

UŽITNÝ VZOR

(11) Číslo dokumentu:

23101

(13) Druh dokumentu: **U1**

(51) Int. Cl.:

H01L 31/042 (2006.01)

H02J 1/14 (2006.01)

H02M 3/157 (2006.01)

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2011 - 24857**

(22) Přihlášeno: **20.09.2011**

(47) Zapsáno: **19.12.2011**

(73) Majitel:

SUNNYWATT GROUP a.s., Praha, CZ

(72) Původce:

Wolf Petr Ing., Praha, CZ

(74) Zástupce:

Pavel Reichel a kol., Ing. Pavel Reichel, Lopatecká 14, Praha 4, 14700

(54) Název užitého vzoru:

**Systém pro předávání výkonu fotovoltaického generátoru s proměnným
výstupním napětím do odporové zátěže**

CZ 23101 U1

Systém pro předávání výkonu fotovoltaického generátoru s proměnným výstupním napětím do odporové zátěže

Oblast techniky

5 Předmětem technického řešení je uspořádání systému pro předávání výkonu fotovoltaického generátoru s proměnným výstupním napětím do odporové zátěže.

Dosavadní stav techniky

Jsou známy různé způsoby zapojení panelů fotovoltaického generátoru ke spotřebiči. Například je možné použít střídač, který stejnosměrné napětí dodávané fotovoltaickým generátorem transformuje na střídavé napětí o parametrech sítě. Vyrobená energie se následně spotřebovává ve spotřebiči obdobně, jako kdyby byl připojen do elektrické sítě. Přitom dochází na střídači ke ztrátám z důvodu přeměny energie ze stejnosměrné na střídavou. Výhodou střídače je, že obsahuje řídicí algoritmus, díky kterému pracuje v oblasti maximálního bodu výkonu v závislosti na osvitových podmínkách. Střídače, které umí řídit maximální bod výkonu, jsou ale velice drahé a výrazně navyšují relativní náklady celého systému. Cílem tohoto technického řešení je zvýšit účinnost systému fotovoltaického generátoru a odporové zátěže a dosažení úspor energie převáděné do této zátěže, při současném zjednodušení a zlevnění systému.

Podstata technického řešení

Předmětem technického řešení je systém pro předávání výkonu fotovoltaického generátoru s proměnným výstupním napětím do odporové zátěže, kde výstupy fotovoltaického generátoru, obsahujícího nejméně jeden fotovoltaický panel, jsou připojeny ke kapacitoru. Podstata technického řešení spočívá v tom, že kapacitor je součástí DC/DC měniče, jehož výstup je připojen k odporové zátěži, kde DC/DC měnič dále obsahuje pulsně šířkovou modulaci řízený spínač pro spínání řízené v závislosti na velikosti proměnného napětí na výstupu fotovoltaického generátoru, kde tato závislost je definována vztahem $P = V^2 / R_0 \cdot S$, kde P je výkon spotřebovaný v zátěži, V je napětí, snímané na výstupu fotovoltaického generátoru, které je vyhlazené kapacitorem, R_0 je hodnota odporu zátěže a S je střída, definovaná vztahem $S = T_{on} / (T_{on} + T_{off})$, kde T_{on} je doba sepnutého stavu spínače a T_{off} doba vypnutého stavu spínače, přičemž k řídicímu vstupu spínače je zapojen blok mikroprocesoru, jehož vstupy jsou připojeny k odporovému děliči napětí, zapojenému na výstupu fotovoltaického generátoru.

30 Pomocí změn střidy S se průběžně určuje maximální okamžitá hodnota výkonu P , spotřebovaného v odporové zátěži, přičemž výchozí hodnota R_0 velikosti odporu takto spínané zátěže je pro pracovní podmínky fotovoltaického generátoru, dané intenzitou na něj dopadajícího záření a teplotou PN přechodu v jeho fotovoltaických článcích, menší až rovna poměru napětí U_{MPP} a proudu I_{MPP} v bodě maximálního výkonu fotovoltaického generátoru.

35 Výhodou je vysoká účinnost tohoto systému, jehož pomocí DC/DC měniče regulované výstupní napětí odpovídá vždy bodu resp. oblasti maximálního výkonu. Tato napěťová konverze dokáže pracovat s účinností až 99 %, jediná ztráta je na spínači, cca 0,5 %, ostatní ztráty na kabelech a kondenzátoru jsou zanedbatelné. Prakticky to lze ilustrovat na příkladu, jestliže je toto řešení využito pro elektrické bojler obsahující jak stejnosměrnou, tak i střídavou topnou spirálu, které mají dva termostaty. Příklad využití: spirála napájená ze střídavé sítě je nastavena termostatem na 45 °C, spirála napájená stejnosměrným proudem, čili z DC/DC měniče, pak na maximum 75 °C. Systém šetří energii, která by jinak musela být dodána z rozvodné sítě pro ohřev vody na 75 °C.

45 Spínačem může být elektronický spínač, například výkonový tranzistor typu MOSFET. Odporovou zátěží může být stejnosměrná topná spirála elektrického boileru, opatřeného kombinovanou stejnosměrnou a střídavou topnou spirálou a dvěma termostaty.

Objasnění výkresů

Technické řešení bude blíže vysvětleno pomocí výkresů a následujícího popisu příkladů. Na obr. 1 jsou zobrazeny voltampérové/výkonové charakteristiky fotovoltaického generátoru při různých velikostech jeho osvitu (250 W/m^2 , 784 W/m^2 a 1020 W/m^2) a přímková voltampérová charakteristika odporové zátěže, tvořené topnou spirálou o odporu $14,4 \Omega$. Na obr. 2 je znázorněn princip řízení DC/DC měniče střidou ($S = 0,6$), na obr. 3 příklad voltampérové charakteristiky fotovoltaického panelu a na obr. 4 průběh poměru výkonu odporové zátěže v závislosti na střídě. Na obr. 5 jsou zobrazeny voltampérové charakteristiky fotovoltaického generátoru a zátěže při různých hodnotách střidy S . Na obr. 6 je příklad základního zapojení sestavy fotovoltaického generátoru a odporové zátěže s DC/DC měničem. Obr. 7 znázorňuje rozšířené zapojení sestavy fotovoltaického generátoru a odporové zátěže s DC/DC měničem a na rozdíl od obr. 6 obsahuje navíc některé další pomocné prvky pro zlepšení funkčnosti technického řešení. Výstup z fotovoltaického generátoru je vypínatelný a proudově jištěn, je použita přepětová ochrana, diodová ochrana DC/DC měniče proti přepólování, proudová ochrana odděluje výkonové a řídicí části, Zenerova dioda chrání vstupní svorky měření napětí mikroprocesorem, stabilizátor napětí zajišťující napájení mikroprocesoru přímo z fotovoltaického generátoru. Spínací prvek je jištěn proti přepětí vlivem vlastní indukčnosti vodičů a topné spirály pomocí blokovací diody.

Příklady uskutečnění technického řešení

Pro spotřebu elektrické energie v odporové zátěži lze stejně využít střídavý jako stejnosměrný proud a proto je z podstaty věci zbytečné provádět přeměnu. Proto je pro zapojení fotovoltaického generátoru k odporové zátěži výhodnější použít přímo stejnosměrný proud a je vhodné pro tento účel použít DC/DC měnič (se stejnosměrným vstupem a stejnosměrným výstupem). Fotovoltaický generátor, který je tvořený soustavou sérioparalelně propojených panelů, má proměnlivý napěťový výstup, závislý na teplotě PN přechodů fotovoltaických článků panelů a na intenzitě dopadajícího záření. Tyto provozní podmínky určují průběh voltampérové (dále jen VA) charakteristiky pro daný fotovoltaický generátor. Účelem je, aby fotovoltaický generátor neustále pracoval v oblasti (v bodě) svého maximálního výkonu, kdy je hodnota součinu jeho výstupního napětí a proudu maximální. Výkon přímého spojení panelů a odporové zátěže je dán průsečíkem VA charakteristiky fotovoltaického generátoru a zátěže. Jestliže je fotovoltaický generátor přímo připojen na odporovou zátěž, nelze prakticky dosáhnout výsledný bod jeho maximálního výkonu, protože průsečík VA charakteristiky fotovoltaického generátoru a přímky VA charakteristiky odporové zátěže, to je reálný pracovní bod systému fotovoltaický generátor - odporová zátěž, se bude nacházet mimo bod (oblast) maximálního výkonu.

Pro dosažení bodu maximálního výkonu uvedené soustavy je výstupní výkon fotovoltaického generátoru ukládán do kapacitoru C , připojeného k výstupním svorkám fotovoltaického generátoru, například do elektrolytického kapacitoru o hodnotě $6 \text{ mF} / 200 \text{ V}$. Odporová zátěž je připojena ke kapacitoru C přes elektronický spínač, tvořený výkonovým tranzistorem typu MOSFET, jehož spínání, které se provádí pulsně šířkovou modulací, je řízeno v závislosti na velikosti napětí na výstupu fotovoltaického generátoru. Tato závislost je definována vztahem $P = V^2 / R_0 \cdot S$, kde P je výkon spotřebovaný v zátěži, V je napětí, snímané na výstupu fotovoltaického generátoru, které je vyhlazené kapacitorem C , R_0 je hodnota odporu zátěže a S je střída, definovaná vztahem $S = T_{on} / (T_{on} + T_{off})$, kde T_{on} je doba sepnutého stavu spínače a T_{off} doba vypnutého stavu spínače. Pomocí změn střidy S se průběžně určuje maximální okamžitá hodnota výkonu P , spotřebovaného v odporové zátěži, a hodnota střidy S pro tento maximální výkon se nastaví vždy jako výchozí hodnota pro další následující změny střidy S . V případě, kdy je intenzita dopadajícího záření na fotovoltaický generátor nízká, je zapotřebí nastavit střidu S na nižší hodnotu než při vyšší intenzitě záření.

Výpočet výkonu předávaného do zátěže je následující:

V sepnutém stavu spínače je hodnota napětí na zátěži rovna hodnotě výstupního napětí na fotovoltaickém generátoru, při vypnutém stavu spínače je hodnota napětí na zátěži nulová. Kapacitor C při opakovaném připínání a odpínání zátěže zajišťuje vyhlazení výstupního napětí fotovoltaického generátoru.

- 5 Uvažuje se dostatečně velká frekvence $f = \frac{1}{T_{ON} + T_{OFF}}$ [Hz], při které lze výstupní

napětí na fotovoltaických panelech považovat při dané střídě S za konstantní v čase (dostatečně vyhlazené pomocí kapacitoru C), a která není natolik velká, aby se začaly projevovat parazitní indukčnosti přívodů či zátěže a přechodové děje ve spínacím prvku. Na zátěži pak bude periodicky proměnné napětí, po dobu T_{on} bude rovné ustálené hodnotě napětí na výstupu panelů $\bar{V}[V]$ a po dobu T_{off} bude nulové.

10 Průměrný výkon předávaný do zátěže bude roven $\bar{P} = \frac{\bar{V}^2}{R} S$ [W].

Pracovní oblast a vliv uvedeného DC/DC měniče na pracovní bod:

Jestliže se odporová zátěž střídavě s dostatečnou frekvencí, například 500 Hz, připojuje k fotovoltaickému generátoru, projevuje se takto připojená zátěž změnou sklonu přímkové VA charakteristiky zátěže. Při přímém připojení fotovoltaických panelů a odporové zátěže bude napětí na výstupu fotovoltaického generátoru rovné napětí na zátěži a bude odpovídat napětí v průsečíku křivek VA charakteristiky fotovoltaického generátoru a zátěžové přímky odporové zátěže. Tato situace nastane i v případě připojení DC/DC měniče, pokud střída $S = 1$. Bude-li střída $S < 1$, pak při dostatečně velké frekvenci f spínání se zátěž spolu s měničem projeví na výstupních svorkách fotovoltaického generátoru opět jako odporová zátěž, ale s jinou hodnotou odporu.

20 Hodnota tohoto zdánlivého odporu vzroste na hodnotu $R_x = \frac{R_0}{S}$ [Ω],

kde R_x znamená pozorovanou hodnotu odporu a R_0 výchozí hodnotu odporu zátěže. Hodnota R_x je tedy nepřímo úměrná hodnotě S , nabývá hodnot v intervalu $[R_0 - \infty]$. V reálné aplikaci je třeba zaručit, aby pro uvažované pracovní podmínky generátoru (intenzita záření a teplota PN přechodu ve fotovoltaických článcích) vždy platilo

$$R_0 \leq \frac{V_{MPP}}{I_{MPP}} \quad [\Omega], \text{ kde } V_{MPP} \text{ je napětí v bodě maximálního výkonu fotovoltaického}$$

generátoru a I_{MPP} je proud v bodě jeho maximálního výkonu. Tato podmínka zajistí, aby existovala hodnota střídavy S , při které je možné za pomoci uvedeného DC/DC měniče zajistit provoz systému v bodě maximálního výkonu fotovoltaického generátoru.

30 Na obr. 1 VA protíná charakteristika zátěže křivku maximálního výkonu při hodnotách osvitu fotovoltaického generátoru 784 W/m^2 . Pokud by byla hodnota osvitu konstantní, stačilo by pouhé připojení panelů fotovoltaického generátoru k zátěži a systém by pracoval s maximální možnou účinností. Osvitové hodnoty se však mění a je důležité s nimi měnit i hodnoty výstupního napětí na zátěži, tak aby pracovní bod systému byl i při nízké hodnotě osvitu v bodě maximálního výkonu.

35 Důležité je tedy měnit výstupní napětí systému na zátěži. Pomocí DC/DC měniče toto výstupní napětí odpovídá vždy bodu maximálního výkonu. Dosahuje se toho pomocí mikroprocesoru, který zpracovává vstupní hodnoty napětí přes odporový dělič R_1 , R_2 a na výstupu řídí metodou pulsně šířkové modulace spínací prvek (tranzistor) vhodnou střídou, která odpovídá ideálnímu napětí.

Princip řízení střídou je znázorněn na obr. 2. Hodnota 1 zde odpovídá vstupnímu napětí na spínací prvek, průběh označený jako výstupní napětí (modrá barva) odpovídá napětí na spínacím prvku (pulsně šířková modulace - PWM), průběh označený jako průměr (červená barva) odpovídá napětí na zátěži. Střída daného průběhu je 60 % a tudíž výstupní napětí je $V_{výstup} = V_{vstup} \cdot S$, kde V_{vstup} je střední hodnota vstupního napětí a S je střída.

Obr. 3 znázorňuje závislost proudu a výkonu fotovoltaického panelu na jeho napětí, obr. 4 ukazuje pro tento panel závislost výkonu dodávaného do zátěže a poměru napětí na výstupu fotovoltaického panelu a střední hodnotě napětí na zátěži v závislosti na střídě S .

Na obr. 5 je zobrazen příklad s VA charakteristikou fotovoltaického generátoru a VA charakteristikami zátěže při různých hodnotách střídou S . Křivka 1) je VA charakteristikou fotovoltaického generátoru, křivka 2) VA charakteristikou zátěže při $S = 1$, křivka 3) VA charakteristikou zátěže při $S = 0,5$ a křivka 4) VA charakteristikou zátěže při $S = 0,25$. Výkon dodávaný do zátěže odpovídá 92 W při $S = 1$, 161 W při $S = 0,5$ a 102 W při $S = 0,25$. Použití střídou o velikosti $S = 0,5$ odpovídá v daném případě provozu v bodě maximálního výkonu fotovoltaického generátoru.

Na obr. 6 je znázorněno základní schéma fotovoltaického generátoru, měniče a zátěže. Výstup fotovoltaického generátoru, obsahujícího celkem šest sérioparalelně zapojených fotovoltaických panelů, je připojen přes DC/DC měnič k odporové zátěži, tvořené topnou spirálou boileru. Výstup generátoru je připojen ke kapacitoru C , ke kterému je dále přes spínač, tvořený výkonovým tranzistorem typu MOSFET, připojena odporová zátěž. K řídicímu vstupu spínače je připojen blok mikroprocesoru, jehož vstupy jsou připojeny k odporovému děliči napětí (R_1 a R_2), zapojenému na výstupu fotovoltaického generátoru. Řízení spínače je prováděno pulsně šířkovou modulací (PWM). Uspořádání panelů fotovoltaického generátoru je 3×2 , kde první číslo je počet panelů zapojených v sérii a druhé číslo počet sériových větví paralelně propojených. Vzhledem k tomu, že výstup DC/DC měniče není vyhlazený (pulsy PWM), je veškerá energie spotřebována odporovou zátěží, přitom účinnost se pohybuje okolo hodnoty 98 %. Největší ztráta je na spínacím tranzistoru. Celý systém pracuje tak, že výkon fotovoltaického generátoru je akumulován v kapacitoru C , přes odporový dělič R_1 a R_2 jsou do mikroprocesoru vzorkovány hodnoty vstupního napětí a mikroprocesor vyhodnotí pomocí algoritmu střidu pro spínač (viz obr. 4). Obr. 7 znázorňuje rozšířené zapojení sestavy fotovoltaického generátoru a odporové zátěže s DC/DC měničem, na rozdíl od obr. 6 obsahuje navíc některé další pomocné prvky pro zlepšení funkčnosti technického řešení. Výstup z fotovoltaického generátoru je vypínatelný a proudově jištěn, je použita přepětíová ochrana FU_3 , diodová ochrana D_1 DC/DC měniče proti přepólování, proudová ochrana FU_1 , FU_2 , odděluje výkonové a řídicí části, Zenerova dioda D_3 , chrání vstupní svorky měření napětí mikroprocesorem, stabilizátor napětí zajišťující napájení mikroprocesoru přímo z fotovoltaického generátoru. Spínací prvek je jištěn proti přepětí vlivem vlastní indukčnosti vodičů a topné spirály pomocí blokovací diody D_2 .

Příklady - zapojení fotovoltaických panelů připojených přes DC/DC měnič ke spotřebiči.

Parametry systémů:

počet panelů	typ panelu	zátěž	uspořádání	výkon FV generátoru
6	180 Wp, $V_{MPP}=35V$, $I_{SC}=5,14A$ mono	1 kW/14,4 Ω , 120 V	3x2	1,08 kWp
10	180 Wp, $V_{MPP}=35V$, $I_{SC}=5,14A$ mono	1,5 kW/21,6 Ω , 180 V	5x2	1,8 kWp
12	180 Wp, $V_{MPP}=35V$, $I_{SC}=5,14A$ mono	2 kW/28,8 Ω , 240 V	6x2	2,16 kWp

mono - panely z monokrystalického křemíku;

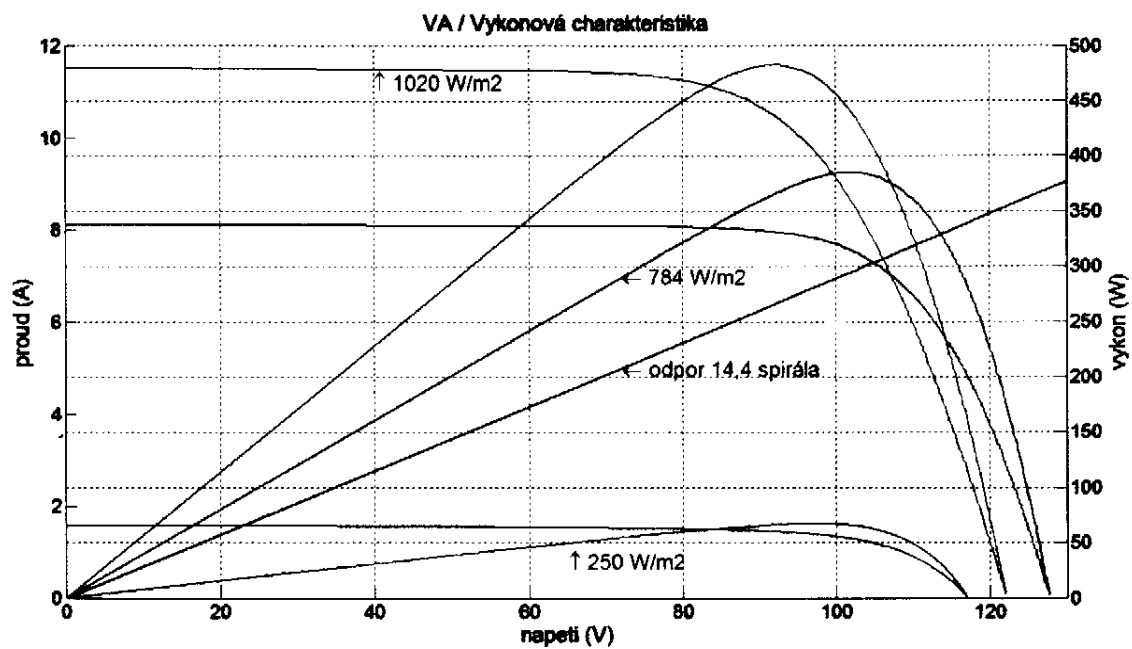
V_{MPP} , I_{SC} - napětí a proud v bodě maximálního výkonu panelů při standardních testovacích podmínkách.

- Technické řešení je využitelné pro napájení libovolných odporových topných zátěží pomocí zdroje tvořeného fotovoltaickými panely (fotovoltaický generátor). Zejména pak pro elektrické bojler s kombinovanou stejnosměrnou a střídavou topnou spirálou, které mají dva termostaty. Příklad využití: spirála napájená ze střídavé sítě je nastavena termostatem na 45 °C, spirála napájená stejnosměrným proudem, čili z DC/DC měniče pak na maximum 75 °C. Systém šetří energii, která by jinak musela být dodána z rozvodné sítě pro ohřev vody na 75 °C.

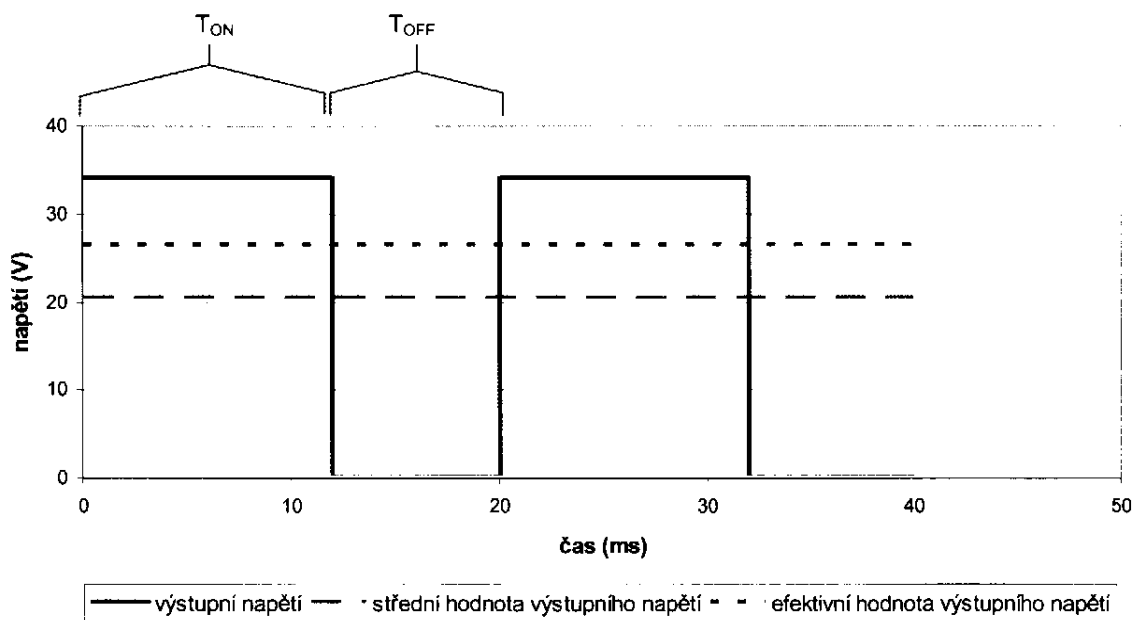
N Á R O K Y N A O C H R A N U

- 10 1. Systém pro předávání výkonu fotovoltaického generátoru s proměnným výstupním napětím do odporové zátěže, kde výstupy fotovoltaického generátoru, obsahujícího nejméně jeden fotovoltaický panel, jsou připojeny ke kapacitoru (C), **vyznačující se tím**, že kapacitor (C) je součástí DC/DC měniče, jehož výstup je připojen k odporové zátěži, kde DC/DC měnič dále obsahuje pulsně šířkovou modulací řízený spínač pro spínání řízené v závislosti na velikosti
15 proměnného napětí na výstupu fotovoltaického generátoru, kde tato závislost je definována vztahem $P = V^2 / R_0 \cdot S$, kde P je výkon spotřebovaný v zátěži, V je napětí, snímané na výstupu fotovoltaického generátoru, které je vyhlazené kapacitorem (C), R_0 je hodnota odporu zátěže a S je střída, definovaná vztahem $S = T_{on} / (T_{on} + T_{off})$, kde T_{on} je doba sepnutého stavu spínače a T_{off} doba vypnutého stavu spínače, přičemž k řídicímu vstupu spínače je zapojen blok mikroprocesoru, jehož vstupy jsou připojeny k odporovému děliči napětí, zapojenému na výstupu fotovoltaického generátoru.
20
2. Systém podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že spínačem je elektronický spínač, tvořený výkonovým tranzistorem typu MOSFET.
- 25 3. Systém podle nároku 1 nebo 2, **vyznačující se tím**, že odporovou zátěží je stejnosměrná topná spirála elektrického boileru, opatřeného kombinovanou stejnosměrnou a střídavou topnou spirálou a dvěma termostaty.

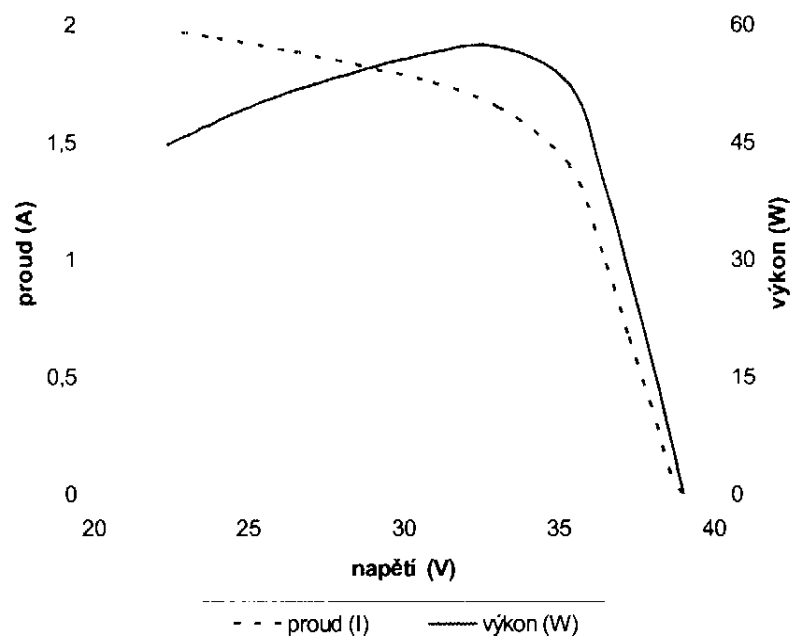
4 výkresy



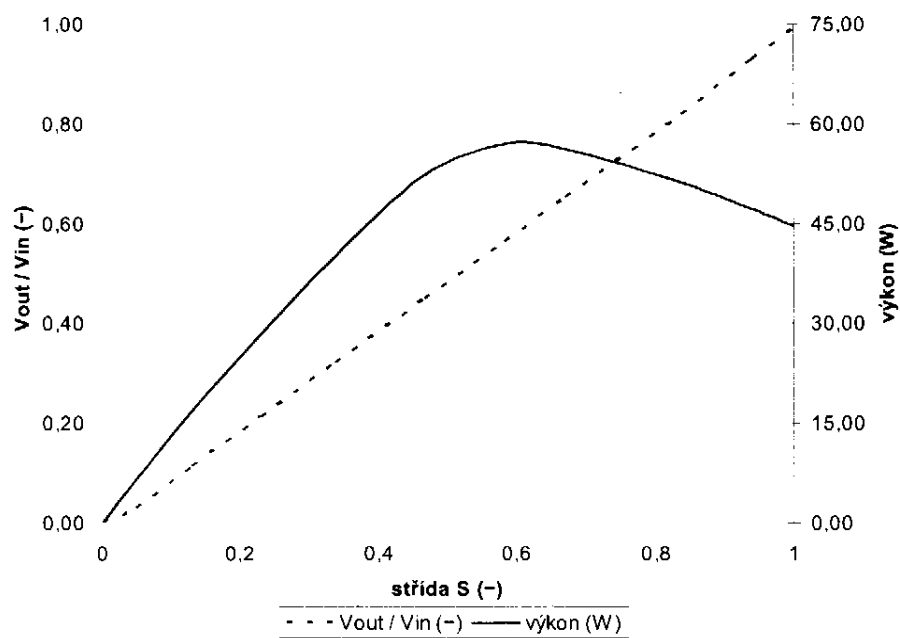
OBR.1



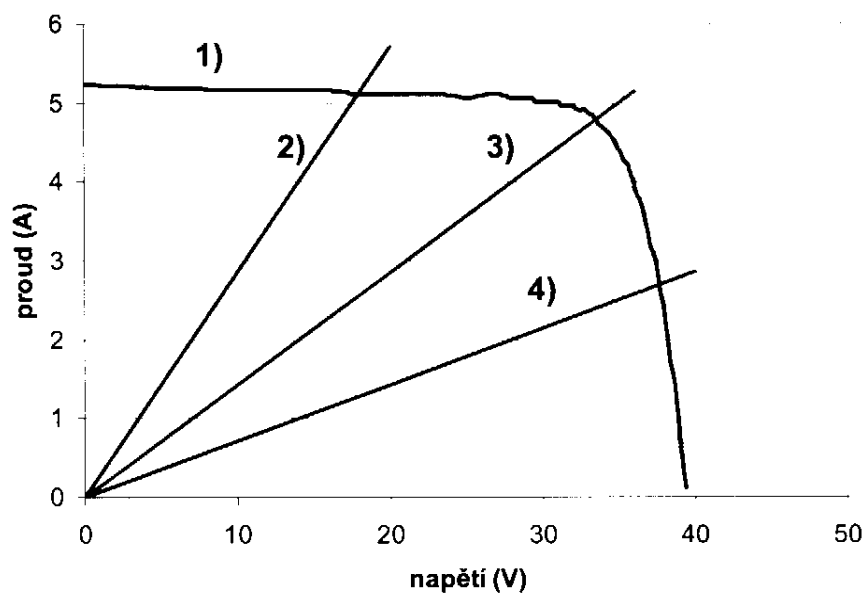
OBR.2



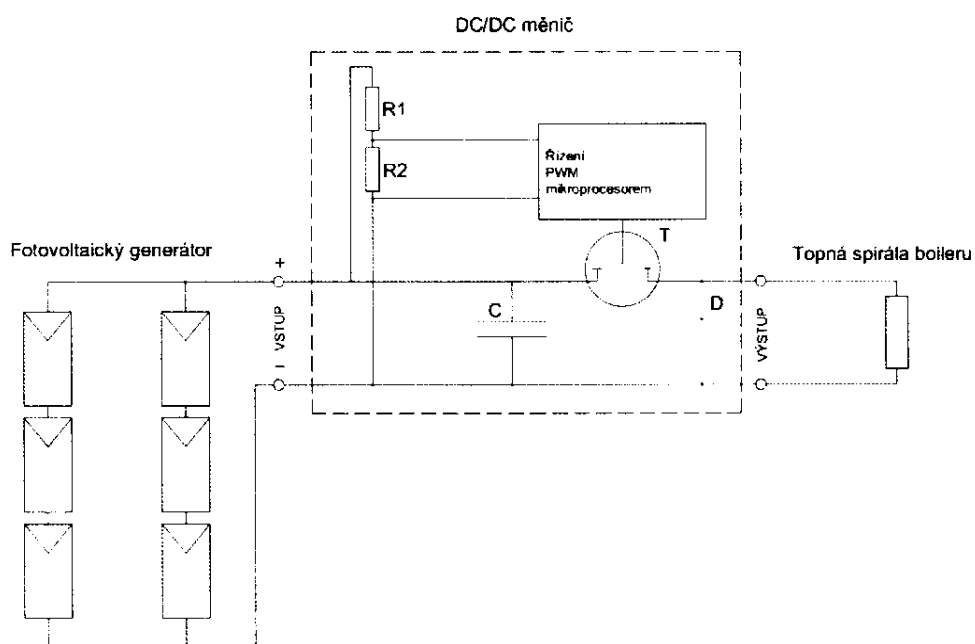
OBR.3



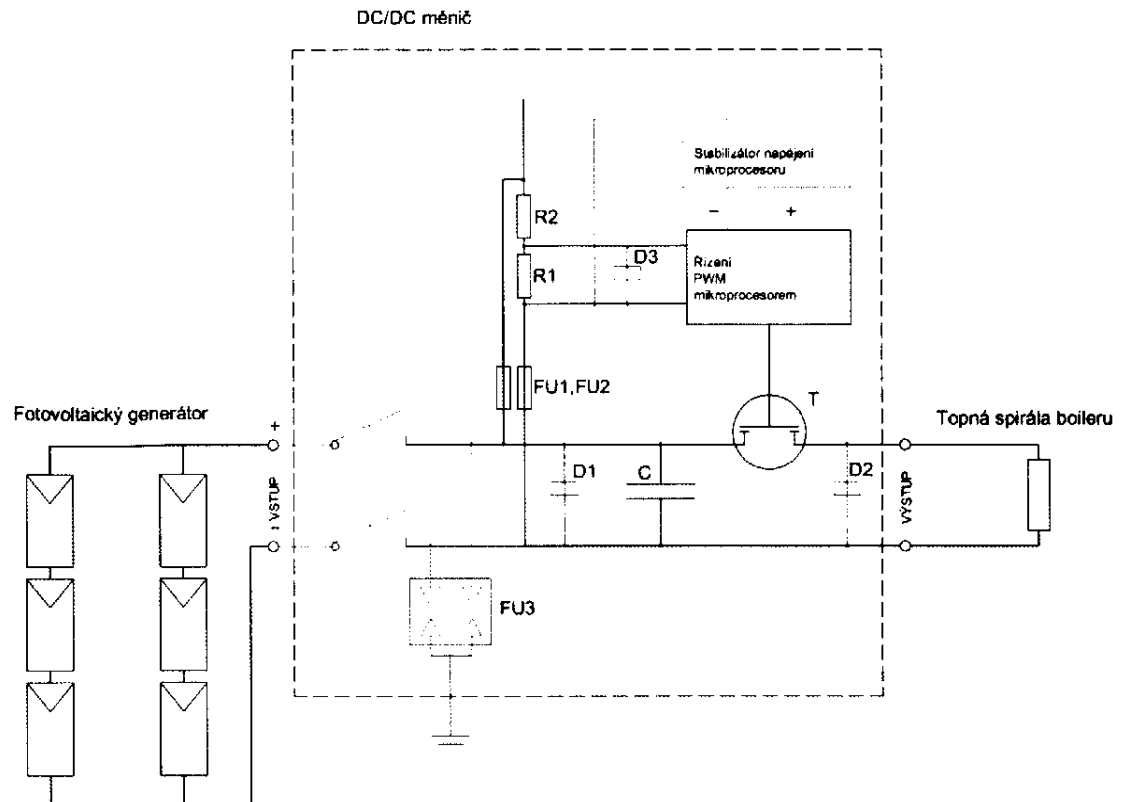
OBR.4



OBR.5



OBR.6



OBR.7

Konec dokumentu
