

Střední průmyslová škola strojnická Tábor

Komenského 1670

Studijní obor Technické lyceum

Využití solární energie - fotovoltaické články

Závěrečná ročníková práce

Autor: Radim Bělohav

Třída: 4.La

Školní rok: 2005/2006

Vedoucí učitel: Ing. Eva Horáčková

Konzultant: Vít Borský

„Prohlašuji, že jsem tuto práci zpracoval samostatně a uvedl jsem veškeré použité informační prameny.

V Táboře dne 30. 3. 2006“

Radim Bělohav

Anotace

Tato práce se zabývá fotovoltaickými články. Je rozdělena na 9 kapitol. První kapitola popisuje Slunce jako zdroj pro výrobu elektrické energie. Ve druhé kapitole je popsána historie fotovoltaického článku. Třetí kapitola se zabývá principem a čtvrtá výrobou. V páté kapitole jsou popsány materiály, které se používají na výrobu fotovoltaických článků. Šestá kapitola se zabývá výkonem. Sedmá kapitola popisuje zapojení článků do fotovoltaických systémů. V osmé kapitole se nachází popis komponent těchto systémů. Devátá kapitola je zaměřena na investice do fotovoltaických systémů a její návratnost.

Die Annotation

Diese Arbeit beschäftigt sich mit lichtelektrischen Zelle. Sie wird in neun Kapiteln geteilt. Das erste Kapitel beschreibt die Sonne als die Quelle für die Produktion der Elektroenergie. Im zweiten Kapitel wird die Geschichte der lichtelektrische Zelle beschrieben. Das dritte Kapitel beschäftigt mit diesem Princip und das vierte mit der Produktion. Im fünften Kapitel werden die Materialien vollgeschrieben, die für die Produktion lichtelektrischen Zellen benutzt. Das sechste Kapitel wird auf die Leistung orientiert. Das siebte Kapitel beschreibt Einfügen der Zellen in Solarsysteme. Im achten Kapitel befindet sich die Beschreibung den Komponenten diese Systeme. Das neunte Kapitel wird auf die Investitionen in Solarsysteme und ihre Rückvergütung gerichtet.

ÚVOD	5
1 SLUNCE A SLUNEČNÍ ZÁŘENÍ - ZDROJ PRO SOLÁRNÍ ČLÁNKY	6
2 HISTORIE FOTOVOLTAICKÉHO ČLÁNKU	8
3 PRINCIP FOTOVOLTAICKÝCH SYSTÉMŮ	9
4 VÝROBA	10
5 MATERIÁLY PRO SOLÁRNÍ ČLÁNKY	11
6 VÝKON	13
6.1 Zvýšení výkonu pomocí spojování fotovoltaických modulů	14
6.2 Zvýšení výkonu pomocí vnějších prostředků	14
7 FOTOVOLTAICKÝ SYSTÉM	16
7.1 Autonomní fotovoltaické systémy	16
7.2 Fotovoltaické systémy dodávající energii do rozvodné sítě	18
8 KOMPONENTY FOTOVOLTAICKÝCH SYSTÉMŮ	19
8.1 Nosné konstrukce	19
8.2 Ochrana před bleskem	20
8.3 Elektrické vedení	20
8.4 Napěťové měniče	20
8.5 Napěťové střídače	20
8.6 Akumulátory	22
8.7 Solární regulátor	23
9 RENTABILITA FOTOVOLTAICKÝCH SYSTÉMŮ	24
ZÁVĚR	25
SEZNAM POUŽITÝCH INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	26
PŘÍLOHY	27

Úvod

Téma, které se zabývá využitím solární energie ve fotovoltaických člancích, jsem si zvolil proto, že je to jeden z alternativních zdrojů energie. Tento způsob získávání elektrické energie by mohl časem alespoň částečně nahradit její výrobu z fosilních paliv a ekologické zatížení je při tom minimální. Dalším důvodem bylo, že jsem se o toto téma zajímal už dříve ale ne takto detailně.

V následujících kapitolách bych rád popsal, jak fotovoltaika vlastně funguje a že vlastně záleží na tom, jak moc světla dopadá na fotovoltaické panely. Dále bych chtěl vysvětlit postup výroby fotovoltaických článků, protože je to základ této technologie, který závisí na polovodičových vlastnostech materiálů. Následně bych se chtěl zabývat výkonem solárních článků a možnostem jeho zvýšení. Poté bych popsal do jakých systémů se články zapojují a jaké další části tyto systémy musí obsahovat, aby správně pracovaly. To vše bych rád zakončil rozborem, zda se vyplatí investovat do instalace fotovoltaických panelů.

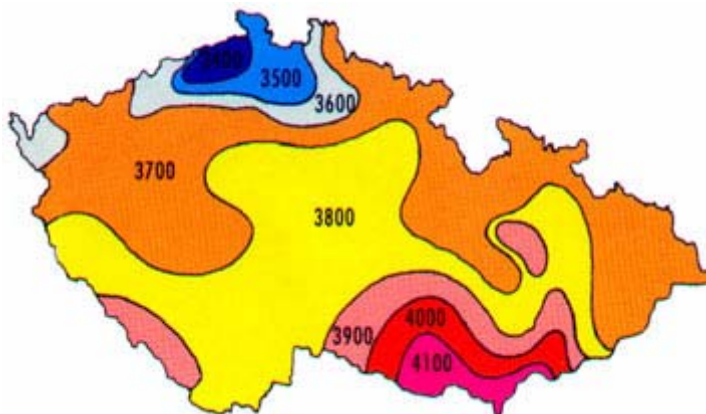
1 Slunce a sluneční záření - zdroj pro solární články

Slunce je obrovský termojaderný reaktor. V jeho nitru dochází při velmi vysokých teplotách k jaderné fúzi. Jádra atomů vodíku se slučují na jádra atomů hélia.

Slunce dodává již několik miliard let Zemi spolehlivě a zdarma energii. Celkový příjem sluneční energie Zemí představuje pouhou polovinu miliardtiny celkového výkonu Slunce. Mimo zemskou atmosféru je ozáření Sluncem konstantní a jeho intenzita je dána pouze vzdáleností od Slunce.

Pro ozáření Země na hranici atmosféry se používá solární (sluneční) konstanta. Používá se střední solární konstanta, která je 1367 wattů na metr čtvereční. Střední protože se ozáření Země v průběhu roku mění.

Celkové ozáření na Zemi se skládá ze dvou částí – přímé a nepřímé. Přímé ozáření převládá pouze při bezmračné obloze. Nepřímé ozáření bylo před dopadem na zemský povrch ovlivněno pevnými a kapalnými částicemi v atmosféře (např. mraky, prach). Nepřímé ozáření tvoří téměř 50 % z celkového množství dopadajícího záření.

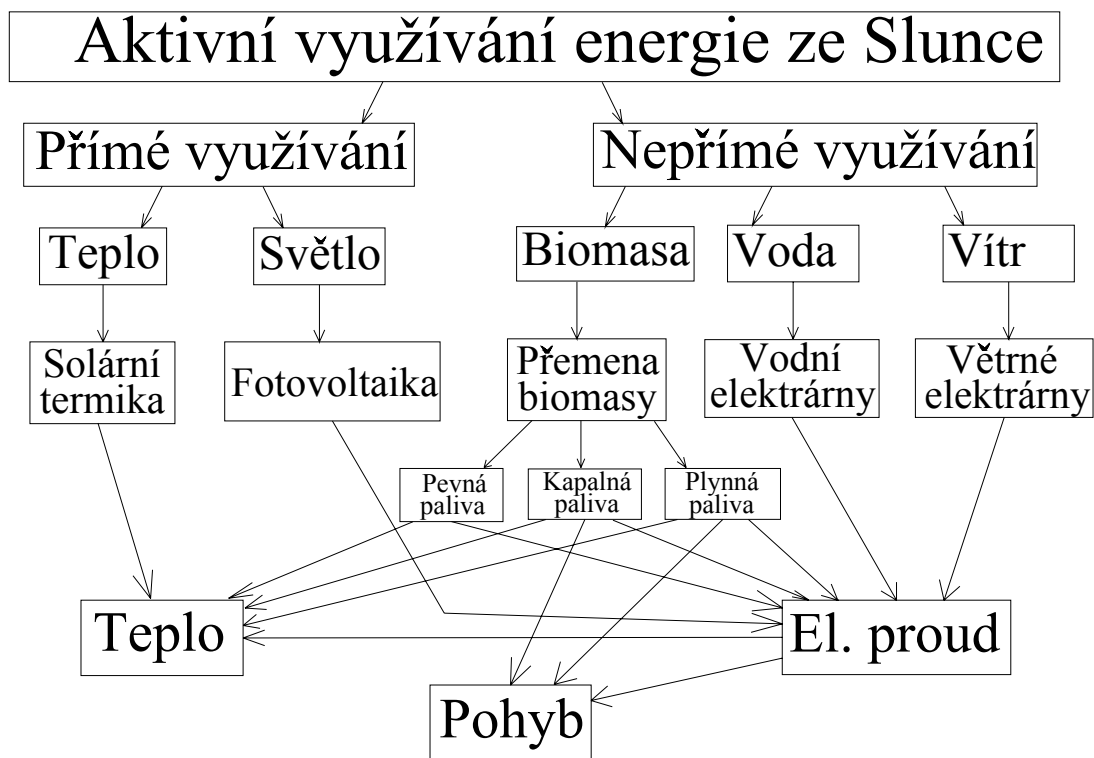


Obr.1 Globální sluneční záření na území ČR (MJ/m^2 za rok) – převzato z www.eles-solar.cz

Vedle rozdílů ozáření způsobených změnou ročních období má význam i úhel dopadajícího záření. Pokud sluneční paprsky nedopadají kolmo, je potřeba k získání stejného množství sluneční energie větší plocha, než je plocha kolmo ozařovaná. (intenzita ozáření pro různě skloněné plochy viz. P 1)

Využívat sluneční záření lze pasivně i aktivně. Pasivní využitím se zabývá solární architektura. Ta zkoumá, jak stavět domy, aby v zimě zachycovaly co nejvíce sluneční energie a získané teplo co si nejlépe zachovaly. V létě je zase nutné, aby se dům nepřehříval.

Aktivně využívat sluneční záření lze pomocí speciálních zařízení, ve kterých se sluneční záření přeměnilo na jinou formu. Následující obrázek ukazuje rozdělení aktivního využívání energie ze Slunce.



Obr.2 Aktivní využívání energie ze Slunce

2 Historie fotovoltaického článku

Historie fotovoltaického článku se začala odvíjet v roce 1839. V tomto roce prováděl francouzský fyzik Edmund Becquerel pokusy s dvěma kovovými elektrodami umístěnými v elektrovedivém roztoku a zjistil, že při osvětlení zařízení se zvýšilo napětí na elektrodách a objevil tím fotovoltaický efekt. V roce 1877 objevili William G. Adams a Richard E. Day fotovoltaický efekt na selenu a byl vyroben první solární článek. V roce 1918 objevil způsob růstu monokrystalu křemíku polský vědec Czochralsky. I přes objevy fotovoltaického efektu u dalších materiálů např. sulfid kadmia a oxid mědi se křemík ukazoval jako nejvhodnější. Jako vynálezce křemíkového solárního článku je označován Američan Russel S. Ohl. Patent ale obdrželi 5. března roku 1954 Gerald L. Pearson, Daryl M. Chapin a Calvin S. Fuller, kteří o měsíc déle vyrobili články o účinnosti 4,5%. Následný vývoj zrychlilo rozhodnutí používat je jako zdroj energie pro umělé družice Země.

3 Princip fotovoltaických systémů

Fotovoltaické systémy umožňují přímou přeměnu sluneční energie na energii elektrickou bez mechanických pohyblivých dílů. Základem této technologie je fotoelektrický jev. Základním dílem pro tuto přeměnu je solární článek tzn. polovodičový prvek, na kterém při dopadu slunečního záření vzniká fotovoltaické napětí. Funkci solárního článku je možné popsat tímto způsobem.

V polovodičovém krystalu vazbu mezi atomy zprostředkovávají elektrony z poslední vrstvy elektronového obalu atomu, tyto elektrony tvoří pevnou vazbu s elektrony ze sousedních atomů. Pro uvolnění elektronu z vazby je potřebná energie vyšší než je vazebná energie mezi atomy. Tuto energii mohou dodat dopadající fotony, což jsou částice solární energie. Jestliže je pohlcen foton s dostatečnou energií, uvolní elektron z vazby a ten se pak pohybuje volně v krystalu. Na jeho původním místě zůstane neobsazený stav - díra, do které mohou přeskakovat volné elektrony, které jsou vázány v kovalentní vazbě. Díra se může pohybovat krystalem jako kladný náboj. Jde tedy o vytvoření páru elektron-díra interakcí s fotonem, pokud se elektron vrátí na své původní místo, jde o rekombinaci elektronu a díry.

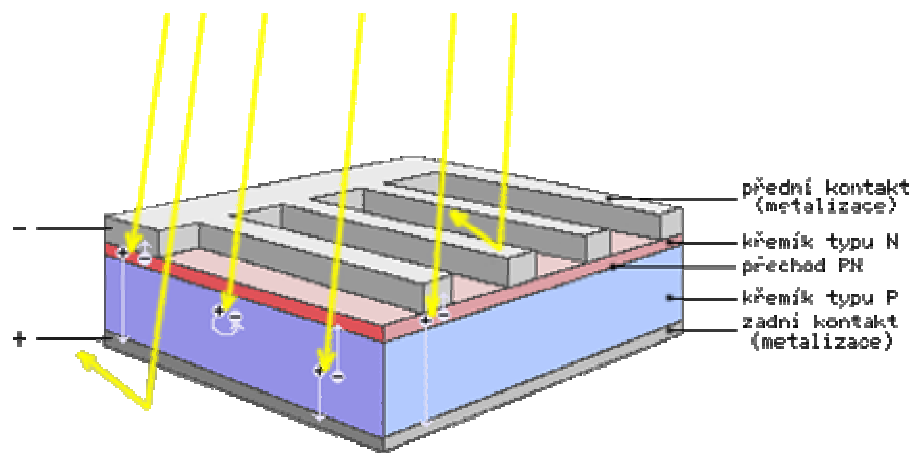
Jestliže se v krystalu vyskytuje nehomogenita, se kterou je spojeno vnitřní elektrické pole jako je třeba přechod PN, jsou elektrony posunovány do oblasti N a díry do oblasti P. Z toho vyplývá, že v oblasti typu N se hromadí záporný náboj a v oblasti typu P kladný náboj. Při osvětlení vodiče pak vzniká fotovoltaické napětí.

Pokud se připojí spotřebič mezi tyto oblasti, začne jím protékat elektrický proud, který může vykonávat užitečnou práci.

4 Výroba

Solární články se vyrábějí z několika prvků a sloučenin nejčastěji z monokrystalického a polykrystalického křemíku. Další jsou arsenid galia, sulfid kadmennatý.

Výroba článků z mono- nebo polykrystalického křemíku probíhá takto: křemenný písek se speciální metodou zbaví nečistot a vyrobí se křemíkový ingot, ten se rozřeže na destičky o tloušťce zhruba 300 μm povrchová vrstva se leptáním a broušením vyhlazuje. Poté se obě strany znečištěny tak, že na jedné straně se difúzí fosforu vytvoří vrstva typu N a její povrch je pokryt antireflexní vrstvou. Dále se na tomto povrchu vytvoří síť kovových kontaktů. Druhá strana článku je pokryta celoplošným kontaktem z hliníku.



Obr.3 Struktura a princip fotovoltaického článku – převzato z www.solartec.cz

5 Materiály pro solární články

Z technologického pohledu se nejvíce využívají nebo využívali tři materiály, které se chovají jako polovodiče:

- křemík
- arsenik galia
- sulfid kademnatý

Křemík (Si) – dnes je to nejvíce používaný materiál pro výrobu solárních článků. Využívají se dva druhy křemíku – polykrystalický a monokrystalický.

Polykrystalický křemík je vhodnější pro menší výkony a jeho výhodou je poměrně dobrá účinnost i při nižší intenzitě osvětlení. Monokrystalický křemík je výhodnější pro vyšší výkony solárních článků a při dostatečné intenzitě osvětlení má vyšší účinnost než polykrystalický.

Křemík pro výrobu solárních článků musí být velice čistý. Čistění křemíku je však velmi drahé a způsobuje vysokou cenu těchto článků. Použít lze i špinavý křemík, který má ale nevhodné vlastnosti. V tomto běžně znečištěném křemíku jsou nečistoty velmi drobné a jsou rozptýleny po celém objemu. Elektrony a fotony potom do nich naráží a snižuje se účinnost článků a tím i jejich výkon. Postup pro využití špinavého křemíku se zakládá na tom, že nečistá křemíková tavenina se ochlazuje velmi pomalu. Tím se docílí, že nečistoty vykristalizují ve větších kusech a nejsou tudíž roztroušeny tak hustě po objemu. To umožní lepší průchod elektronů a fotonů. Při pomalém ochlazování také vznikají větší krystaly křemíku, čím se také zvyšuje účinnost. Křemíkové články nejvíce využívají spektrum světla směrem k modré barvě.

Arsenid galia (GaAs) – velkou výhodou této sloučeniny je vyšší účinnost přeměny světla, která dosahuje 20 procent. Tyto články mají zároveň vyšší odolnost proti tvrdému kosmickému záření. Další výhodou je, že při vyšších teplotách, kolem 100 stupňů Celsia, neztrácejí svůj výkon. Mezi nevýhody patří mnohem vyšší cena a vyšší hustota než má krystalický křemík. Články vyrobené z arsenidu galia využívají oblast světelného spektra směrem k červené barvě.

Sulfid kademnatý (CdS) – Tento historicky nejstarší materiál pro výrobu solárních článků vytváří přechod PN se dvěma dalšími materiály. Je to sulfid měďný nebo telurid kademnatý. Články $\text{Cu}_2\text{S} - \text{CdS}$ mají výhodu ve své nižší hmotnosti, díky které se používali v kosmických aplikacích. Nevýhodou je ale jejich nízká stabilita. Dnes už se nepoužívají. Články s přechodem $\text{CdS} - \text{CdTe}$ jsou pokročilejší variantou. Tyto články ale vyhovují jen zařízením s nízkým příkonem a tudíž se v energetice příliš nepoužívají.

V současné době probíhá výzkum dalších polovodičů, které by byly vhodné pro použití ve fotovoltaických článcích. Revolucí v tomto výzkumu by mohli být solární články z polovodičových plastů, které využívají pokročilou nanotechnologii.

6 Výkon

Elektrické vlastnosti solárních článků se popisují charakteristikou neboli křivkou závislosti proudu na napětí. Nejvyšší možnou hodnotou proudu je tzv. zkratový proud I_{SC} , který může článek při dané intenzitě ozáření dodávat. Dalším charakteristickým bodem je napětí naprázdno U_{OC} , které udává maximální napětí článku, kterého je možno dosáhnout, když ke článku není připojen žádný spotřebič. Pro každý článek existuje pracovní bod na charakteristice, ve kterém je výkon největší. Tento bod je označován jako bod maximálního výkonu (MMP) o napětí U_{mp} a proudu I_{mp} . Výkon solárního článku se tedy vypočítá jako součin proudu a napětí. To znamená čím vyšší je fotovoltaické napětí tím vyšší je proud.

Velikost fotovoltaického napětí závisí na několika faktorech, které jsou pro výkon článku pozitivní i negativní:

- intenzita dopadajícího světla (počasí)
- materiál, ze kterého je fotovoltaický článek vyroben
- teplota článku
- čistota povrchu
- sklon osluněné plochy
- azimutový úhel osluněné plochy (odchylka od orientace na jih)

Při intenzitě dopadajícího světla 1000 wattů na metr čtvereční se proud vygenerovaný v jednom centimetru čtverečním pohybuje mezi 10 až 40 miliampéry v závislosti na použitém polovodiči a konstrukci článku. Proud je přímo úměrný ploše článku tak, že na standardním křemíkovém článku o rozměrech 10 x 10 centimetrů vzniká proud okolo 3 ampér a na článku s rozměry 15 x 15 centimetrů proud okolo 6 ampérů, dosahují tím výkonu 1,5 wattu respektive 3 wattů.

Napětí na jednom solárním článku dosahuje hodnoty kolem 0,5 voltu. To znamená, že je nízké a pro praktické využití nevhodné. Pro zvýšení napětí se fotovoltaické články zapojují do fotovoltaických modulů, kde jsou řazeny sériově. Nejčastěji se spojuje 36 článků pro zisk 12 voltů nebo 72 článků s napětím 24 voltů. Při sériovém zapojení článků je však nutné, aby všechny byly přibližně stejně osvětleny a žádný nebyl zastíněn, protože to by zna-

menalo výrazné snížení výkonu. Celkový výkon fotovoltaického modulu se usává při intenzitě osvětlení 1000 wattů na metr čtvereční.

6.1 Zvýšení výkonu pomocí spojování fotovoltaických modulů

Dnes se vyrábějí moduly v rozsahu výkonu od jednotek wattů do hodnot kolem 200 wattů. Při potřebě výkonu většího než jakého dosahuje jeden modul, lze propojit více modulů mezi sebou do tzv. fotovoltaických polí (někdy se užívají termíny sluneční baterie nebo solární generátor).

Moduly se dají propojit třemi způsoby:

- sériově – pouze zvýšení vyráběného napětí
- paralelně – pouze zvýšení vyráběného proudu
- kombinací obou spojení – zvýšení vyráběného proudu i napětí

Konstrukci fotovoltaického pole by měly tvořit moduly stejného typu od stejného výrobce.

6.2 Zvýšení výkonu pomocí vnějších prostředků

Zvýšeného výkonu fotovoltaického pole lze dosáhnout i použitím vnějších prostředků, které koncentrují světlo na povrch modulů. Takto zvyšovat výkon lze pomocí několika konstrukcí.

Rovinná zrcadla – jsou umístěna mezi solární moduly a zvyšují výkon až o 50 procent. Používají se hlavně u konstrukcí, které nesledují dráhu Slunce.

Optické čočky – jsou značně masivní, proto se ve větší koncentrátorech používají Frenselovy čočky. Jejich princip ale vyžaduje dvouosý natáčecí systém konstrukce pro sledování dráhy Slunce.

Lineární parabolická zrcadla – dosahují mnohem vyšší koncentrace záření než rovinná zrcadla. Pro větší efektivitu vyžadují alespoň jednoosé sledování dráhy Slunce.

Složené parabolické koncentrátory – jsou známé pod názvem Winstonovy koncentrátory a jsou obdobou lineárních parabolických zrcadel. Nejsou však tak citlivé na správné nasměrování, proto se dají využívat bez systému sledování dráhy Slunce.

7 Fotovoltaický systém

Pro využití elektrické energie vyrobené ve fotovoltaických polích se vytváří fotovoltaické systémy. Těchto systému je několik druhů a dělí se na dva základní typy:

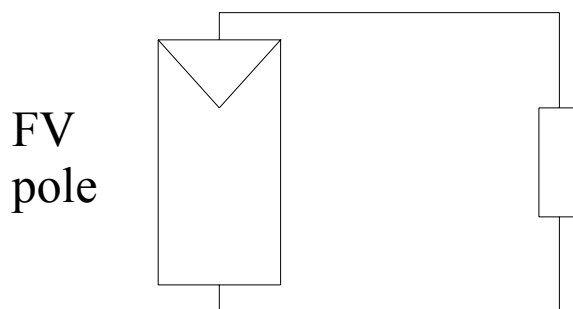
- autonomní fotovoltaické systémy
- systémy dodávající energii do rozvodné sítě

Pro tyto zapojení jsou potřeba další konstrukční součásti a elektrotechnické součástky (přístroje).

7.1 Autonomní fotovoltaické systémy

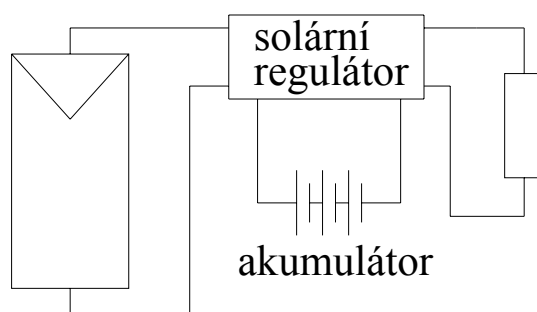
Tento systém je nezávislý na rozvodné síti a buduje se tam, kde by bylo velmi nákladné vybudovat elektrickou přípojku k běžné rozvodné síti. V tomto případě je kladen důraz na minimální ztráty a případně na použití energeticky úsporných spotřebičů. Dělí se na několik druhů.

Systémy s přímým napájením jsou umísťovány tam, kde není zapotřebí neustálý provoz a stačí, když je zařízení funkční po dobu dostatečné intenzity světla, jde pouze o zapojení panelu a spotřebiče.

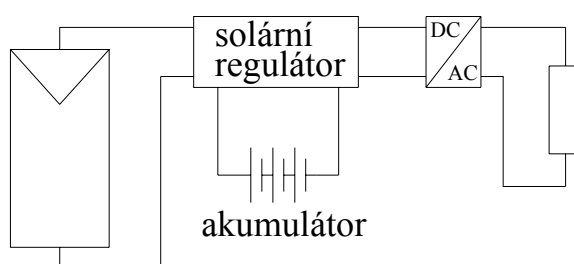


Obr.4 Systém s přímým napájením

Systemy s akumulací energie sestávají se, protože doba po kterou je k dispozici energie z panelů, není velmi často shodná s dobou, kdy je potřeba. Nezbytnou součástí tohoto systému je akumulátor, který vyrobenou elektrickou energii uchovává pro pozdější spotřebu. Optimální nabíjení a vybíjení akumulátoru zajišťuje solární regulátor. Pro úpravu napětí lze připojit napěťový měnič. K připojení běžného síťového spotřebiče se musí zapojit napěťový střídač.

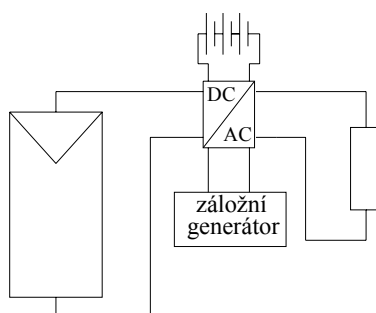


Obr.5 Systém s akumulací energie (stejnoseměrný spotřebič)



Obr.6 Systém s akumulací energie (střídavý spotřebič)

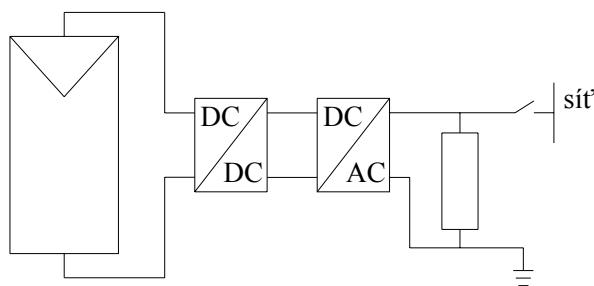
Hybridní autonomní systém využívá se tam, kde je zapotřebí celoroční provoz. Protože v zimních měsících je možné získat z fotovoltaických panelů podstatně méně elektrické energie než v létě, tak se připojí záložní zdroj a ten potom zajišťuje přísun el. energie v době nedostatku slunečního svitu. Tímto záložním zdrojem může být například spalovací generátor.



Obr.7 Hybridní autonomní systém s akumulátorem

7.2 Fotovoltaické systémy dodávající energii do rozvodné sítě

Pomocí těchto systémů se elektrická energie může dodávat do rozvodné sítě a není ji nutné ukládat do akumulátorů. V případě dostatečného osvětlení panelů jsou spotřebiče napájeny fotovoltaickou energií a případný přebytek je dodáván do veřejné rozvodné sítě. Když je nedostatek vlastní energie, je naopak odebírána z rozvodné sítě. Tyto systémy obsahují napěťové střídače, které musí splňovat všechny potřebné ochranné a bezpečnostní funkce. Jejich činnost je obvykle zajištěna výkonovým polovodičovým systémem s digitálním řízením. Střídače pracují v režimu PWM synchronizované rozvodnou sítí.



Obr.8 Systém dodávající energii spotřebiči a do rozvodné sítě

8 Komponenty fotovoltaických systémů

Z předcházejících dvou částí vyplývá, že fotovoltaické systémy obsahují další prvky a konstrukce, které zajišťují jejich správný provoz a zvyšují provozní spolehlivost a životnost.

Těmito prvky jsou:

- nosné konstrukce
- ochrana před bleskem
- elektrické vedení
- napěťové měniče
- napěťové střídače
- akumulátory
- solární regulátory

8.1 Nosné konstrukce

Fotovoltaické panely se montují na konstrukce, které zajišťují jejich polohu. Tyto konstrukce musí odolat různým klimatickým vlivům a lze je vystavit vysoké zátěži. Vyrábějí se z materiálů, které odolávají korozi. Nejvíce vhodné jsou slitiny hliníku nebo oceli s příslušnou povrchovou úpravou. Nosné konstrukce se dělí na dva typy.

Statické konstrukce – jsou nejvíce četné u instalací na velkých plochách a neumožňují sledovat dráhu Slunce. Jejich úhel odklonu je nastaven napevno vzhledem k maximálnímu využití dopadajícího světla. Pro provoz po celý rok je vhodný úhel odklonu od horizontály odpovídající zeměpisné šířce daného místa.

Pohyblivé konstrukce – jsou časté u systému s koncentrátory. Jejich velkou předností je možnost sledování dráhy Slunce. Používá se jeden či více akčních členů (nejčastěji elektromotory), které natáčí moduly nebo koncentrátory. Sledování dráhy Slunce je jednoosé nebo dvouosé. Jednoosé otáčení se provádí kolem vertikální osy. Dvouosé otáčení je realizováno kolem vertikální i horizontální osy. Ke správné funkci jsou nutná čidla ideální polohy vzhledem ke Slunci a řídicí mechanismy motorů. Cena těchto konstrukcí je mnohem vyšší než cena statických konstrukcí.

8.2 Ochrana před bleskem

Je důležitá na vysokých budovách a na vyvýšených místech a také v polohách s častými bouřkami. Jedná se o dva druhy ochrany.

Vnější ochrana – je reprezentována bleskosvody, které jsou umístěny na vrcholech střechy. Nosné konstrukce se pak spojí s uzemňovacím vodičem.

Vnitřní ochrana – má zamezit poškození elektrický zařízení vlivem přepětí. Přepětí může vzniknout zásahem bleskem (pokud není vnější ochrana) a indukci ve vodivých smyčkách vznikajících propojením modulů. Tyto smyčky indukovaného napětí jsou přepět'ovými ochranami odváděny na zemnicí vedení. Jako přepět'ové ochrany se užívají různé druhy bleskojistek a jiskřišť. Moderní ochranou je tzv. dehn-ventil (více zdroj č. 8)

8.3 Elektrické vedení

Kabely pro stejnosměrný proud mají jednu nebo více žil, které jsou většinou vyrobené z mědi. Každá žila je obklopená izolací a všechny dohromady jsou obaleny pláštěm, který musí odolat klimatickým vlivům a UV záření.

Připojování se provádí pomocí konektorů nalisovaných na konce vodivých lanek. Kabely se pak jednoduše upevňují pomocí spon a příchytek, mechanicky odolnější je umístění do instalačních trubek a kabelových kanálů.

8.4 Napět'ové měniče

Měnič je elektronický přístroj měnící napětí vyrobené fotovoltaickými moduly na požadovanou hodnotu, která je většinou dána typem použitého akumulátoru nebo se umísťují před střídače v systémech, které jsou spojeny s rozvodnou sítí.

8.5 Napět'ové střídače

Střídače jsou elektronické přístroje, které převádějí vstupní stejnosměrné napětí na výstupní střídavé pomocí řízených polovodičových prvků. Střídavé napětí může být následně

transformováno na požadovanou hodnotu pomocí transformátoru. Z hlediska fotovoltaických systému se střídače rozdělují na dva druhy.

Izolované střídače – jsou umístěny v autonomních sítích. Mají však omezené možnosti nastavení výstupních veličin a průběh výstupního napětí se často výrazně liší od sinusového průběhu a je lichoběžníkový. V autonomních systémech by měl být umístěn jen jeden střídač.

Střídače pro paralelní provoz s veřejnou sítí – jsou obsaženy v systémech napojených na veřejnou rozvodnou síť. Jejich výstupní napětí odpovídá napětí sítě a je synchronní s frekvencí sítě. Používají se jednofázové nebo třífázové střídače. Z důvodů bezpečnosti musí tyto střídače neustále sledovat napětí v síti a pokud dojde k výpadku okamžitě ukončit napájení sítě. Pro zvolení vhodného střídače je rozhodující jmenovitý výkon fotovoltaických modulů a velikost jejich výstupního napětí.

Charakteristické vlastnosti střídačů – každý střídač má své základní vlastnosti, které ho charakterizují.

Výkon – udává se maximální přenášený výkon, tzn. výkon který je schopen převést ze vstupu na výstup bez jeho výrazného omezení. Izolované střídače mají maximální výkon do dvou kilowattů, střídače pro paralelní provoz do pěti kilowattů.

Vstupní napětí – u střídačů v autonomních systémech je dáno typem použitého akumulátoru (nejčastěji 12, 24 a 48 V). U střídačů spojených se sítí jde o napětí až několik set voltů kvůli snížení ztrát způsobených sériovým odporem vedení

Výstupní napětí – v autonomních systémech je dáno požadovaným napětím napájených spotřebičů a u střídačů spojených se sítí je určeno sítíovým napětím.

Účinnost – to je poměr výstupního výkonu ku vstupnímu se dnes pohybuje mezi hodnotami 90 až 98 procent a závisí na tom ve které části pracovního rozsahu měnič pracuje. Dobrá účinnost je důležitá i při malém vytížení, protože vlivem změn výkonu dopadajícího záření většinu provozní doby pracuje střídač v oblasti malého a středního vytížení.

U střídačů v Evropě se zjišťuje takzvaná evropská účinnost, která se vypočítává z účinnosti při 5, 10, 20, 30, 50 a 100 procentech jmenovitého výkonu jako vážený průměr odpovídající poměrům slunečního ozáření ve střední Evropě. Tato účinnost pak udává střední účinnost v ročním průměru, kterou střídač dosahuje ve středoevropských fotovoltaických instalacích.

Zapojení střídačů ve fotovoltaických systémech

Modulový střídač – je střídač malého výkonu (do 300 wattů), který se instaluje přímo na fotovoltaický modul. Všechny moduly potom mají své střídače, jejichž vstupy se paralelně spojí a připojí k síti. Tento systém lze snadno rozšířit o další moduly a je tak možné dosahovat značných výkonů. Pokud je některý z modulů částečně zastíněn, nedochází k vysokým ztrátám celého fotovoltaického pole.

Centrální střídač – převádí celý výkon všech modulů (do 5 kilowatt), které se sériově i paralelně spojí. Výhodou systému s centrálním střídačem je vyšší pracovní napětí, které je vhodné pro zmenšení ztrát ve vedení a vyšší účinnost střídače. Toto zapojení však rozšiřovat o další moduly, protože by se zvýšil výkon fotovoltaického pole a to by znamenalo výměnu stávajícího střídače za výkonnější.

Řetězový střídač – užívá se u kombinací předchozích zapojení, kdy několik modulů je zapojeno sériově a výkon tohoto řetězce (do 2 kilowatt) zpracovává jeden měnič. Takovýchto řetězců může být v systému několik. Často se používá zapojení, kdy tři různé řetězce dodávají výkon do třech fází síťového rozvodu.

8.6 Akumulátory

Akumulátory slouží jako zásobníky elektrické energie. Ta je v době dostatku slunečního záření ukládána a v případě potřeby v noci a při nedostatku slunečního světla odebírána. Nejčastěji se používají akumulátory se stejnosměrným napětím 12 a 24 voltů.

8.7 Solární regulátor

Solární regulátor zabraňuje tomu, aby akumulátor nebyl při nabíjení přetížen, protože je to pro něj velmi škodlivé. Při přetížení regulátor akumulátor odpojí. Dobré regulátory navíc disponují ochranou proti hlubokému vybití. To zaručuje, že se akumulátor bude vybíjet jen do předvoleného napětí. Pokud akumulátor dosáhne této hranice je rovněž odpojen regulátorem. Pokud se solární regulátor nepoužije, tak dochází k přetížením a hlubokým vybitím akumulátoru a výrazně se zkracuje jeho životnost.

9 Rentabilita fotovoltaických systémů

Realizace fotovoltaických systémů je relativně nákladná a to hlavně samotné fotovoltaické moduly. Pokud se životnost systému předpokládá na 20 let, tak náklady na jednu vyrobenou kilowatt hodinu jsou v současnosti 8 až 20 korun v závislosti na místních podmínkách. Z toho důvodu nemohou fotovoltaické systémy přímo napojené na rozvodnou síť konkurovat elektrické energii z klasických zdrojů.

V autonomních systémech se však pořízení fotovoltaiky může ve velké části případu ekonomicky vyplatit. Pokud se spočítá investice do vybudování přípojky k rozvodné síti ke vzdálenějším místům je fotovoltaika výhodnější. Malé fotovoltaické systémy se spotřebou do 150 Wh za den jsou levnější v jakékoliv vzdálenosti od sítě.

Hlavní porovnání nákladů s jinými lokálními zdroji závisí na denní spotřebě. Když se porovnají náklady na provoz elektrocentrály s fotovoltaikou a potřeba energie je menší než 5 kWh za den při celoročním provozu nebo 20 kWh za den při provozu jaro-podzim, je dnes fotovoltaika vhodnějším řešením.

Výhody fotovoltaických systémů

- nezávislost na elektrické rozvodné síti
- ekologicky čistý zdroj elektrické energie
- nezávislost na vyčerpatelných fosilních zdrojích elektrické energie
- zdroj elektřiny v odlehlých místech, nepřipojených k elektrické rozvodné síti
- alternativní energetický zdroj, jehož důležitost stoupá v souvislosti s rostoucí cenou energií
- vysoká a dlouhodobá stabilita parametrů fotovoltaických článků umožňuje jejich spolehlivou funkci po dobu minimálně 20 let

Nevýhody fotovoltaických systémů

- vyšší pořizovací cena (je kompenzována životností)
- závislost na slunečním světle

Závěr

Fotovoltaika je důležitým alternativním zdrojem, který prochází rychlým vývojem a v budoucnu se bude stále více uplatňovat a to hlavně díky ceně, která již dnes rychle klesá.

V této práci jsem splnil vše co jsem si předsevzal, že v ní vysvětlím. V průběhu zpracování jsem získal zajímavé poznatky o fotovoltaike. Příklady praktických použití jsem neuvedl z důvodu, že převážná část realizovaných systémů jsou demonstrační projekty a jsou na nich ověřovány různé typy fotovoltaiických modulů (materiály a konstrukce), prostředky pro akumulaci energie atd. a provoz v reálných podmínkách.

Části této práce mohou být použity na školách v předmětech zabývajících se elektrotechnikou a ve fyzice.

Seznam použitých informačních zdrojů

1. BENDA, Vítězslav, BROŽ Karel. *Slunce ve školách a jak dál.....?*. Integrovaná střední škola energetická Chomutov, 2005. 96 stran
2. BLAHOVEC, Antonín. *Elektrotechnika II*. 4.vyd. Praha: INFORMATORIUM s.r.o. 2003. 154 stran
3. *TZB info* [CD-ROM]. www.tzb-info.cz
4. SOLARTEC Rožnov pod Radhoštěm [web stránky] URL: <http://www.solartec.cz>
5. ENVI, s.r.o. - společnost pro ekologické, obchodní a projekční služby Třeboň [web stránky] URL: <http://www.envi.cz/>
6. Techblog [web stránky]
URL: <http://techblog.srubar.net/technologie/solarni-clanky-ze-spinaveho-kremiku.html>
7. PRE a.s. Praha [web stránky]
URL:
http://www.pre.cz/domacnosti/doplnkove_sluzby/poradenstvi/fve/o_fotovoltaiicke_vyrobe_elektriny.html
8. ELFETEX s.r.o. [web stránky]
URL:http://www.elfetex.cz/editor/image/novinky_denni/1_163217_DEHNventil%20Ds_705.pdf
9. Quido Magazín [web stránky] URL: <http://www.quido.cz/objevy/fotovolt.htm>
10. HW Server [web stránky]
URL: <http://automatizace.hw.cz/view.php?cislocianku=2005120501>

Přílohy

Příloha 1

Střední intenzita slunečního záření G [$W \cdot m^{-2}$] na různě skloněné plochy pro 50° severní šířky a součinitel znečištění atmosféry $Z = 3$							
Úhel sklonu osluňené plochy β	Střední intenzita slunečního záření G [$W \cdot m^{-2}$] v jednotlivých měsících						
		I.	II.	III.	IV.	V.	VI.
	XII.	XI.	X.	IX.	VIII.	VII.	
Azimutový úhel osluňené plochy $\gamma = \pm 0^\circ$ (orientace na jih)							
0°	139	188	271	411	484	534	561
15°	227	278	371	485	540	581	597
30°	299	358	443	537	574	609	611
45°	344	412	490	558	580	600	590
60°	382	449	520	545	533	515	519
75°	392	472	526	520	463	410	394
90°	396	479	494	463	373	286	264
Azimutový úhel osluňené plochy $\gamma = \pm 15^\circ$							
15°	192	241	337	452	529	557	576
30°	265	327	418	510	547	555	569
45°	344	383	473	535	534	524	523
60°	395	423	500	523	502	456	436
75°	401	446	481	497	448	373	343
90°	383	418	440	445	352	275	250
Azimutový úhel osluňené plochy $\gamma = \pm 30^\circ$							
15°	180	245	335	443	512	558	576
30°	247	312	403	492	543	551	568
45°	311	351	446	517	527	515	523
60°	335	368	464	508	503	470	460
75°	346	372	448	461	444	392	370
90°	332	361	440	399	353	290	271
Azimutový úhel osluňené plochy $\gamma = \pm 45^\circ$							
15°	173	205	326	448	522	564	577
30°	236	278	377	473	527	541	547
45°	265	305	410	474	511	515	502
60°	292	314	409	460	473	468	441
75°	299	320	393	435	434	404	376
90°	279	308	353	400	358	315	300