

Ing. Petr WOLF, Ph.D.
Ing. Pavel HRZINA, Ph.D.
ČVUT v Praze, Univerzitní
centrum energeticky efektivních
budov

Srovnání vyráběných regulátorů pro ohřev vody fotovoltaickými systémy

Comparison of the Produced Controllers for Water Heating by Photovoltaic Systems

Recenzent
Ing. Jan Široký, Ph.D.

Článek srovnává po technické stránce regulátory pro ohřev vody fotovoltaickými systémy, dostupné na českém trhu. Regulátory byly zapůjčeny od výrobců pro testování v laboratoři Univerzitního centra energeticky efektivních budov (UCEEB) ČVUT. Byly napájeny elektronickým solárním simulátorem s předem definovanými profily voltampérové charakteristiky. Cílem měření bylo určit schopnost regulátoru sledovat bod maximálního výkonu, změřit vnitřní účinnost měniče, celkovou schopnost předání energie do zátěže, zhodnotit výstupní signál a celkové provedení regulátorů.

Klíčová slova: fotovoltaika, ohřev vody, regulace

The article compares, from the technical point of view, the controllers for water heating by photovoltaic systems, available on the Czech market. Regulators were borrowed from manufacturers for testing at the University Centre for Energy Efficient Buildings (UCEEB) CTU in Prague. They were powered by an electronic solar simulator with predefined profiles of the volt-ampere characteristics. The aim of the measurement was to determine the controller's ability to monitor the maximum power point, measure the internal efficiency of the inverter, the overall capacity to transfer energy to the load, evaluate the output signal and the overall design of the controllers.

Keywords: photovoltaics, water heating, control

ÚVOD

Ohřev vody s užitím elektrické energie získané z fotovoltaických (FV) modulů je nově rozšířenou alternativou ke klasickému přímému ohřevu termickými panely. Oproti termickému systému má řadu výhod i nevýhod, které byly podrobně diskutovány v řadě publikací [1], [2], [3]. K výhodám patří jednoduchá instalace a přenos energie kabeláží, v řadě případů též menší nároky na údržbu a vyšší efektivita během chladného počasí (vztaženo k nominálnímu výkonu systému). Systém může být jednoduše vypnut v případě nahřátí zásobníku (FV moduly lze provozovat ve stavu naprázdno či ve zkratu bez dalších nutných opatření). Hlavní nevýhodou je pak nutnost větší plochy pro instalaci FV modulů a vyšší cena v případě požadavků na velké tepelné výkony. FV systém je tedy vhodný obzvláště pro aplikace s celoročním provozem (příprava teplé vody) a v případech dodatečné montáže ve stávajících objektech.

Systémy s využitím FV modulů pro přípravu teplé vody se začaly ve velké míře instalovat na domech v době tzv. stop stavu FV elektráren v České republice. Řada firem vyvinula vlastní regulátor, který umožňuje efektivní předávání energie z FV modulů do topného tělesa. Často zahrnuje další funkce – měření energií, řízení ohřevu dle teploty v zásobníku, kombinování s ohřevem ze sítě, případně přepnutí na jiné využití elektrické energie. Hlavní funkcí regulátoru vsazeného mezi FV moduly a topnou patronu v ohřívači však zůstává sledování bodu maximálního výkonu, což ročně zvýší získanou energii o minimálně 30 % oproti systému bez sledovače bodu maximálního výkonu [3].

Pro označení maximálního bodu výkonu je používána anglická zkratka MPP – Maximum Power Point, pro funkci sledování tohoto bodu měničem pak MPPT – Maximum Power Point Tracking. Funkce sledování bodu maximálního výkonu je realizována řízením měniče, jedním z asi 20 dostupných algoritmů.

Od počátku roku 2017 je možné připojovat FV elektrárny s výkonem do 10 kW_p bez nutnosti licence, což je v řadě případů vhodnější řešení než

izolovaný systém pro ohřev vody. Získaná elektrická energie je pak, za využití měniče, primárně užitá pro provoz spotřebičů v domácnosti a pro ohřev vody lze užít přebytky energie (zásobník tak slouží jako řízený spotřebič). Toto řešení se často jeví jako vhodnější s ohledem na flexibilitu užití energie. Přímý ohřev vody FV systémem s regulátorem zůstává vhodný v případech, kdy není pro elektrickou energii jiné využití (resp. ohřev vody tvoří převážnou část spotřeby energie) nebo není k dispozici rozvodná síť.

CÍLE TESTŮ

Účelem provedených testů bylo zhodnotit chování předložených vzorků regulátorů dostupných na trhu v ČR. Bylo testováno:

- ☐ schopnost sledovat MPP v jednotlivých osvitových profilech,
- ☐ průběh okamžité hodnoty účinnosti měniče v jednotlivých osvitových profilech,
- ☐ schopnost využít dostupné energie z FV systému při změnách osvitu (profil B3 EN 50530).

TESTOVANÉ REGULÁTORY

V rámci měření byli osloveni výrobci a dodavatelé regulátorů do České republiky. Celkem bylo testováno 5 produktů, viz tab. 1. Jeden z oslovených českých výrobců testování odmítl. Provedení jednotlivých regulátorů je patrné z obr. 1.

ZHODNOCENÍ REGULÁTORŮ (PROVEDENÍ, DOPLŇKOVÉ FUNKCE)

KERB

Regulátor KERB se na první pohled od ostatních odlišuje svými většími rozměry (395 × 322 × 105 mm). Nabízí kromě přímého ohřevu další funkce: sledování vyrobené a spotřebované energie, řízený ohřev na základě

Tab. 1 Přehled testovaných regulátorů pro ohřev FV moduly

Tab. 1 Overview of the tested controllers for heating by PV modules

Typové značení	Označení výrobku v textu	Jmenovitý DC výkon (maximální DC výkon) *	Rozsah DC napětí (maximální DC napětí)	Výrobce	Dodavatel, který regulátor zapůjčil
KERBEROS 320.B	KERB	2,1 kW (×)	140–310 V (340 V)	UNITES Systems, a.s., Česká republika	UNITES Systems, a.s., Česká republika
LOGITEX LXDC POWER BOX 1-2,3 kW DC	LXDC	2 kW (×)	85–350 V (350 V)	LOGITEX spol. s.r.o., Slovenská republika	LOGITEX spol. s.r.o., Slovenská republika
NECTAR SUN, Typ: S	NECT	1,5 kW (2 kW)	110–230 V (350 V)	LTD Super Solem, Litva	SOLVIS, s.r.o., Česká republika
CONTROL BOX 2.0	SUNW	× (3,4 kW)	100–230 V (350 V)	SUNNYWATT GROUP a.s.	SUNNYWATT GROUP a.s.
MARKO 2kW	MARK	1–1,5 kW (2,6 kW)	200–300 V (400 V) možno nastavit i na nižší startovací napětí	Ostrovni elektrárny s.r.o.	Ostrovni elektrárny s.r.o.

Pozn.: * dle datového listu, × není uveden



Obr. 1 Provedení testovaných regulátorů

Fig. 1 Design of the tested controllers

měřené teploty v zásobníku, možnosti přepnutí FV výkonu (v rozšířené variantě). Funguje i bez elektrické sítě. Kabeláž se připojuje přes průchodky ve dnu přístroje, nevýhodou je nutnost odkrytí přístroje během montáže. Vnitřní uspořádání pak může vést k nechtěnému poškození elektroniky při neopatrné montáži silových vodičů.

LXDC

Regulátor je proveden v masivním hliníkovém pouzdru (montážní krabici), provozní stav je indikován LED diodou. Toto provedení zajišťuje vyšší stupeň krytí (výrobce udává IP45). Je tedy možná instalace i do vlhkých prostor nebo do míst, kde by při havarijním stavu mohlo dojít k úniku vody. Připojení je jednoduché – MC4 konektory. Kromě regulace výkonu

neposkytuje v základní variantě žádné další přidané funkce (např. měření energie či teploty).

NECT

Regulátor byl rozměry nejmenší z testovaných. Je proveden v plastovém pouzdru, s konektory MC4 a napevno připojenou slané kabeláží ve spodní části přístroje. Na svrchní straně je displej ukazující provozní stav a měřenou teplotu. Součástí regulátoru je i komunikace prostřednictvím WiFi. Výrobce udává možný provoz bez elektrické sítě, což bylo během měření vyvráceno. Provoz přístroje je podmíněn přítomností napětí AC na síťovém vstupu, nicméně v režimu „bez sítě“ je odebrán velmi malý proud, nutný pro spolehlivou funkci zařízení a komunikaci WiFi během doby bez slunečního svitu. Problémem přístroje je hlučnost (pískání) tělesa při provozu, což vylučuje možnost instalace zásobníku s topnou patronou v místech, kde se zdržují osoby (např. přímo v koupelně).

SUNW

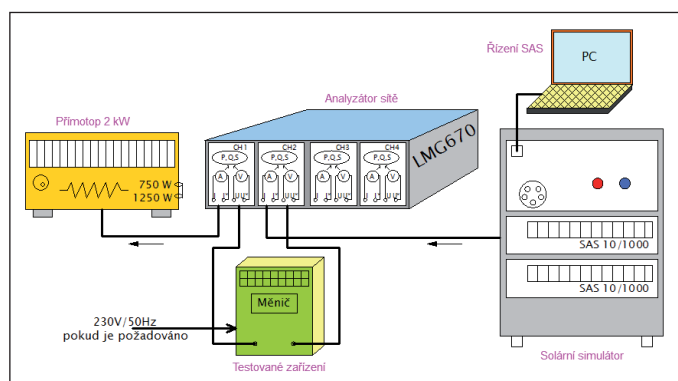
Vnější provedení regulátoru je velmi obdobné regulátoru LXDC, má jen o něco menší rozměry. LED dioda přímo indikuje v několika stupních dodávaný relativní výkon, žádná další komunikace či měření teplot přímo přístrojem nejsou realizovány. Topné těleso při provozu vydává hluk, obdobně jako u regulátoru NECT, je však tišší. Výstupem je pulzní stejnosměrný proud. Proto musí být topná spirála v případě natopení či havarijního stavu odepruta prvkem určeným pro stejnosměrný proud (např. DC stykačem).

MARK

Zajímavostí regulátoru jsou dva analogové měřiče proudu a napětí vestavěné do krytu přístroje, které okamžitě ukazují provozní stav. Připojení je realizováno konektory a průchodkami na stranách přístroje. Podstatnou nevýhodou je nutnost přístroj během instalace správně seřadit. Provádí se to odkrytím přístroje a nastavením několika vnitřních trimrů. Pokud se seřízení provede nevhodně, přístroj nepracuje v ideálních podmínkách (dochází ke značným ztrátám). Pokyny pro nastavení jsou součástí dodaného manuálu, vyžadují však jistou dávku šikovnosti a zkušeného uživatele.

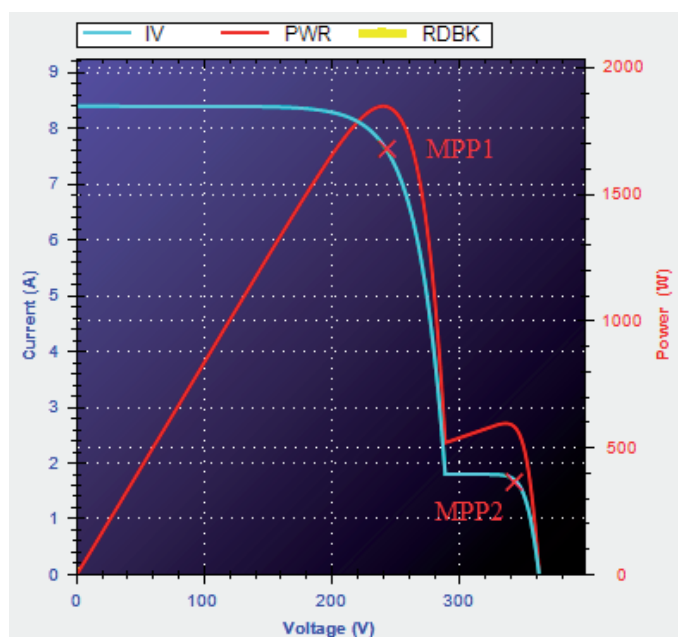
POPIS MĚŘENÍ

K měření byly zvoleny typizované zkoušky, zaměřené na zjištění chování a účinnosti při provozu. Během měření byl vstup regulátoru připojen k solárnímu simulátoru a výstup k topnému tělesu (přímotopný ohřevač). Solární simulátor řízený PC sloužil jako zdroj s V-A charakteristikou, kterou mají FV moduly při definovaných provozních podmínkách (osvit,



Obr. 2 Měřicí sestava

Fig. 2 Measuring assembly



Obr. 3 Příklad V-A charakteristiky s více lokálními body MPP (MPP1, MPP2); zdroj: Terra SAS software, výřez kopie obrazovky solárního simulátoru

Fig. 3 Example of V-A characteristics with multiple local points MPP (MPP1, MPP2); source: Terra SAS software, print of the solar simulator screen

teplota). Analyzátořem výkonu byly měřeny a zaznamenány vstupní i výstupní hodnoty napětí, proudu a výkonu, viz obr. 2.

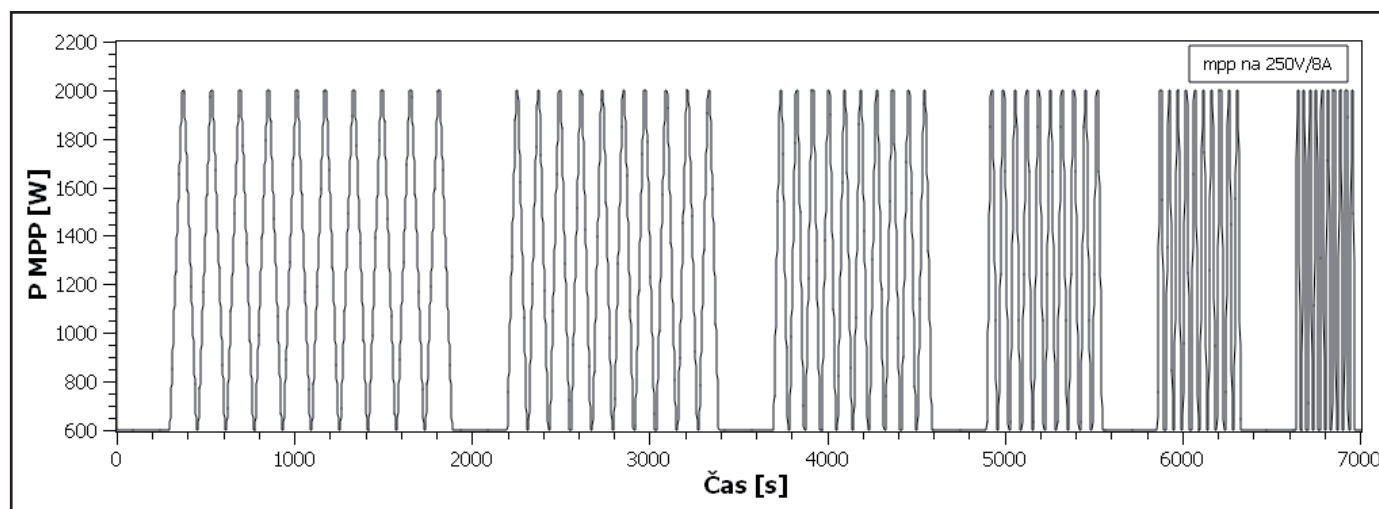
Schopnost předání energie z fotovoltaických modulů do zátěže závisí na účinnosti sledování MPP a na účinnosti konverze použitého měniče v regulátoru. Účinnost sledování MPP lze měřit při statickém režimu, kdy se nemění V-A charakteristika na vstupu regulátoru, a při dynamickém režimu, což je reálná situace při proměnném osvětlení či teplotě modulů.

Ve statickém režimu, kdy je V-A charakteristika modulů (resp. simulátoru) konstantní, bude docházet k odchýlení od bodu MPP vlivem nepřesností měření vnitřními prvky regulátoru či z důvodu velikosti kroku při řízení měniče. Při nestandardním tvaru V-A charakteristiky způsobeném např. lokálním stíněním, může dojít ke vzniku lokálních maxim výkonu a chybnému nalezení bodu MPP regulátorem. Příklad výstupu solárního simulátoru, simulující tento stav, je na obr. 3. Tato schopnost bývá často také součástí testování fotovoltaických měničů, nicméně toto porovnání je zaměřeno na dynamické vlastnosti použitých MPPT.

Měření dynamické účinnosti MPP je náročné s ohledem na vhodné určení dynamického profilu. Na zvoleném profilu totiž budou následně záviset naměřené výsledky. Měl by v maximální možné míře reflektovat typické chování FV modulů během jejich provozu ve vnějších podmínkách. To pochopitelně závisí na způsobu instalace (sklon a azimut modulů, způsob instalace FV modulů s ohledem na jejich chlazení...) a charakteru počasí (vliv lokality, roční doby...). Pro testování všech regulátorů byl vybrán profil V-A charakteristiky B3 dle EN 50530. Ten definuje měření při náběhových a sestupových rampách s minimem intenzity záření 300 W/m² a maximem 1000 W/m². Počáteční celková délka náběhové a sestupové rampy činí 140 s, čas se postupně snižuje až na 14 s. Obr. 4 znázorňuje časovou závislost výstupního výkonu simulátoru při řízení tímto profilem, kdy maximální výkon odpovídající ozáření 1000 W/m² je 2 kW.

Regulátory dle vnitřního algoritmu sledují MPP, může však být dosažena jistá hranice, při které se algoritmus nestihá přizpůsobovat rychlým dynamickým změnám V-A charakteristiky. Pracovní bod se následně začne od bodu MPP vzdalovat. Tato odchylka od MPP způsobená dynamickými změnami se přičítá k odchylce ve statickém stavu. Větší odchylka pracovního bodu měniče od MPP znamená ve výsledku nižší účinnost – FV modul není optimálně využit.

Vlastní účinnost regulátoru úzce souvisí s jeho topologií, konkrétním zapojením a použitými součástkami. U měničů DC/DC může být použit v sérii jen jeden spínací polovodičový prvek, na rozdíl od DC/AC měničů



Obr. 4 Výstup solárního simulátoru při řízení dle osvitového profilu B3 dle EN 50530

Fig. 4 Solar simulator output for the control strategy according to the B3 exposure profile according to EN 50530

s můstkovým zapojením, kde budou tyto prvky v sérii minimálně dva, čímž narostou i ztráty v měniči. Dále může docházet ke ztrátám na vstupních a výstupních filtrech a dalších prvcích měniče (převážně indukčnostech). Odběry pro řízení a další pomocné obvody (např. rozhraní) bývají v případě dobrého návrhu zanedbatelné.

VÝSLEDKY MĚŘENÍ

Schopnost sledování MPP v jednotlivých osvitových profilech

Účinnost sledování MPP u všech uvedených regulátorů při vstupním profilu B3 dle EN 50530 je znázorněna na obr. 5. Nejlépe se choval regulátor SUNW, který držel hodnotu schopnosti sledovat MPP nad 98 % v celém profilu s tím, že občas po krátkou dobu kontroloval VA charakteristiku, účinnost MPPT tedy krátkodobě klesla. Velmi dobrý výsledek získaly i regulátory KERB a NECT, jen při rychlých změnách simulované intenzity záření již nestíhaly měnit se MPP sledovat, což se projevilo krátkodobými poklesy účinnosti MPPT v oblasti rychlých změn výkonu. U regulátoru

LXDC již pomalejší změny intenzity záření znamenaly odchýlení od MPP a tím i poměrně významné periodické změny účinnosti MPPT. Regulátor MARK sice držel hodnotu schopnosti sledování MPP v rozsahu 85 až 100 %, avšak ani na pomalé změny intenzity v testovaném rozsahu nereagoval dostatečně rychle.

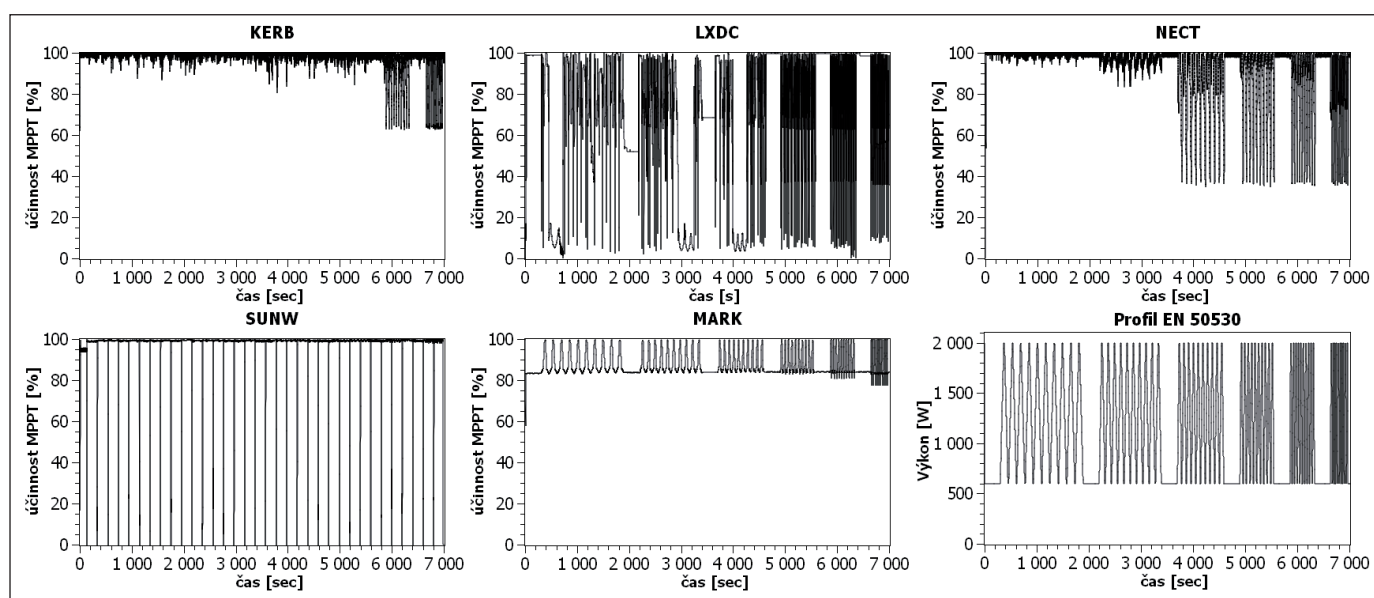
Účinnost konverze měniče

V případě konverzní účinnosti regulátorů dosáhly nejvyšší hodnoty MARK, NECT a SUNW (cca 98,5 %). KERB dosahoval mírně nižších hodnot (cca 96,5 %). Účinnost u LXDC nebyla stabilní, avšak v průměru se pohybovala také kolem vysokých hodnot (97 %), viz obr. 6.

Nestabilita účinnosti měniče při rychlých změnách na vstupu je způsobena především nedokonalostí MPPT, a tak přestože je na obr. 5 a 6 zobrazena pokaždé jiná veličina, tyto obrázky si odpovídají.

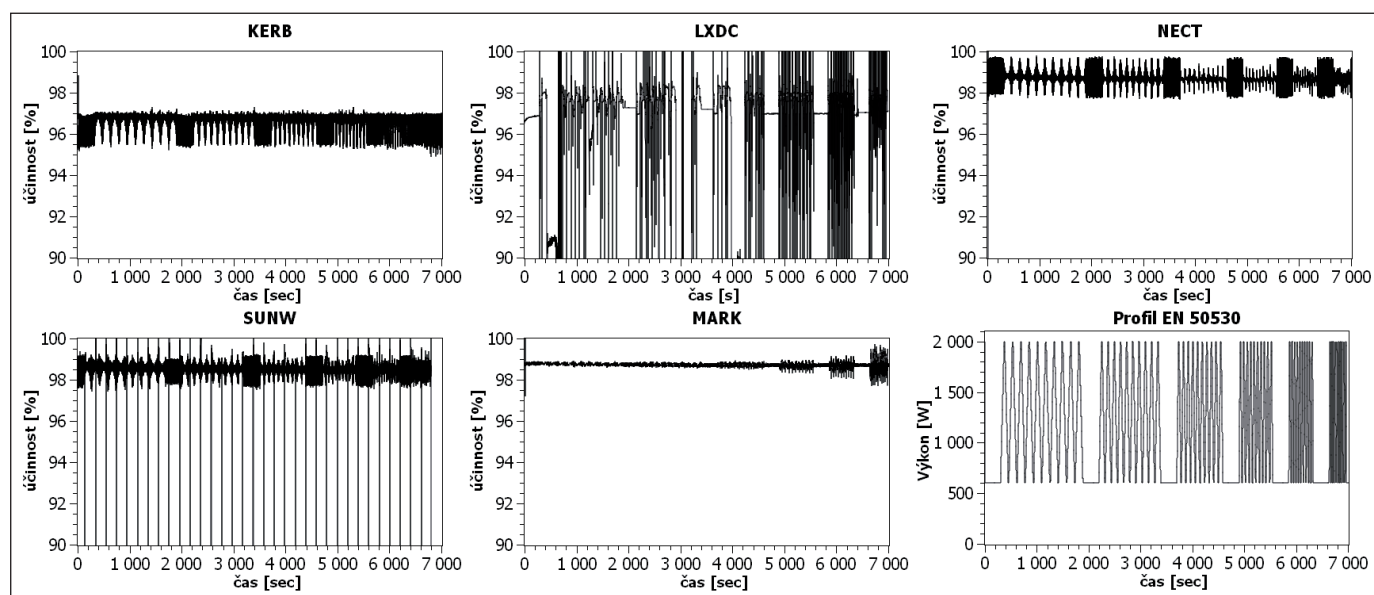
Využití dostupné energie z FV systému

Pro fixně nastavený testovací výkonový profil (B3 dle EN 50530) byl měřen



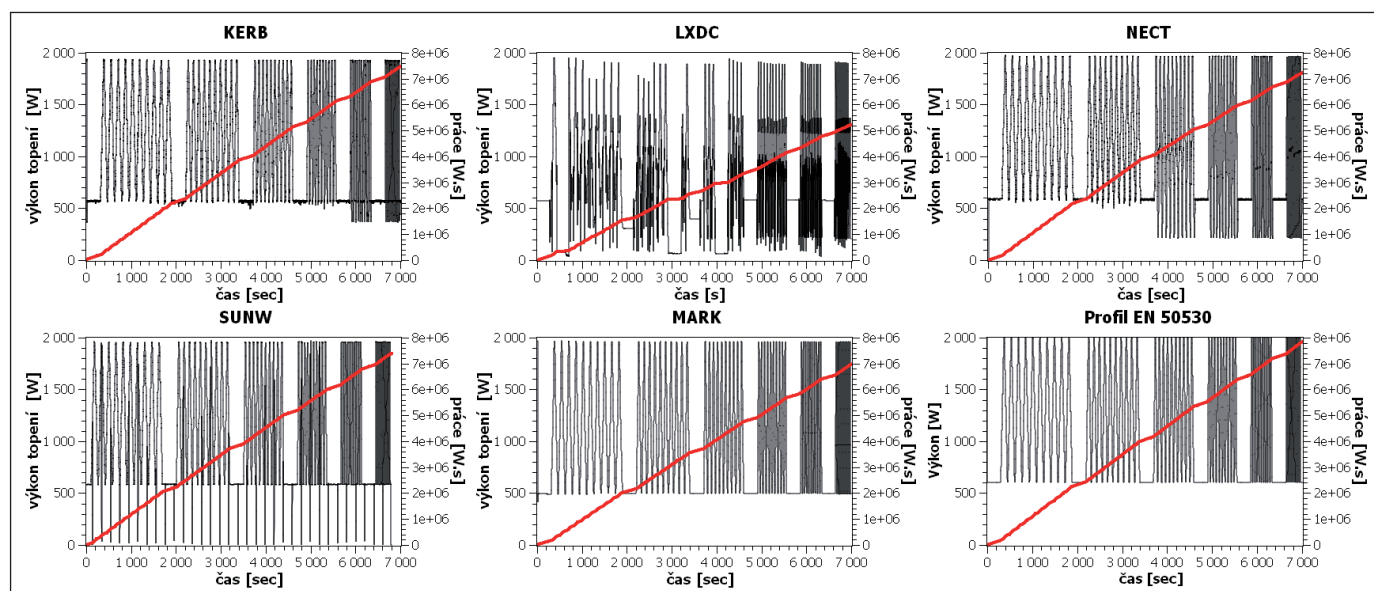
Obr. 5 Schopnost sledovat bod maximálního výkonu (účinnost MPPT) při testovacím profilu B3 dle EN 50530

Fig. 5 Ability to monitor the maximum power point (MPPT efficiency) for the B3 test profile according to EN 50530



Obr. 6 Průběh okamžité hodnoty účinnosti měniče při testovacím profilu B3 dle EN 50530

Fig. 6 Time course of the instantaneous value of the inverter efficiency for the test profile B3 according to EN 50530



Obr. 7 Schopnost měniče využít dostupnou energii: šikmá čára odpovídá vykonané práci (tepelné energii) předané do odporové spirály náhradní zátěže; v případě určení integrálu z křivky profilu EN 50530 získáme teoretické maximum, které lze využít pro porovnání (viz obr. 8)

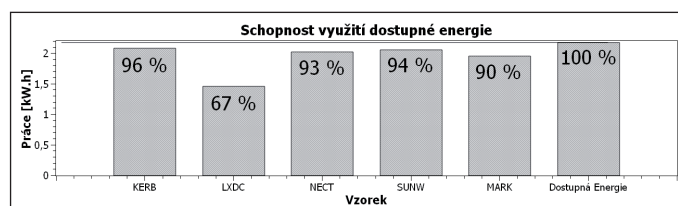
Fig. 7 The ability of the inverter to use the available energy: the inclined line corresponds to the work done (thermal energy) transmitted to the resistive coil of the substituting load; in the case of the determination of integral from the curve of EN 50530 profile, we obtain a theoretical maximum that can be used for comparison (see Fig. 8)

okamžitý výkon a práce dodávaná přes systém měniče do umělé zátěže (vytápění). Byla tak zjištěna celková schopnost měniče využít dostupnou energii. Hodnoty v sobě zahrnují jak účinnost měniče, tak účinnost sledování bodu maximálního výkonu při dynamickém profilu B3 dle EN 50530. Práce je počítána jako integrální veličina a jejím porovnáním s integrálem testovacího profilu je možno odhadnout kombinované ztráty na měniči při dynamickém chování, viz obr. 7.

Nejlépe energii při testovacím provozu využil regulátor KERB, následně s mírným odstupem SUNW, NECT a MARK. Regulátor LXDC dosáhl výrazně nižších hodnot celkové předané energie, viz obr. 8. Dle výrobce regulátoru je nižší předaný výkon v testu způsoben přidáním funkce, která při změně osvitů zajišťuje skenování V-A charakteristiky, a tímto je regulátor schopen nalézt globální bod MPP (obr. 3). Je tedy možné, že v případě nehomogenního osvitů by regulátor lépe využil dostupnou energii. Uvedený poznatek byl zjištěn zpětnou vazbou od výrobce až po ukončení testů, a proto ho nebylo možné ověřit.

Výstupní signál do zátěže

Uváděné regulátory patří svým výkonem v prostředí rezidenčního bydlení mezi jedny z nejvýkonnějších zařízení. Jsou sice připojeny na čistě odporovou zátěž (např. topná spirála v zásobníku TV), vnitřní měnič pracující na vyšších frekvencích však může způsobovat značné rušení. To se může šířit buď po vodičích (jak na výstupu, tak na vstupu regulátoru), nebo z regulátoru či vodičů elektromagnetickou cestou do prostoru. Některé z regulátorů při provozu způsobovaly zvuk (o frekvenci spínání) na topném tělese, což přímo nevádí, pokud se jedná o nízkou hladinu zvuku



Obr. 8 Porovnání měničů z hlediska schopnosti využití dostupné energie

Fig. 8 Comparison of inverters according to the ability to use the available energy

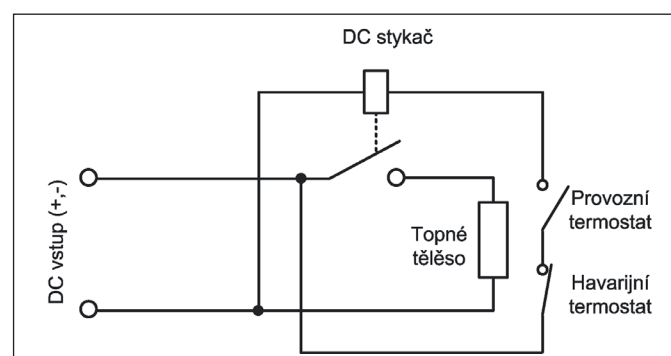
nebo je systém instalován např. v technické místnosti. Pokud má výstupní signál střídavý průběh, lze regulátor provozovat přímo s běžnými topnými patronami (resp. s běžnými bojlerji).

V případě stejnosměrného signálu musí být provozní i bezpečnostní spínání topného tělesa zajištěno vhodným DC prvkem (např. DC stykač). S ohledem na bezpečnost je sporné provedení jednoho DC stykače řízeného v sérii řazeným provozním i bezpečnostním spínačem, viz obr. 9. Nejde totiž o dva oddělené systémy vypnutí – DC stykač je zde společným prvkem. Při jeho poruše nebude ohřev přerušen a bezpečnostní tlakový ventil není v případě zanedbání kontroly jeho funkčnosti (což je bohužel častým jevem) spolehlivou ochranou.

V následujícím textu jsou znázorněny některé typické průběhy napětí a proudů v obvodu, tak jak je zachytil síťový analyzátor LMG670. Výstupní průběhy jsou pro názornost ukázány na třech testovaných regulátorech, které mají různé řešení vnitřní měniče.

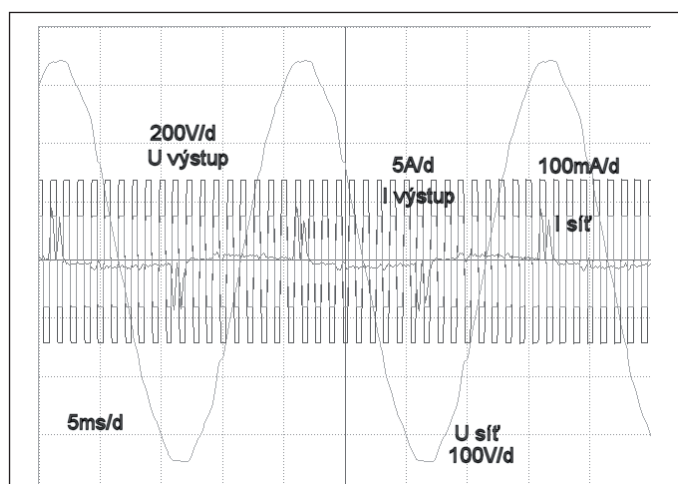
Střídavý obdélníkový signál o vyšší frekvenci

Obr. 10 znázorňuje průběhy napětí a proudu na výstupu měniče NECT společně s průběhy napětí a proudu odebraného ze sítě při režimu napájení z FVE. Měnič odebírá ze sítě zanedbatelný proud, který slouží k provozu elektroniky (jednotky wattů). Časová základna je 5 ms/d, síťové



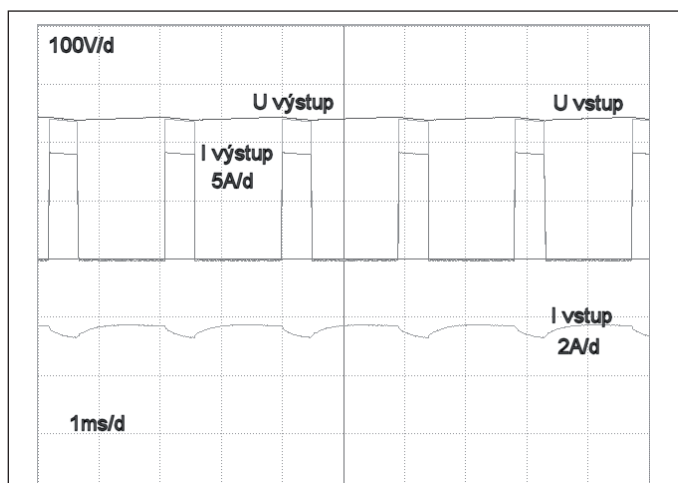
Obr. 9 Příklad provedení vypínání topného tělesa jedním DC stykačem

Fig. 9 Example of the heating unit switching off by one DC contactor



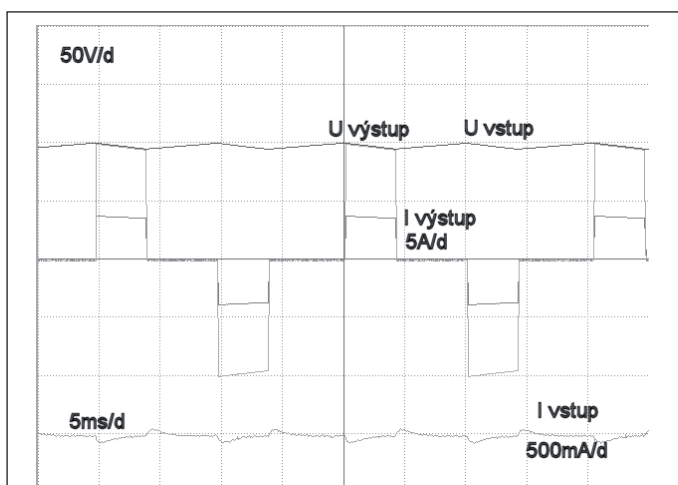
Obr. 10 Charakteristické výstupní signály u vybraných regulátorů – NECT; kopie obrazovky LMG670, s doplněním měřítek jednotlivých signálů

Fig. 10 Characteristic output signals for selected controllers – NECT; a print of the LMG670 screen, with the addition of the individual signal scales



Obr. 11 Charakteristické výstupní signály u vybraných regulátorů – SUNW; kopie obrazovky LMG670, s doplněním měřítek jednotlivých signálů

Fig. 11 Characteristic output signals for selected controllers – SUNW; a print of the LMG670 screen, with the addition of the individual signal scales



Obr. 12 Charakteristické výstupní signály u vybraných regulátorů – MARK; kopie obrazovky LMG670, s doplněním měřítek jednotlivých signálů

Fig. 12 Characteristic output signals for selected controllers – MARK; a print of the LMG670 screen, with the addition of the individual signal scales

napětí má sinusový průběh, se špičkami typickými pro můstkový usměrňovač s kapacitní zátěží (bez PFC). Měníč poskytuje na svém výstupu střídavý proud obdélníkového průběhu s frekvencí přibližně 1 kHz. Výstupní napětí je obdélníkové a díky odporovému charakteru zátěže tvarově shodné s výstupním proudem.

Pulzující DC napětí

Odlišný průběh proudu a napětí je na výstupu regulátoru SUNW, viz obr. 11. Tento měnič poskytuje na svém výstupu tepavý stejnosměrný proud s frekvencí přibližně 500 Hz. Časová základna je 1 ms/d. Vstupní proud z FV pole má mírné zvlnění (na obr. 11 je průběh proudu invertován). Vstupní napětí je také mírně zvlněno, jeho hodnota je totožná se špičkovou hodnotou napětí výstupního (obě křivky mají měřítko 100 V/d). Výstupní proud a napětí mají charakter obdélníkových DC pulzů s periodou 2 ms.

Modifikovaný sinus, 50 Hz

Regulátor MARK poskytuje na výstupu průběh nazývaný modifikovaný sinus, s frekvencí blízkou 50 Hz, viz obr. 12. Časová základna je 5 ms/d. Vstupní proud z FV pole má mírné zvlnění (na obr. 12 je průběh invertován). Vstupní napětí je také mírně zvlněno, jeho hodnota je totožná se špičkovou hodnotou napětí výstupního (obě křivky mají měřítko 50 V/d). Výstupní proud i napětí mají shodný obdélníkový průběh, výstup má charakter střídavého napětí (obdélníky s mezerou) – modifikovaný sinus.

ZÁVĚR

V rámci testů bylo měřeno 5 typů regulátorů určených pro ohřev vody FV moduly. Ukázalo se, že všechny regulátory jsou provozuschopné, jsou však mezi nimi rozdíly, co se týče provozní účinnosti, požadavků na vlastní instalaci i doplňkových funkcí. Provedené hodnocení mělo za úkol za úkol ověřit především dynamické vlastnosti těchto regulátorů. Všechny regulátory prokázaly schopnost sledovat bod maximálního výkonu, bohužel některé z testovaných vzorků poněkud zaostávaly v rychlosti reakcí na změny – tyto systémy jsou pak logicky méně účinné v podmínkách s proměnnou intenzitou slunečního záření. Z hlediska okamžitých hodnot účinnosti jsou na tom všechny regulátory víceméně stejně, i když je vidět vliv rozdílů v použité topologii měničů. Pro konečné hodnocení byl aplikován kombinovaný test, který nejlépe vyjadřuje schopnosti zařízení získávat energii z FV systému. Výstupem tohoto testu je graf na obr. 8, který demonstruje schopnost měniče využít dostupnou energii v dynamickém režimu osvětlení a předat ji do zátěže.

Při výběru je důležitá též cena regulátoru včetně případného nutného dalšího příslušenství, která nebyla v uvedeném testu hodnocena. Hodnotit cenu je problematické, protože u tohoto typu zařízení je nutno počítat i s životností systému. Cena je také ovlivněna dalším dostupným příslušenstvím, jako jsou datová rozhraní pro monitoring a vzdálená správa systému, a v neposlední řadě obchodní marží.

Závěrem bychom rádi poděkovali všem výrobcům či dodavatelům za bezplatné zapůjčení regulátorů.

Kontakt na autory: petr.wolf@cvut.cz; hrzinap@fel.cvut.cz

Použité zdroje:

- [1] BECHNÍK, B. Příprava teplé vody – fotovoltaika nebo solární tepelné kolektory? TZB-Info. 2013.
- [2] MATUŠKA, T., ŠOUREK, B. Porovnání solárního fototerického a fotovoltaického ohřevu vody. TZB-Info. 2014.
- [3] WOLF, P. Optimalizace fotovoltaického systému pro přípravu teplé vody. TZB-Info. 2013.