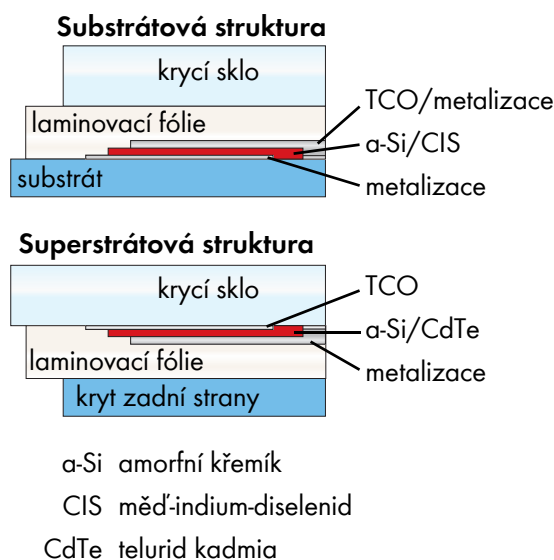
Již po relativně krátké době provozu bylo v minulosti na některých tenkovrstvých panelech zjištěno poškození tzv. vrstvy TCO (Transparent Conductive Oxide). Poškození této elektricky vodivé vrstvy na vnitřní straně krycího skla je neopravitelné a způsobuje značné ztráty výkonu.

Příčiny

Příčiny koroze TCO se zkoumají od roku 2000 v institutu Florida Solar Energy Center (FSEC). Zjistilo se tak, že postiženy jsou především FV panely s články z α -Si a CdTe vyrobené pomocí superstrátové technologie. Při tomto výrobním postupu se jednotlivé vrstvy FV panelu nanáší tak, že se začíná krycím sklem.

Ke korozi TCO dochází v první řadě na okraji FV panelu při reakci vlhkosti se sodíkem, který je obsažen v krycím skle.

V důsledku koroze získává vrstva TCO mléčné zbarvení a ztrácí své vodivé vlastnosti. Výkonnost FV panelu pak stále klesá.



* viz J. Berghold et al.: „Potential Induced Degradation of Solar Cells and Panels“; 25. konference EU PVSEC / 5. Světová konference o fotovoltaické přeměně energie, 6. – 10. září 2010, Valencie, Španělsko

Protiopatření

- Koroze bezprostředně závisí na ztrátových proudech. Ty zase závisí na potenciálu FV generátoru vůči zemi. Na rozdíl od FV napětí mezi kladným a záporným pólem se na napětí vůči zemi při návrhu FV systémů téměř nedbá. Toto napětí se velmi liší v závislosti na topologii střídače (viz kapitola 5 „Potenciál vůči zemi“, strana 6). Ztrátové proudy lze mírně omezit maximalizací vzdálenosti mezi FV panely a uzemněnými konstrukcemi (např. rámem FV panelů). Nicméně jen výběrem určité topologie střídačů není možné tento problém vyřešit.
- Použitím střídače s galvanickým oddělením a uzemněním záporného pólu FV generátoru pomocí uzemňovací sady (objednací kód: ESHV-N-NR) vzniká elektrické pole, v němž jsou kladně nabití ionty sodíku odpuzovány od vrstvy TCO. Dochází tak ke spolehlivé prevenci koroze. Toto opatření by se mělo používat přednostně.
- Opatření, která tomuto efektu zabraňují, vyvíjejí také výrobci FV panelů. Například lepším zapečetěním hran FV panelů se zabrání vnikání vlhkosti, čímž se odstraní příčina korodování.

3 Kapacitní svodový proud

FV panel tvoří plochu, kterou lze elektricky nabíjet a která stojí proti uzemněnému stojanu. Takovéto uspořádání se chová jako elektrický kondenzátor, jehož kapacita je tím větší, čím větší je jeho plocha a čím menší je jeho vzdálenost od uzemněného protipólu (stojan). Jelikož se zde tato kapacita vyskytuje jako nežádoucí vedlejší efekt, mluví se také o „parazitní kapacitě“. Kapacita se vypočítá podle následujícího vzorce a závisí na 4 faktorech:

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \times A \div d$$

Význam faktorů:

Faktor	Význam
ϵ_0	permitivita, univerzální konstanta: $8,85 \times 10^{-12} \text{ As/Vm}$
ϵ_r	relativní permitivita, v závislosti na materiálu: $\epsilon_{r\text{-vzduch}} = 1$; $\epsilon_{r\text{-sklo}} \approx 5-10$
A	účinná plocha kondenzátoru
D	vzdálenost mezi deskami kondenzátoru

Kromě toho jsou FV panely během provozu prostřednictvím střídače spojeny s veřejnou rozvodnou či distribuční sítí. V závislosti na typu používaného střídače je při tom k FV panelům předávána část amplitudy střídavého napětí. U mnoha beztransformátorových střídačů se jedná o poloviční střídavé napětí (115 V / 50 Hz). Kolísající napětí neustále mění stav nabití parazitního FV kondenzátoru a způsobuje posuvný proud, který je přímo úměrný kapacitě a amplitudě napětí

Pro experty: Posuvný proud (efektivní hodnotu) lze odvodit následovně:

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = C \times \frac{\Delta U}{\Delta t} = C \times 2\pi \times f \times U$$

Proměnná $f = 50$ Hz je síťová frekvence a U je efektivní hodnota střídavého napětí na FV generátoru (cca 115 V u beztransformátorových střídačů). Tento svodový proud je jalový proud, jehož fáze je o 90° posunutá vůči síťovému napětí. V první aproximaci tak je bezztrátový.

Výše popsany svodový proud je jalový proud, který sám o sobě není nebezpečný. Může za sebou však skrývat potenciální poruchový proud, který by například při kontaktu s kabelem vedoucím napětí vznikl na poškozené izolaci, a může značně znesnadňovat jeho detekci. Při svodovém proudu od 50 mA výše je detekce životu nebezpečného poruchového proudu 30 mA téměř nemožná. Střídač se pak z bezpečnostních důvodů automaticky odpojí od veřejné rozvodné či distribuční sítě. U mnoha jednofázových střídačů bez transformátoru dochází k dosažení těchto 50 mA při parazitní kapacitě 1 400 nF. Další informace k tomuto tématu naleznete v technických informacích „Kapacitní svodový proud“ (viz www.SMA-Czech.com).

4 Izolační odpor R_{izo}

Většina článků FV systému se trvale nachází na nenulovém potenciálu. Jelikož je z důvodu ochrany osob a protipožární ochrany třeba zabránit velkým ztrátovým proudům, musí být FV panely dobře izolované. Jinými slovy: izolační odpor R_{izo} se nesmí dostat pod určitou minimální hodnotu. Beztransformátorové střídače kvůli přímému připojení k uzemněné veřejné rozvodné či distribuční síti nedokážou R_{izo} během provozu nepřetržitě měřit. Izolace FV generátoru se proto před propojením se sítí komplexně monitoruje měřením izolačního odporu a během dodávky elektrické energie kontrolou svodového proudu.

Pro R_{izo} platí následující předpisy:

- Pro FV panely musí R_{izo} činit minimálně $40 \text{ M } \Omega \times \text{m}^2$. To znamená, že FV panel o ploše 1 m^2 musí mít izolační odpor o velikosti minimálně $40 \text{ M } \Omega$, FV panel o ploše 2 m^2 však jen minimálně $20 \text{ M } \Omega$.
- Pro FV systémy bez galvanického oddělení (bez transformátoru) musí R_{izo} činit minimálně $2 \text{ 000 k } \Omega$ na každý kW vstupního výkonu střídače. Dodržování této mezní hodnoty musí kontrolovat střídač.

Do konce roku 2010 byly tyto mezní hodnoty dokonce ještě přísnější, což často vedlo k tomu, že se oba předpisy u velkých FV systémů dostávaly do vzájemného konfliktu. To se dnes stává méně často, ale nadále je to možné. K tomu uvádíme následující příklad:



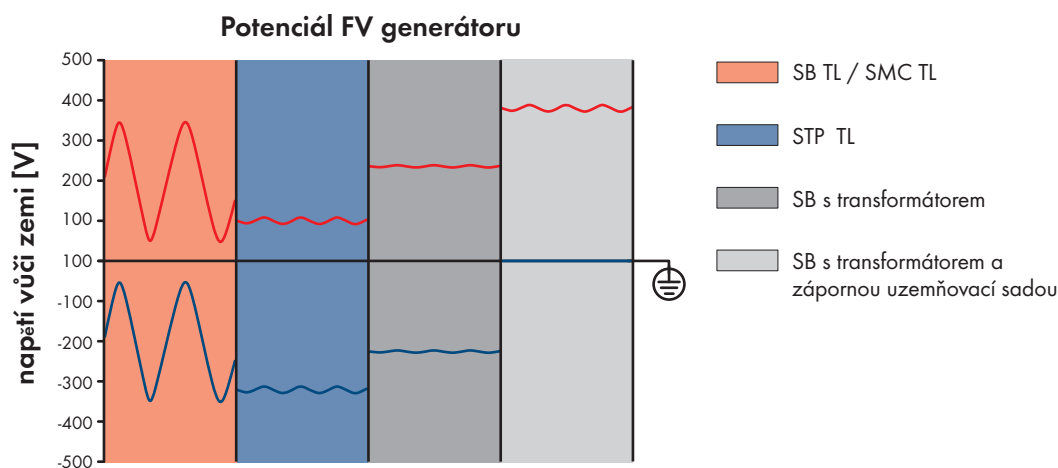
Konflikt norem

FV systém o výkonu 17 kW složený z FV panelů o účinnosti 8,5 % potřebuje pro FV panely plochu 200 m^2 . Tyto panely směřjí podle normy mít izolační odpor $40 \text{ M } \Omega / 200 \text{ m}^2 = 200 \text{ k } \Omega$. V tomto případě nezbývá žádná bezpečnostní rezerva vzhledem ke stávající normě, což může vést k problémům při připojování střídače k veřejné rozvodné či distribuční síti. Tento problém se spíše dotýká FV panelů s ještě nižší účinností (např. a-Si) nebo stále se zvětšujících FV generátorů.

Další informace k tomuto tématu naleznete v technických informacích „Izolační odpor“ (viz www.SMA-Czech.com).

5 Potenciál vůči zemi

Aby bylo možné vybrat vhodný střídač pro každý z výše popsaných požadavků na FV panely, musí být známo, jaký potenciál FV generátoru se během dodávky elektrické energie nastaví na kladném a záporném pólu. To je znázorněno na následujícím grafu:



Obrázek 3: Potenciál nejspodnějšího (modrého), resp. nejhornějšího (červeného) FV panelu (srov. také obr. 1) určitého stringu závisí na použitém střídači a na tom, zda je některý pól FV generátoru uzemněn. Příklad pro MPP napětí 400 V.

SB = Sunny Boy, SMC = Sunny Mini Central, STP = Sunny Tripower, TL = Transformerless (beztransformátorový)

Potenciály FV generátoru se liší v závislosti na konstrukci (topologii) střídače. Kromě toho existuje možnost tvrdého uzemnění (střídače s transformátorem) a měkkého uzemnění posunem potenciálu (střídače bez transformátoru). Celkově střídače SMA nabízí následující možnosti:

- Klasická uzemňovací sada: tento typ uzemnění je možný pouze u střídačů SMA s transformátorem. PE připojení ke kladnému nebo zápornému pólu je zajištěno interní tavnou pojistkou, a poskytuje tak vyšší bezpečnost (protipožární ochrana). Pojistka je monitorována, takže sledování stavu izolace zůstává zachováno. Uzemňovací sada je k dispozici pro uzemnění kladného i záporného pólu.
- Střídače SB xxxxHF od společnosti SMA jsou vybaveny tzv. uzemňovacím kontaktem, který lze do střídače zastrčit na dvou různých místech. Jediným konektorem tak lze provést buď uzemnění kladného pólu, nebo uzemnění záporného pólu.
- U střídačů s certifikací UL pro USA a Kanadu je funkce uzemňovací sady integrována do střídače, protože tyto střídače musí být vybaveny pojistkou GFDI (Ground Fault Detector & Interrupter).
- TL-Grounding Solution: u beztransformátorových střídačů je potenciál FV generátoru propojený s veřejnou rozvodnou či distribuční sítí. V takovém případě sice není možné tvrdé uzemnění, zato však je možné potenciál nulového bodu třífázového systému posunout tak daleko, že na FV generátoru zůstane dokonce i záporný pól vždy v kladné oblasti. Toto řešení, upřednostňované před jednoduchým uzemněním, se označuje jako „TL-Grounding Solution“ a je zatím omezeno na FV systémy se střídači Sunny Tripower, které elektrickou energii do vysokonapěťové sítě dodávají přes vlastní transformátor.

Kromě toho je možné potenciál přes noc obrátit, aby se neutralizovaly případné akumulované nosiče náboje. K tomuto účelu se používá přístroj PVO-Box zajišťující regeneraci FV panelů, u nichž lze zvrátit degradaci (viz část 1: „Potential Induced Degradation“).

6 Checklist

Abychom vám usnadnili výběr správného střídače pro každý typ FV panelů, shrnuli jsem zde momentálně nejdůležitější doporučení:

1. Zkontrolujte, zda výrobce FV panelů podává doporučení k uzemnění FV generátoru nebo k topologii použitého střídače.
2. Pokud výrobce FV panelů neuvádí žádná doporučení pro použití jeho produktů, měli byste střídač vybrat podle vlastností FV panelů uvedených v tabulce.

Pokud tato doporučení neodpovídají doporučením výrobce FV panelů, řiďte se doporučeními výrobce FV panelů.

Technologie FV článků / struktura FV panelu	Střídače bez transformátoru		Střídače s transformátorem		
	SB xxxxTL SMC xxxxTL	STP xxxxTL	Sériový střídač SB xxxx SMC xxxx		
			bez uzemňovací sady	se zápornou uzemňovací sadou	s kladnou uzemňovací sadou
c-Si*	●	●	●	○	○
Tenkovrstvé**	–	–	–	●	–
Monokrystalický Si (A-300)*	–	–	–	–	●
Flexibilní nebo s metalizovanou zadní stranou***	–	○	●	●	●

Vysvětlivky: ● doporučujeme; ○ omezeně doporučujeme; – nedoporučujeme

* viz kapitola 1 „Potential Induced Degradation (PID)“, strana 2

** viz kapitola 2 „Koroze TCO“, strana 3 a kapitola 4 „Izolční odpor R_{izo} “, strana 5

*** viz kapitola 3 „Kapacitní svodový proud“, strana 4

Příklad: Společnost SunPower pro FV generátory z FV panelů s články typu A-300 doporučuje uzemnění kladného pólu.

Správná volba: střídač Sunny Boy s transformátorem a kladnou uzemňovací sadou (viz kapitola 1 „Potential Induced Degradation (PID)“, strana 2).

Příklad: Tenkovrstvé panely s články z CdTe nebo amorfního křemíku často používají sklo potažené vrstvou TCO jako substrát pro konstrukci článků.

Správná volba: střídač Sunny Boy s transformátorem a zápornou uzemňovací sadou (viz kapitola 2 „Koroze TCO“, strana 3).

Příklad: Pro flexibilní tenkovrstvé články se jako nosný substrát často používá fólie z ušlechtilé oceli.

Správná volba: střídač Sunny Boy s transformátorem (viz kapitola 3 „Kapacitní svodový proud“, strana 4).