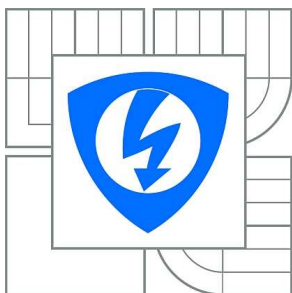


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

MODEL PRO ŘÍZENÍ ZÍSKÁVÁNÍ ENERGIE ZE SOLÁRNÍHO PANELU

MODEL FOR ENERGY CONTROL FROM SOLAR PANEL

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

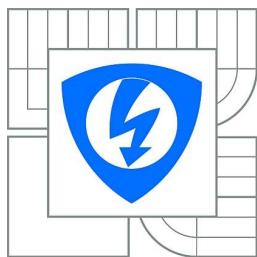
JIŘÍ HROMEK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. PETR MALOUNEK

BRNO 2010



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav automatizace a měřicí techniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Automatizační a měřicí technika

Student: Jiří Hromek

ID: 78271

Ročník: 3

Akademický rok: 2009/2010

NÁZEV TÉMATU:

Model pro řízení získávání energie ze solárního panelu

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s možnostmi získávání elektrické energie ze solárních panelů a možnou optimalizací získávaného maxima elektrické energie z nich. Vytvořte model v prostředí Matlab/Simulink, který bude představovat solární panel s připojeným stejnosměrným pohonem pro jeho náklon. Výstupem modelu bude získávané napětí pro různé úhly náklonu panelů oproti zdroji světla a různé intenzitě osvětlení. Navrhněte řízení tohoto modelu pro získávání maxima napětí ze solárních panelů. Vytvořte konstrukční návrh modelu se solárními paneli a zdrojem světla představujícím slunce. Navrhněte možnosti řízení pohybu zdroje světla a náklonu solárních panelů. Model by měl být snadno připojitelný k programovatelným automatům firmy B&R. Model prakticky realizujte.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Libra, M.: Fotovoltaika, 2009, ISBN: 978-80-904311-0-2

Termín zadání: 8.2.2010

Termín odevzdání: 31.5.2010

Vedoucí práce: Ing. Petr Malounek

prof. Ing. Pavel Jura, CSc.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Práce blíže přibližuje problematiku získávání elektrické energie ze Slunce. Seznamuje s principy a zejména možnostmi optimalizace získávaného maxima. Je vytvořen model v prostředí Matlab/Simulink, představující zdroj záření a solární panel. Výstupem modelu je získávané napětí pro různé úhly náklonu panelu oproti zdroji světla a různé intenzitě osvětlení. Model je poté prakticky zrealizován. Dále je navrženo řízení modelu pro získávání maxima napětí ze solárních panelů. Model je snadno připojitelný k programovatelným automatům firmy B&R

Klíčová slova:

Získávání elektrické energie, fotoelektrický jev, fotovoltaický článek, intenzita záření, Matlab/Simulink, optimalizace získaného napětí, řízení modelu, programovatelné automaty B&R

ABSTRACT

This thesis specifies problems of electricity development from the sun. It informs about the principles and especially means of optimizing of extracting maximum. There is created a prototype in the Matlab/Simulink environment/medium/milieu (nevím přesně, jaký typ prostředí to je...stačí prohledat slovník na Seznamu) representing a source of radiation and a solar panel. A prototype output is an extracted voltage for a different angles of panel tilt compared to a light source and a different lighting intensity. A prototype is practically realized then. Then there is devised a procedure of prototype for a maximum voltage extracting from solar panels. A prototype is liable to connect to the programmable controller of B&R company.

Key words:

Electricity development, the photoelectric effect, barrier-layer photocell, lighting intensity, Matlab / Simulink, optimizing of extracting maximum, procedure of prototype, programmable controller of B & R company

Bibliografická citace

HROMEK, J. *Model pro řízení získávání energie ze solárního panelu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010. 44 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Petr Malounek.

Prohlášení

„Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Model pro řízení získávání energie ze solárního panelu jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.“

V Brně dne: **31. května 2010**

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Petru Malounkovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne: **31. května 2010**

.....
podpis autora

1. ÚVOD	8
2. HISTORIE	9
2.1 Rozvoj Fotovoltaiky.....	9
2.2 Fotoelektrický jev	10
2.3 Polovodiče.....	10
3. ZÁKLADNÍ TYPY FOTOVOLTAICKÝCH ČLÁNKŮ	14
3.1 ROZDĚLENÍ FV ČLÁNKŮ	14
4. ZVÝŠENÍ ÚČINNOSTI FOTOVOLTAICKÝCH MODULŮ	15
4.1 Možnosti zvýšení účinnosti.....	15
5. VYUŽITÍ FOTOVOLTAICKÝCH PANELŮ V PRAXI.....	18
5.1 Konstrukce	18
5.1.1 Pevné (fixní) instalace	19
5.1.2 Polohovatelné instalace	20
6. MODEL.....	23
6.1 Konstrukční model.....	23
6.2 Zdroj záření.....	26
6.2.1 Konstrukční model zdroje záření.....	28
6.3 Řízení a vizualizace	29
6.3.1 Hardwerová konfigurace	30
6.3.2 Softwerová konfigurace.....	31
6.3.3 Vizualizace	33
6.4 Model v prostředí matlab/Simulink	34
6.5 Návrh řízení modelu	37
7. ZÁVĚR.....	39

Seznam obrázků:

Obrázek 2.1: Schématické znázornění struktury polovodiče [1]	11
Obrázek 2.2: Princip funkce fotovoltaického článku [2]	12
Obrázek 5.1: Srovnání výkonnosti u pevných a polohovacích systémů [7]	19
Obrázek 5.2: Výtěžnost Wh/den a závislosti na náklonu fotov. panelů [5].....	20
Obrázek 5.3: Získaná energie z m^2 v závislosti na období v roce [6].....	21
Obrázek 5.4 Konstrukce jednoosého polohovatelného systému TRAXLE [6]	21
Obrázek 5.5: Konstrukce dvouosého polohovacího systému [5].....	22
Obrázek 6.1: Mezní hodnoty otáčení a naklánění solárního panelu	24
Obrázek 6.2: Konstrukční model řízeného FV článku a zdroje záření	24
Obrázek 6.3: Popis serva [10]	25
Obrázek 6.4: Možnosti natáčení serva [9].....	25
Obrázek 6.5: Spektrální graf o různé vlnové délce [7]	27
Obrázek 6.6: Konstrukční model zdroje záření.....	29
Obrázek 6.7: Hardwerová konfigurace karet v prostředí Automation studio	29
Obrázek 6.8: Přiřazení proměnných jednotlivým výstupům karty X20MM3332	31
Obrázek 6.9: Rozdělení jednotlivých programů	32
Obrázek 6.10: Vizualizace	34
Obrázek 6.11: Závislosti získaného napětí na úhlu natočení	36
Obrázek 6.12: Pomocné zařízení pro vyhodnocení směru záření	38

Seznam tabulek:

Tabulka 6.1 Měrný světelný výkon světelných zdrojů	28
--	----

1. ÚVOD

Fotovoltaika a obecně získávání elektrické energie ze slunečního záření je již nedílnou a rychle se rozšiřující oblastí nejen ve světě energetiky. V článku je objasněna teoretická podstata přeměny slunečního záření v elektrickou energii. V této souvislosti jsou uvedeny druhy fotovoltaických článků společně s jejich rozdělením. Dále je poukázáno na možnou optimalizaci získávání maxima elektrické energie v závislosti na konstrukci a druhu použitého fotovoltaického článku. V důsledku teoretických znalostí je poté vytvořen model v prostředí Matlab/Simulink, který představuje solární panel s připojeným stejnosměrným pohonem. Výstupem z tohoto modelu je získávané napětí pro různé úhly panelů proti zdroji světla a různé intenzitě záření.

Součástí práce je konstrukční model se solárními panely a zdrojem světla představujícím slunce. Následně je proveden návrh způsobu řízení modelu. Model je prakticky zrealizován a připojen k programovatelnému automatu B&R.

2. HISTORIE

Historie fotovoltaického článku se začala datovat již od roku 1839. Tehdy francouzský experimentální fyzik Alexandre Edmund Becquerel prováděl pokusy se dvěma kovovými elektrodami umístěnými v elektrovedivém roztoku a zjistil, že při osvětlení tohoto zařízení dojde k mírnému nárůstu napětí na elektrodách. Díky tomu byl objeven fotoelektrický efekt (fotoefekt). V roce 1877 byl objeven fotoelektrický efekt na selenu. To se podařilo pánům W.G. Adams a R. E. Day a byl vyroben první fotovoltaický článek.

Dalším důležitým zlomem ve výzkumu byl objev polským vědcem Czochralským v roce 1918 a to jak zvýšit růst monokrystalu křemíku. I když byl fotoelektrický jev postupně objeven u jiných prvků, postupem času se ukázal jako nejvýhodnější prvek právě křemík. Za vynálezce křemíkového solárního článku bývá označován Američan Russel Ohl (1941). Ovšem patent na „převaděč solární energie“ však nakonec dostali D. M. Chapin, C. S. Fuller a G. L. Pearson (1954), kteří o měsíc později předvedli křemíkové solární články s 4,5% a později 6% účinností. [2]

2.1 ROZVOJ FOTOVOLTAIKY

Výraznější rozvoj zaznamenala fotovoltaika v 60. letech s nástupem kosmického výzkumu. Solární články začaly sloužit jako výhodný zdroj energie pro vesmírné družice. Celosvětová ropná krize v roce 1973 poté nastartovala rozsáhlý výzkum přeměny sluneční energie v energii elektrickou jako zdroje nejčistší energie pro celou Zemi.

V současné době jsou již technické možnosti řešení fotovoltaických článků na uspokojivé úrovni. Účinnost přeměny sluneční energie v elektrickou se pohybuje mezi 10 a 15%, což představuje zisk až 110kWh elektrické energie za rok z jednoho metru aktivní plochy. [2]

2.2 FOTOELEKTRICKÝ JEV

Bylo zjištěno, že dopadající záření uvolňuje z povrchu některých látek elektrony, které pak mohou přenášet elektrický proud v obvodu. Záření můžeme nazvat jakýmsi primárním zdrojem energie. Albert Einstein specifikoval záření jako by bylo za určitých podmínek tvořeno proudem částic a nazval je fotony. Foton slunečního záření pak může předat svou energii elektronu v kovu nebo polovodiči. Pokud je tato energie dostatečná, elektron vylétne z kovu a zanechá po sobě kladný náboj, nazýváme ho dírou.

Jestliže elektron zůstane v kovu, je přitažen zpět k díře, která po něm zbyla a veškerá energie kterou předalo záření se přemění na teplo. Naším cílem je však to, než se elektrony dostanou zpět do díry, aby předaly svou energii získanou ze slunečního záření ve formě užitečné práce v našem spotřebiči. Proto je nutné nejprve oddělit elektrony a díry. Takové oddělení elektronů a děr je mnohem lépe realizovatelné v polovodičích než v kovech. [1]

2.3 POLOVODIČE

Polovodiče jsou látky, které mají vlastnosti někde mezi kovy a izolanty. To znamená, že zde nejsou volné elektrony jako v kovech, ale snadno mohou vzniknout. Vznik volných elektronů v polovodičích můžeme zařídit teplem nebo právě dopadajícím slunečním zářením.

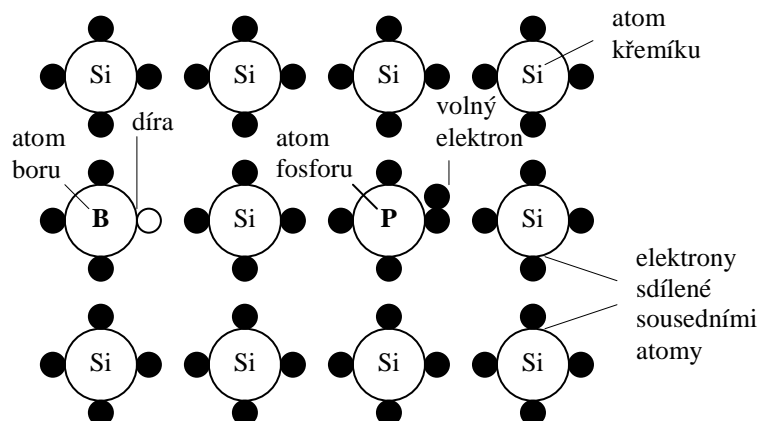
Přechod P-N

K tomu, aby bylo možné oddělit elektrony a díry, je potřeba tzv. P-N přechod. Podstatu P-N přechodu můžeme vysvětlit na nejběžnějším polovodičovém materiálu, kterým je křemík. Tuhý křemík tvoří mřížka atomů, které navzájem spojují kovalentní vazby a neobjevují se zde žádné volné elektrony (nejsou vázány vazbou) jako v kovech. Ovšem křemík je materiál, kde kovalentní vazby nejsou zdaleka tak pevné jako je tomu například u uhlíku ve formě diamantu. Již při pokojové teplotě má nějaké malé množství elektronů křemíku dostatečnou energii na to, aby se uvolnily z vazeb. Proto můžeme konstatovat, že křemík v nějaké míře vede elektrický proud narozdíl od zmíněného diamantu. Se zvyšující se teplotou se

uvolňuje více elektronů a křemík se stává více vodivý a stejná situace nastává i v případě osvětlení křemíku slunečním zářením. [1]

Vodivost v polovodičích

Samotná vodivost se zvýší, pokud křemík obsahuje určité příměsi. Jedná se o tzv. dopování křemíku – zpravidla se k tomu používá malé množství fosforu nebo boru. Fosfor má ve valenční sféře 5 elektronů, ale uplatnit se mohou pouze 4 ve vazbách s okolními atomy křemíku. Zde mluvíme o polovodiči typu **n**, který má nadbytečné elektrony. Naopak přidáním boru (se 3 elektrony) vznikne polovodič typu **p**, kde jsou nadbytečné díry (místa kde chybí elektron). Obě tyto situace jsou znázorněny na obrázku 2.1

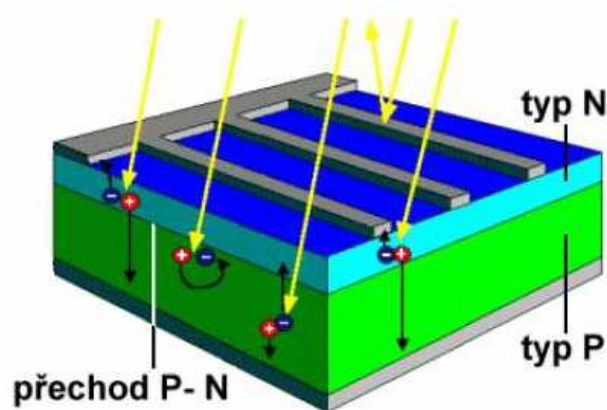


Obrázek 2.1: Schématické znázornění struktury polovodiče (atomy fosforu a boru inkorporované do krystalové mřížky křemíku) [1]

V případě, kdy se spojí oba typy polovodiče, vznikne v místě dotyku tenká vrstva, kterou nazýváme p-n přechod. V takovém případě dojde k tomu, že se oba typy snaží vyrovnat koncentrace. Elektrony difundují do části p a díry do části n. Když přijde do kontaktu elektron a díra, dojde k tzv. rekombinaci (elektron „padne“ do díry). Pohyb částic na opačné strany však brzy skončí. Proto po elektronech v polovodiči typu n zůstanou kladně nabitě náboje a naopak po dírách v polovodiči

typu p záporné náboje. Vzniklé pole další difúzi zastaví. Tento proces je však možný pouze v malé vzdálenosti p-n přechodu. Výsledkem procesu je výrazné snížení vodivosti v oblasti p-n přechodu a dojde k vytvoření elektrického potenciálu (na p-části přechodu je záporný náboj a na n-části kladný). Tato vlastnost se využívá v usměrňovacích diodách. Pokud připojíme na stranu p kladný pól zdroje napětí (elektrony budeme „odebírat“) a na stranu n záporný pól (elektrony „přitékají“), může proud přes p-n přechod procházet. Při obrácené polaritě proud neprochází.

Fotovoltaický článek je v podstatě velkoplošná dioda. Je vytvořen tak, že v tenkém plátku křemíku je v malé hloubce pod povrchem vytvořen n přechod, kde jsou z obou stran vhodné kovové kontakty. Při dopadu slunečního záření se generují volné elektrony a díry. Elektrické pole p-n přechodu je oddělí a pošle na opačné strany (elektrony do vrstvy typu n, která se tak stane záporným pólem fotovoltaického článku a díry do vrstvy typu p – kladný pól). Celý tento proces je graficky naznačen na obrázku 2.2



Obrázek 2.2: Princip funkce fotovoltaického článku [2]

Získané napětí

Napětí fotovoltaického článku závisí na použitém polovodiči. V případě křemíku je to přibližně 0,6 V a při zatížení trochu klesá. Udává se, že při optimálním proudu, kdy je výkon článku maximální, je napětí 0,5 V. V praxi je nutné spojovat

více článků do série, aby jsme dosáhli využitelného napětí. Obvykle se používají moduly s 36 nebo 72 články, které dávají 18 nebo 36 V. [1]

Účinnost solárních článků

Použité solární články však nevyužijí 100% dopadajícího slunečního záření. Jak již bylo zmíněno záleží na dopadajícím záření. Navíc každý foton uvolní jen jeden elektron a přebytek jeho energie se přemění na teplo. Z těchto důsledků není principiálně možné dosáhnout s takovýmto článkem většího využití slunečního záření než asi 55%. U reálných fotovoltaických článků navíc dochází k dalším ztrátám a proto se jejich účinnost pohybuje okolo 10 – 20%.

3. ZÁKLADNÍ TYPY FOTOVOLTAICKÝCH ČLÁNKŮ

Fotovoltaické články se vyvíjí již přes 50 let. Neustálý vývoj proto přinesl celou řadu typů a konstrukcí s využitím různých materiálů. Pro přehlednost můžeme rozlišit 4 generace fotovoltaických článků. [1]

3.1 ROZDĚLENÍ FV ČLÁNKŮ

První generace – jedná se o fotovoltaický článek vyráběný z destiček monokrystalického křemíku, kde je vytvořen plošný p-n přechod. Tento typ se vyznačuje dobrou účinností a stabilitou výkonu. Nevýhody spočívají ve vysoké spotřebě velmi čistého a na výrobu náročného křemíku. Z hlediska praxe se ale jedná o stále nejpoužívanější typ fotovoltaických článků-

Druhá generace – ta se vyznačuje tím, že se snaží snížit množství potřebného křemíku a zlevnit výrobu použitím tenkovrstvých článků. Nejběžnější je použití polykrystalického, mikrokrystalického nebo amorfního křemíku. Nevýhodou je menší stabilita a nižší účinnost, která navíc s časem stále klesá. Využití tenkovrstvého článku nachází uplatnění např. v armádě, kde tvoří jako folie část oblečení nebo batohu a zajišťuje tak napájení různých mobilních zařízení.

Třetí generace – sem můžeme zařadit systémy, které používají k separaci nábojů jiné metody než p-n přechod a často i jiné materiály než polovodiče. Ve většině případů totoelektrotechnické (galvanické) články, polymerní a v neposlední řadě se začínají uplatňují nanostruktury ve formě uhlíkových nanotrubiček nebo nanotyčinek nebo struktury vytvořené nasazením tzv. kvantových teček na vhodnou podložku. Výhodou je možnost cíleně ovlivňovat elektrické a optické vlastnosti. V praxi se ale tyto články příliš nevyskytují kvůli nízké účinnosti a malé stabilitě vlastností a životnosti.

Čtvrtá generace – tvoří ji kompozitní, z jednotlivých vrstev složené fotovoltaické články, které jsou schopny efektivně využít širokou část slunečního spektra. Je to dáno tím že každá vrstva dokáže využít světlo v daném rozsahu vlnových délek a to záření které využít nemůže propustí do nižších vrstev.

4. ZVÝŠENÍ ÚČINNOSTI FOTOVOLTAICKÝCH MODULŮ

Vzhledem k tomu, že jsou fotovoltaické články a tudíž celé systémy drahou záležitostí, je všeobecná snaha zvýšit účinnost. Jedna z možností je samozřejmě použití účinnějších fotovoltaických článků. Ovšem tato možnost se v praxi jeví jako nákladná záležitost. Nicméně vyšší účinnosti lze dosáhnout i zvýšením intenzity záření, které na fotovoltaický článek dopadne a je jím pohlceno. Materiál fotovoltaických článků má poměrně vysoký index lomu, proto zde dochází k odrazu části dopadajícího záření a to zejména pokud dopadá pod malým úhlem. Použití dokonalejší antireflexní vrstvy zvyšuje účinnost, dále jehlanovitá struktura na přední straně usnadňuje vstup fotonů do materiálu a zároveň se snižuje možnost odrazu.

4.1 MOŽNOSTI ZVÝŠENÍ ÚČINNOSTI

Oboustranné moduly

Další konstrukční možností jak zvýšit účinnost je použití oboustranných modulů. Jedná se o případ speciálních oboustranných fotovoltaických modulů, kde využíváme dopadu záření z obou stran. Této možnosti se zpravidla využívá v případě, kdy máme namontovaný modul a pod ním je plocha natřená bílou či stříbrnou barvou. Uvedené zvýšení produkce je až o 30%. [1]

Natáčení modulů za Sluncem

Jednou z nejúčinnějších možností jak zvýšit produkci získané elektřiny je použití pohyblivého stojanu, který sleduje slunce a tím zajistí trvalý kolmý dopad paprsků v průběhu dne.

U malých systémů, se kterými se v praxi setkáváme, používají natáčení kolem jedné osy. To umožňuje sledovat denní pohyb slunce. Změnu výšky slunce nad obzorem je však nutné nastavit ručně několikrát do roka. Sledování v tomto případě zajišťuje dvojice čidel, které sledují aby na obě dopadala stejná intenzita záření. [1]

Koncentrátory

Koncentrátor záření je optické zařízení které je schopné soustředit záření z velké plochy na malou plochu fotovoltaického článku. Tím je možné výrazně zvýšit jeho výkon. Využití koncentrátoru je výhodné především z ekonomického hlediska, protože cena koncentrátoru je nižší než cena solárního modulu. Při využití koncentrátoru vykazují fotovoltaické články větší účinnost, proto je výhodné použití účinnějších modulů, které jsou sice dražší, ale v porovnání cena výkon se přiblížíme levnějším modulům které však musí být několikanásobně větší.

Koncentrátorů je celá řada rozdělují se zejména podle toho jaké prvky ke koncentraci využívají. [1]

Rozdělení koncentrátorů:

- Koncentrátory zrcadlové
 - S rovinným zrcadlem
 - S parabolickým zrcadlem
 - CPC
- Koncentrátory čočkové
 - Běžné spojné čočky
 - Fresnelovy čočky
- Koncentrátory založené na jiných principech (např. dielektrické nebo fluorescenční)

Koncentrátory, které soustředí záření ze dvou prostorových os se nazývají 3D koncentrátory a ty které soustřeďují záření do ohniskové přímky se nazývají 2D koncentrátory. Koncentrátory se sebou nesou v praxi mnohé nevýhody, proto se s nimi až tak často nesetkáme.

Nevýhody koncentrátorů:

- **Malé využití difúzního záření a nutnost natáčení za sluncem**

Základní nevýhodou je snížení úhlového rozsahu, kdy je koncentrátor schopen zachytit dopadající záření. Při běžném použití je fotovoltaický modul

schopný zachytit záření v rozmezí úhlů 0-90°. Pokud je obloha zatažená tak je obvyklý panel taky schopen zachytit většinu difúzního (rozptýleného) záření. Jakmile použijeme jakýkoliv koncentrátor tak se rozsah úhlů, z nichž koncentrátor dokáže zachytit záření, snižuje úměrně tomu, jak roste koncentrace. Proto je nutné přesné natočení za sluncem. Pokud vezmeme v úvahu naši klimatické podmínky, kde převládá difúzní záření, je použití koncentrátorů nevhodné.

➤ **Tloušťka, výška modulu**

Samotné fotovoltaické moduly mohou být velmi tenké, ovšem samotný koncentrátor má většinou větší tloušťku než samotný fotovoltaický panel.

➤ **Optické ztráty**

Při použití koncentrátoru vždy dojde k části pohlcení nebo rozptýlení záření

➤ **Rovnoměrnost ozáření**

Většina koncentrátorů nedokáže zajistit rovnoměrné ozáření panelu. To může způsobit nižší účinnost

➤ **Zahřívání**

Při vysoké koncentraci záření může dojít k nadměrnému zahřívání panelu. To vede k nižší účinnosti a při vysoké teplotě i ke zničení panelu

➤ **Životnost**

Zrcadla koncentrátorů mají často ve venkovním prostředí jen omezenou životnost. Toto se dá ovšem kompenzovat jinými materiály a technologickými postupy. Např. tenké vrstvičky hliníku napařené na vhodné plastové fólii, nebo nerezová ocel, která má však nižší odrazivost.

5. VYUŽITÍ FOTOVOLTAICKÝCH PANELŮ V PRAXI

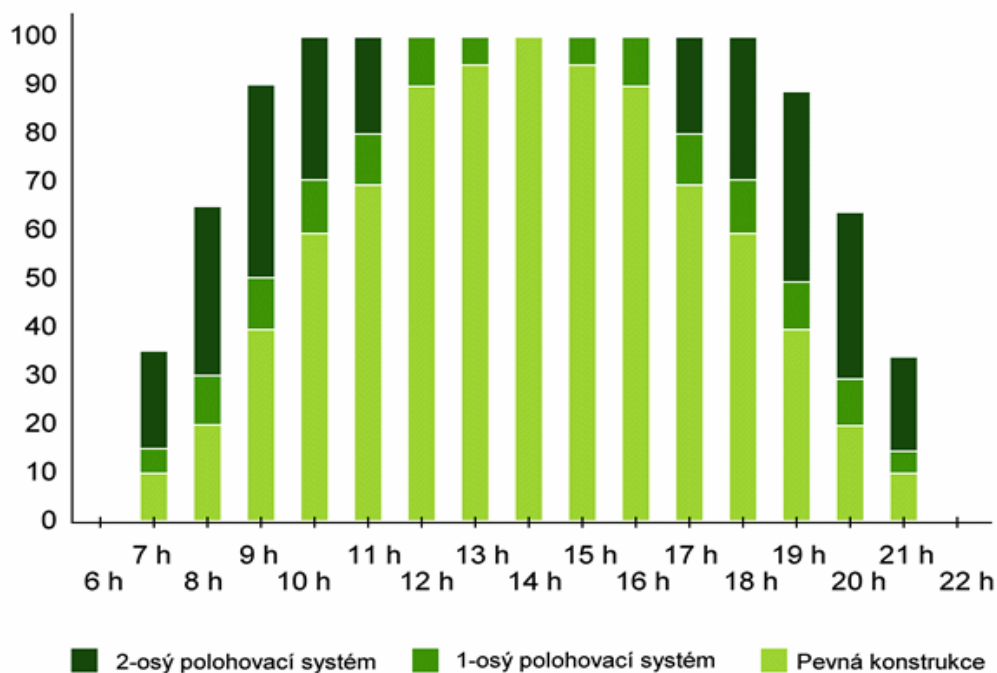
Při použití fotovoltaických[6] panelů, dosáhneme stejnosměrného proudu. Proto, aby mohl být proud dodán do distribuční sítě, je potřeba převést na proud střídavý předepsaných parametrů (230V / 400V, 50Hz). Toto nám zajišťuje část systému, která se nazývá střídač (někdy nazýván měnič). Je to řídicí centrum celého systému, které je schopno podávat informace o vyrobené energii a provozních stavech. Střídač musí dodávat co nejvyšší výkon, což je zajištěno především odstraněním transformátoru s následným snížením tepelných ztrát.

5.1 KONSTRUKCE

Konstrukce fotovoltaických systémů je různorodá a závisí na zvoleném řešení získávání energie a samozřejmě na umístění zařízení. Rozlišujeme 4 základní typy instalací fotovoltaických panelů [3]:

1. Pevná instalace je nepohyblivé uchycení panelů na nosné konstrukci pod fixním úhlem. Roční produkce v našich podmínkách je 1000 pracovních hodin v plném výkonu při úhlu 35° . Tato instalace se využívá především na šikmých střeších, které jsou svou polohou a pozicí výhodné pro usazení fotovoltaických panelů.
2. Jedno-osá polohovací jednotka je sestava panelů na nosné konstrukci instalované pod optimálním 35° s se sledovačem polohy slunce v jedné ose – východ – západ. Roční produkce je v našich podmínkách cca 1250 pracovních hodin v plném výkonu. Většinou nelze instalovat na střechy – z důvodu statiky.
3. Dvou-osé polohování je natáčení panelů konstrukcí za sluncem tak, aby bylo dosaženo kolmého dopadu paprsku. Tzn. že slunce je sledováno v azimutu i výšce. Roční produkce je v našich podmínkách cca 1370 pracovních hodin v plném výkonu. Většinou nelze instalovat na střechy – z důvodu statiky.

4. Super traxle je jedno-osá polohovací jednotka s násobičem (zrcadlem) světelného toku. Výrobce udává odhad roční produkce v našich podmínkách cca 1370 pracovních hodin v plném výkonu. Většinou nelze instalovat na střechy – z důvodu statiky.



Obrázek 5.1: Srovnání výkonnosti u pevných a polohovacích systémů [7]

5.1.1 Pevné (fixní) instalace

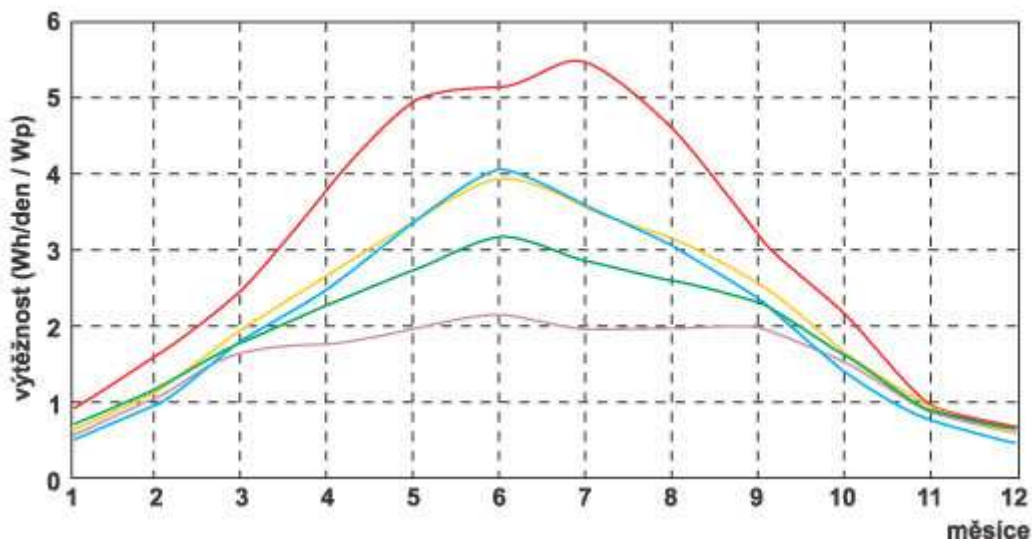
V praxi se nejčastěji setkáváme s fotovoltaickými systémy s pevnou instalací. Systémy s pevnou instalací jsou vhodné především pro střechy nebo fasády. Ovšem mají velkou nevýhodu v případě, kdy sluneční paprsky dopadají na fotovoltaický panel pod velkým úhlem a z toho důvodu dochází pouze k omezenému množství získané energie. Pokud chceme umístit fixní konstrukci na šikmou střechu, musíme rozhodnout, zda orientace a náklon jsou vhodné. Tento problém odpadá při použití polohovatelných konstrukcí.

5.1.2 Polohovatelné instalace

Polohovatelná instalace je vhodná pro otevřené prostory, kde nedochází ke zbytečnému stínění. Polohovadlo bývá zpravidla instalováno na betonových fundamentech patřičných rozměrů a hmotnosti.

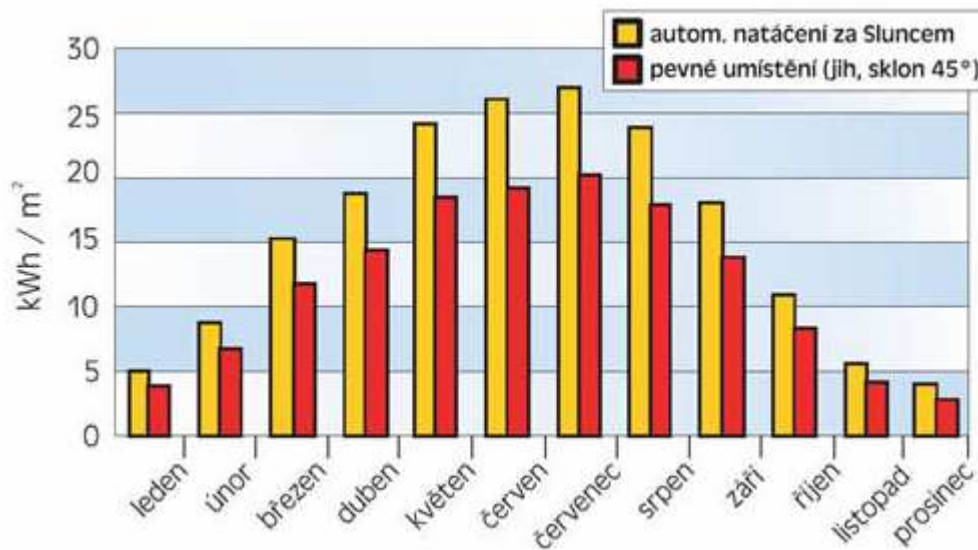
Jak již bylo zmíněno, tento systém může být polohovatelný v jedné nebo dvou osách. Samozřejmě se zde zvyšují nároky na řízení a v nemalé části se toto řešení projeví na pořizovací ceně. Z toho důvodu je nutné zhodnotit návratnost tohoto projektu.

Z grafů na obrázcích 5.2. a 5.3. je patrné množství získané energie při použití sledování slunce, oproti pevným instalacím.

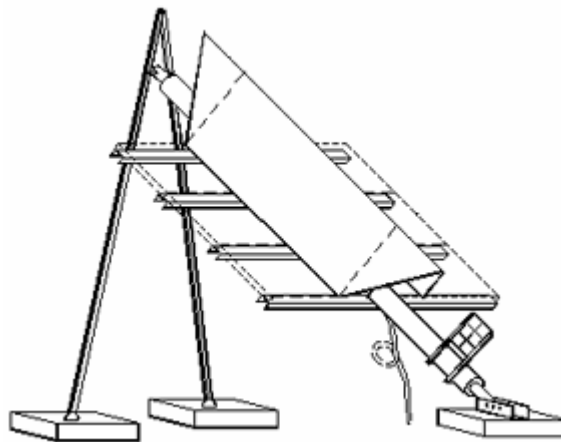


| sledování pohybu slunce | 90° - svisle | 68° | 30° | 0° - vodorovně |

Obrázek 5.2: Výtěžnost Wh/den a závislosti na náklonu fotov. panelů [5]



Obrázek 5.3: Získaná energie z m^2 v závislosti na období v roce [6]



Obrázek 5.4: Konstrukce jednoosého polohovatelného systému TRAXLE [6]

Při použití dvouosých systémů se uplatňuje zcela jiný typ konstrukce. Ve většině případů se jedná o nosný prvek, který představuje sloup, který zajišťuje stabilitu celého systému. Z toho důvodu je spodní konec upevněn v betonovém fundamentu v zemi. Tato část konstrukce plní další důležitou činnost. Slouží jako „stator“ pro umístění další kruhové tyče, která slouží k otáčení kolem své osy. Pro tento pohyb se využívá šnekového převodu. K polohování se používá lineární motor

a harmonická převodovka nebo řetězové kolo, které jsou ovládány přes řídicí elektroniku.



Obrázek 5.5: Konstrukce dvouosého polohovacího systému [5]

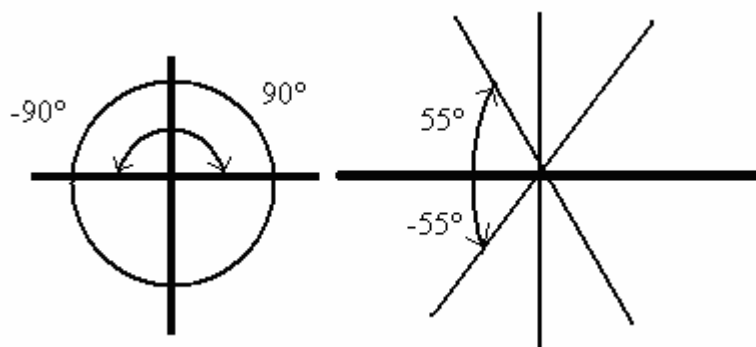
6. MODEL

Model fotovoltaického panelu a zdroje záření se skládá ze 2 částí. První částí je model vytvořený v prostředí Matlab/Simulink, kde se jedná se o solární panel s připojeným stejnosměrným pohonem pro jeho náklon. Výstupem modelu je získávané napětí pro různé úhly náklonu panelu oproti zdroji světla a různé intenzitě osvětlení.

Druhou částí je konstrukční návrh modelu složený z fotovoltaického panelu a zdroje záření představujícího Slunce. Z teoretického rozboru je zřejmé, že model fotovoltaického panelu zařadíme do skupiny 2-osých polohovatelných systémů. Tento model je prakticky zrealizován mimo jiné pomocí součástek stavebnice MERKUR.

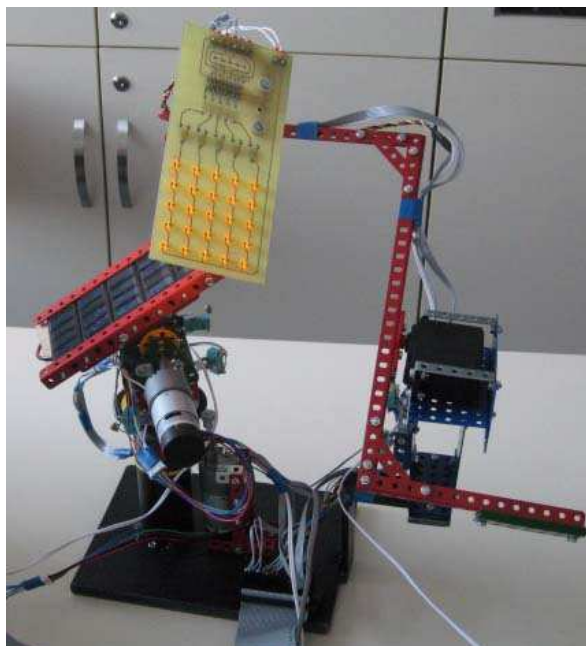
6.1 KONSTRUKČNÍ MODEL

Jak jsem již zmínil, konstrukční model se skládá ze zdroje záření a fotovoltaického článku. Popisovaný model se nachází na obrázku 6.1. Stacionární část modelu tvoří železná deska, která je společná pro obě části modelu. Vzhledem ke své hmotnosti zajišťuje dokonalou stabilitu. S deskou je pevně spojena železná silnostěnná trubice na jejímž konci je upevněno ložisko. Do střední otočné části ložiska je pevně umístěna kruhová součást, jež je opatřena 4 otvory. Pomocí těchto otvorů, je tato součást sešroubována s prvky stavebnice Merkur. Zde je jedna z hlavních pohybových součástí ozubené kolo o průměru 7cm. Dále následují součásti stavebnice, pomocí kterých zajistím naklánění ploché konstrukce s fotovoltaickým článkem. Samotný fotovoltaický článek je tvořen pěti do série spojenými běžnými křemíkovými články o rozměrech 8x2 cm.



Obrázek 6.1: Mezní hodnoty otáčení a naklání solárního panelu

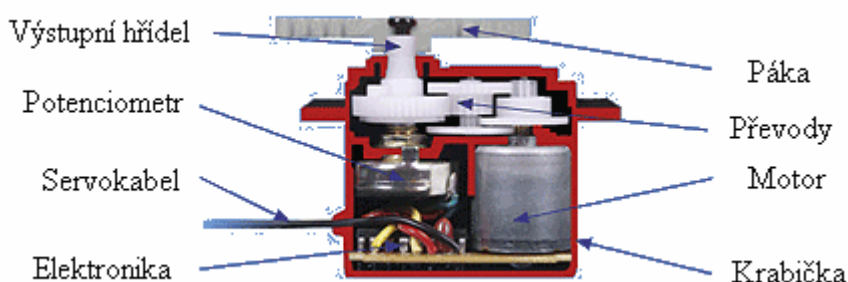
Pohyb panelu zajišťují 2 stejnosměrné motory EMG30. První motor zajišťuje pohyb ozubeného kola o průměru 1cm, které společně s ozubeným kolem na modelu tvoří vhodný převodový poměr, protože vzhledem k velikosti modelu můžeme při řízení motoru využít vyšších otáček a tím zajistit konstantní průběh otáčení. Náklon panelu zajišťuje stejný typ motoru. Oba stejnosměrné motory jsou navíc vybaveny enkodérem. Kombinací otočného pohybu společně s náklonem panelu zajistíme, že je model mechanicky schopen přizpůsobit se požadovanému směru a úhlu. Mezní hodnoty modelu jsou uvedeny na obrázku 6.1.



Obrázek 6.2: Konstrukční model řízeného fotovoltaického článku a zdroje záření

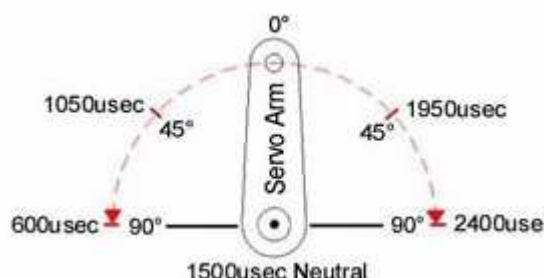
Jinou konstrukční možností je použití obou motorů pro naklápění panelu, přičemž by každý motor naklápěl panel v jiné ose. Tím bych docílil stejného výsledku, ovšem z konstrukčního hlediska se jedná o náročnější montáž.

Odlišnou konstrukci tvoří model zdroje záření. Zde je pro pohyb zdroje využito pohonů HS-475HB Standart servo a silnější HS-775HB. Popis serva je na obrázku 6.3.



Obrázek 6.3: Popis serva [10]

Obě pohonné jednotky (HS-475HB, HS-775HB) jsou připojeny k externímu zdroji $\pm 4,8V$. Možnosti natáčení jsou zobrazeny na obrázku 6.4. Každé servo je ovládáno přes „řídící“ kabel. V mém případě jsou oba řídicí kabely připojeny k digitálním výstupům karty X20DO9322. Na tomto výstupu je však napětí $+24V$. Z toho důvodu je tento signál přiveden přes jednoduchý napěťový dělič. Hodnoty odporů napěťového děliče jsou 150Ω a 39Ω .



Obrázek 6.4: Možnosti natáčení serva [9]

Princip pohybu zdroje světla můžeme vidět na obrázku 6.2. Na první servo je přidělána L lišta ze stavebnice Merkur, která je pod úhlem 90° prodloužena do

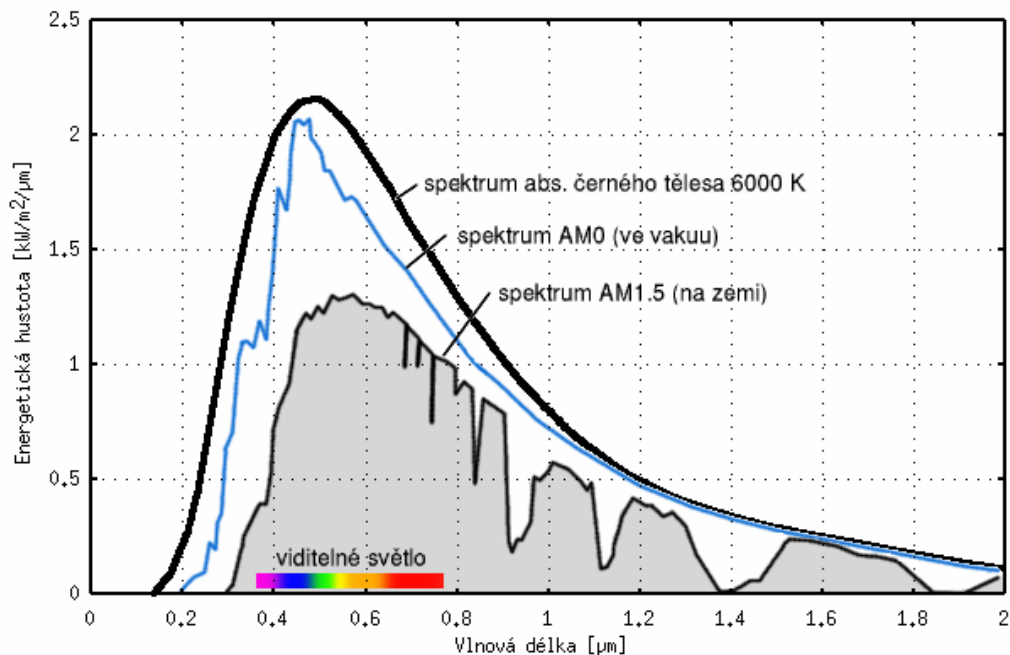
vzdálenosti středu fotovoltaického článku. Na tomto konci se poté nachází druhé servo, které má na otočném výstupu lištu zakončenou modelem zdroje světla. Kombinací obou pohonů dosáhneme možnosti záření ze všech úhlů vzhledem k panelu.

Předem stanovenou pohonnou jednotku pro pohyb natáčení zdroje záření považuji za nevhodně zvolenou. Podle parametrů [9], které udává výrobce se jedná o precizní rychlé servo se zvýšeným tahem pro sportovní motorové modely. Udávaná rychlost serva při 4.8/6.0V činí 0.23/0.18sec/60°. Snažil jsem se o minimální nároky na hmotnost pohybových částí a zdroje záření, ale vzhledem k rameni páky není servo schopno udržet rameno modelu záření v požadované poloze. V případě pohybu dochází vzhledem k rychlosti modelu k přetáčení.

V mém případě ovšem není rozhodující rychlost natáčení. Mnohem důležitější je docílení požadované polohy. Při konstrukci tohoto modelu bych využil pohonu, pomocí kterého bych mohl zjistit jeho danou polohu, tudíž by se mohla přesněji nastavit poloha zdroje záření. Jako optimální pohon považuji krokový motor. Při použití krokového motoru by došlo ke změně konstrukce, ovšem dosáhl bych preciznějšího řízení polohy.

6.2 ZDROJ ZÁŘENÍ

Pro výběr zdroje záření bylo nutné uvědomit si o jaký druh fotovoltaického panelu se jedná a podle toho také jaké světelné spektrum je pro panel nejvhodnější. Pro tento účel jsem využil spektrálních grafů viz obrázek 6.5.



Obrázek 6.5: Spektrální graf o různé vlnové délce [7]

Popis jednotlivých křivek:

AM0 (air mass) je spektrum slunečního záření v kosmickém prostoru ve vzdálenosti 150 miliónů kilometru od slunce bez ovlivnění atmosférou. Celková energetická hustota tohoto spektra je $1367 \pm 7 \text{ W/m}^2$.

AM1.5 je modelové spektrum slunečního záření po průchodu bezoblačnou atmosférou. Energetická hustota tohoto spektra je 1 kW/m^2 , v reálu ale silně závisí na průhlednosti atmosféry. Celkový teoreticky využitelný výkon slunečního záření odpovídá šedé ploše pod křivkou AM1.5.

Vzhledem k hodnotám vyplívajících z grafu, je ideálním zdrojem světla zařízení, které vyzařuje záření s vlnovou délkou $0.5 - 0.6 \mu\text{m}$ tedy $500 - 600 \text{ nm}$. Dalším důležitým aspektem při výběru je svítivost. V následující tabulce jsou uvedeny hodnoty měrného světelného výkonu P v lm/W a světelné účinnosti K v % pro různé zdroje světla. Na druhou stranu je důležité brát v úvahu také teplotu. Protože v případě rostoucí intenzity světla výkon roste, naopak s rostoucí teplotou tento výkon klesá. V případě modelu, kdy zdroj záření nebude v takové vzdálenosti, aby teplota od zdroje byla zanedbatelná, musíme tomu také zdroj přizpůsobit. Podle těchto podmínek by byl ideální zdroj světla vyzařující zdroj záření o vlnové délce

500 – 600 nm, tento zdroj by neměl produkovat přílišné teplo a produkovaná intenzita záření by měla být co nejvyšší.

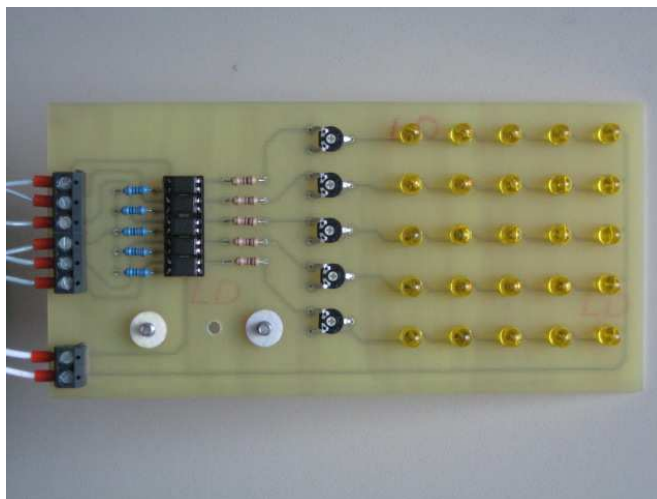
Měrný světelný výkon a světelná účinnost	P (lm/W)	K (%)
Žárovka 40 W	10,5	1,5
Žárovka 60 W	11,7	1,7
Žárovka 100 W	13,4	2,0
Zářivka 5-24 W	45-60	6,6-8,8
Zářivka trubicová	50-104	7-15,2
Výbojka metalhalogenidová	100	15
Svítilno LED20 (20 diod)	55	8,1
Denní světlo	41	6,0

Tabulka 6.1 Měrný světelný výkon světelných zdrojů

6.2.1 Konstrukční model zdroje záření

Na základě předloženého teoretického rozboru pro výběr zdroje záření jsem vybral zdroj typu LED. Jedná se o L-53SYT, SUPER BRIGHT YELLOW (InGaAIP). S vlnovou délkou 580nm, vysokou svítivostí a nízkým teplotním zářením splňuje tento typ zdroje záření stanovené podmínky. V důsledku toho, že je model realizován pomocí komponent stavebnice MERKUR, je důležitá nízká hmotnost zdroje záření, což je v tomto případě bezesporu splněno.

Při konstrukci modelu světelného zdroje jsem zvolil maticové uspořádání diod v rozsahu 5x5 viz. obrázek 6.6. Vzdálenost mezi diodami byla přizpůsobena vzdálenosti světelného zdroje od FV panelu. Na základě požadavku řízení modelu, byla deska mimo jiné pro chod nezbytné součástky doplněna o optočleny. Tím jsem docílil galvanického oddělení dvou obvodů, tedy napájení desky ze zdroje ±12V a pěti výstupů z karty X20DO9322, která spíná 24V. Signál GND je přiveden z karty X20BR9300. Model je schopný měnit intenzitu záření podle spínání jednotlivých řad diod.



Obrázek 6.6: Konstrukční model zdroje záření

6.3 ŘÍZENÍ A VIZUALIZACE

Vzhledem k zadání je zkonstruovaný model připojitelný k programovatelným automatům firmy B&R. Z hlediska technické konfigurace se jedná o klasické PLC. Programovou podporu zajišťuje program Automation studio. Jedná se o vývojové prostředí. Při vytváření modelu jsem využil verze AS 3.0.71 ENGLISH.

Programovatelné automaty se všeobecně vyznačují svojí modularitou a ani u firmy B&R tomu není jinak. Vstupy a výstupy jsou zajištěny pomocí karet. Tyto karty mohou být libovolně „poskládány“ na liště, čímž si můžeme zvolit výběr vhodný pro řešení dané problematiky. Karty, které byly definované pro řízení modelu jsou znázorněny na obrázku 6.7.

X20BR930C	ST1	Bus receiver, IO supply 24 VDC and bus
X20AO4632	ST2	4 Outputs ± 10 V / 0 to 20 mA
X20AI2622	ST3	2 Inputs ± 10 V / 0 to 20 mA
X20DO9322	ST4	12 Outputs 24 VDC / 0.5 A
X20DI9371	ST5	12 Digital Inputs 24 VDC, Sink, IEC 61131-2, Type 1
X20DI6372	ST6	6 Digital Inputs 24 VDC, Source, IEC 61131-2, Type 1
X20DO9322	ST7	12 Outputs 24 VDC / 0.5 A
X20DC197E	ST8	Counter, 1x ABR, 5 V single ended, 250 kHz, Wire monitoring
X20MM333	ST9	Full bridge, 3 x 3A, 24 VDC
X20DC197E	ST10	Counter, 1x ABR, 5 V single ended, 250 kHz, Wire monitoring
	ST11	

Obrázek 6.7: Hardwerová konfigurace karet v prostředí Automation studio

6.3.1 Hardwerová konfigurace

Využití jednotlivých karet při řešení řízení modelu se liší v závislosti na jejich funkci. X20BR9300 - Mimo základních vlastností karty, jako je napájení celé soustavy karet a dotykové obrazovky LCD, jsem využil GND při zapojování zdroje záření oproti výstupu karty X20DO9322, která na výstupu dávala +24V.

X20AI2622 – zde se jedná o analogový vstup. Analogovou vstupní veličinou je v mém případě napětí, které vytvářejí solární články. Karta zpracovává signál jako INTIGER, tedy v rozsahu hodnot -32 768 až +32767 což odpovídá hodnotám $\pm 10V$.

X20DI6372 – Karta zajišťuje digitální vstupy. Na tyto vstupy jsou připojeny 3 páry koncových spínačů, které zajišťují koncové polohy v modelu, tedy dojezd při otáčení panelu, dále koncové polohy při naklánění panelu a poslední pár zajišťuje nepřekročení polohy při řízení modelu Slunce pomocí serva HS-775HB.

X20DO9322 – Pomocí této karty mohou řídit digitální výstupy proměnnými typu BOOL. Toho je využito při řízení serva HS-775HB a HS-475HB. Digitálních výstupů je dále využito při spínání diod v modelu Slunce, kde je pomocí 5 digitálních výstupů +24V zajištěno spínání pomocí optočlenu oproti GND viz. kapitola 6.1.2.

X20DC1976 – jedná se counter, nebo-li čítač, při využití v programu se jedná o čítač impulsů. V mém projektu je využit při řízení stejnosměrných motorů EMG30, které jsou vybaveny encodérem.

X20MM3332. Tato karta je určená pro řízení až 3 motorů současně. V mém projektu je využita pro řízení obou stejnosměrných motorů.

Nezbytnou součástí před vytvářením jednotlivých programů je deklarace proměnných, která probíhá na globální úrovni a úrovni jednotlivých programů. Proto, aby bylo možné přijímat pomocí vstupů informace, je nutné těmto vstupům přiřadit deklarované proměnné, na úrovni kde se budou využívat. Stejná situace nastává s výstupními hodnotami. Na obrázku 6.8 je zobrazena situace, kdy jsou proměnné output (výstup) a direction (směr) přiřazeny na výstupní kanály karty X20MM3332. Díky tomuto přiřazení můžeme dále v programech pracovat s výstupy pomocí proměnných typu BOOL.

Pro chod řízení modelu jsou nutné externí zdroje energie. Pro napájení servopohonů se jedná o zdroj $\pm 4,8V$. Pro napájení modelu zdroje záření se jedná o

±12V. Další výstup zdroje ±24V je připojen ke kartě X20MM3332, bez kterého není schopna ovládnání ss motorů.

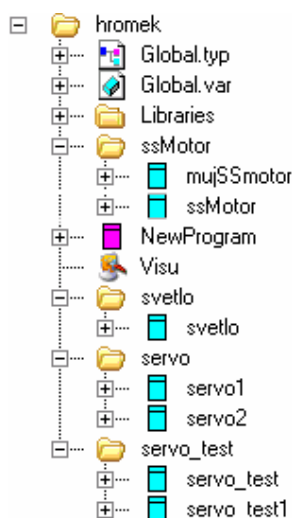
Channel Name	Data Type	Task Class	PV or Channel Name
+ ModuleOk	BOOL		
+ UndervoltageError	BOOL		
+ OvertemperatureError	BOOL		
- UndervoltageAcknowledge	BOOL	Automatic	mujSSmotor.control2my.underVoltage...
- OvertemperatureAcknowledge	BOOL		
- StartChannel01	BOOL	Automatic	ssMotor.control.output
- ShortCircuitChannel01	BOOL		
- DirectionChannel01	BOOL	Automatic	ssMotor.control.direction
- OvercurrentAcknowledge01	BOOL		
+ CurrentInput01	USINT		
+ OvercurrentError01	BOOL		
+ StatusDigitalOutput01	BOOL		
- StartChannel02	BOOL	Automatic	mujSSmotor.control2my.output
- ShortCircuitChannel02	BOOL		
- DirectionChannel02	BOOL	Automatic	mujSSmotor.control2my.direction
- OvercurrentAcknowledge02	BOOL		
+ CurrentInput02	USINT		
+ OvercurrentError02	BOOL		
+ StatusDigitalOutput02	BOOL		

Obrázek 6.8: Přiřazení proměnných jednotlivým výstupům karty X20MM3332

6.3.2 Softwerová konfigurace

Při programování jednotlivých částí v prostředí Automation studia se využívá různých programovacích jazyků. Na výběr máme ze tří možností: Ladder diagram, Structured text a C. Já jsem zvolil nejběžnější, tedy Structured text (strukturovaný text). Pro jednodušší orientaci a snadnější způsob programování jsou jednotlivé programy („tasky“) rozděleny do „podprogramů“. Každý takový program může být psaný v jiném předem zvoleném programovacím jazyce. Způsob rozdělení programů u mého modelu je zobrazen na obrázku 6.9. Vlastní program, který se bude vykonávat obsahuje 2 části. V první části PROGRAM_INIT probíhá inicializace proměnných. Tato inicializace se vykonává pouze jednou. Druhou část tvoří PROGRAM_CYCLIC, kde je obsažen kód, který se oproti první části vykonává cyklicky. Programy představují nastavení vstupů a výstupů pro jednotlivé karty. Jak

je patrné z obrázku 6.9, každý program odpovídá části modelu, kterou jsme schopni řídit.



Obrázek 6.9: Rozdělení jednotlivých programů

Programy `mujSSmotor` a `ssMotor` odpovídají řízení stejnosměrných motorů zajišťujících otočení panelů kolem své osy a náklon panelu. Pro tyto účely jsou využity karty X20MM3332, X20DC1976 viz. kapitola 6.2.1. Automation studio obsahuje velké množství předdefinovaných funkcí. Pro řízení ss motorů jsem využil předem definovaného funkčního bloku LCRPWM. V inicializační části bylo nutné nastavit vhodné hodnoty pro periodu vstupního signálu, která je nutná pro hladký průběh otáček motoru, minimální hodnotu pulzu a minimální a maximální reálnou hodnotu, která odpovídá 0 – 100% PWM (pulzní šířkové modulace). Dále je v programu využito vstupů z karty X20DC1976, což představuje čítač pulzů při otáčení motoru. Pomocí těchto pulzů je poté možné zjistit polohu motoru a případně měnit v průběhu programu PWM pro daný motor. Tato změna není nutná pro motor, který zajišťuje otáčení modelu. Druhý motor zajišťující náklon panelu však pohybuje s proměnným zatížením, vzhledem k charakteru způsobu natáčení. Z toho důvodu je nutné PWM zvýšit při pohybu s vyšší zátěží a naopak snížit v opačném případě. Do programu jsou zakomponovány podmínky pro vykonávání částí programu. Jsou

tvořeny tlačítka ve visualizaci na dotykovém LCD displeji. Po stisknutí příslušného tlačítka pohybujeme zvoleným motorem.

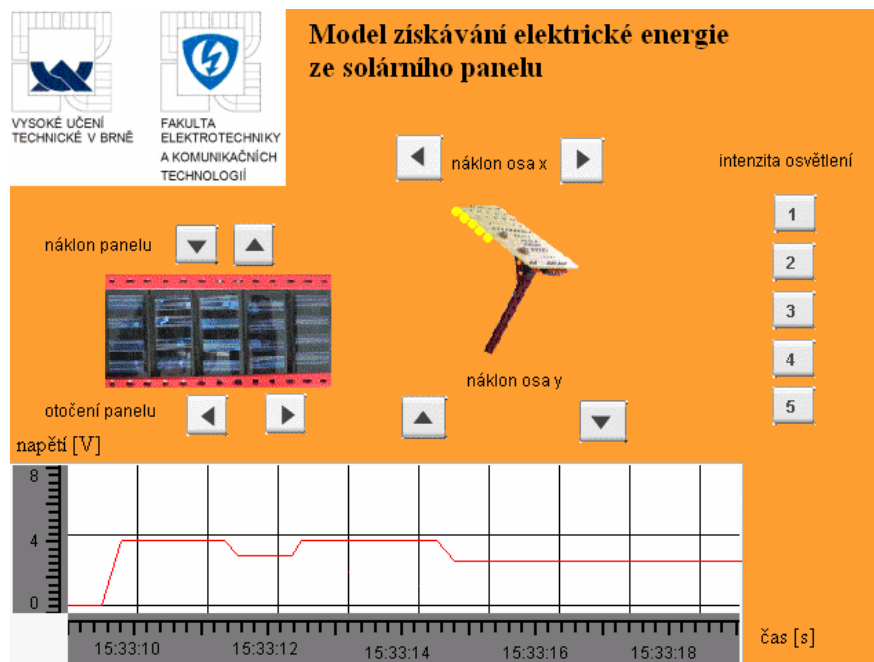
Pomocí programu světlo jsem schopen pomocí PLC nastavovat různou intenzitu záření. Konstrukce světelného zdroje byla popsána v kapitole 6.1.2. Jelikož docílení změny intenzity záření se provádí pomocí různé varianty sepnutí podélných řad v maticovém uspořádání modelu, proto program vykonává přiřazení kladné hodnoty proměnné ovládající výstup karty X20DO9322. Jednotlivé výstupy mají přiřazené proměnné, které jsou typu BOOL a je jim přiřazena kladná hodnota TRUE v případě, kdy je splněna podmínka, kterou zde tvoří sepnutí tlačítka na dotykové obrazovce LCD.

Programy servo1, servo2 společně s programy servo_test a servo_test1 slouží k ovládání servo pohonů pro náklon modelu zdroje záření. Serva jsou připojena ke zdroji $\pm 4,8V$ a pomocí třetího „řídícího“ kabelu jej ovládáme. Servo se standardně ovládá [8] pomocí 1-2ms dlouhými pulsy s frekvencí 50Hz. V programu je obsažena změna pulsu. Program je spouštěn v „taskové“ třídě #cyclic 1,2 a 0,8 ms. Pomocí tohoto nastavení jsem schopen měnit šířku pulsu a tím určovat pwm. Jak jsem již zmínil v kapitole 6.1 vzhledem k vysoké rychlosti a zároveň hmotnosti a délce ramena je velice náročné optimální řízení serva na požadovanou polohu.

6.3.3 Vizualizace

Vizualizace slouží k zobrazování proměnných a hodnot, které získáváme nebo nás zajímá jejich grafický průběh. Vizualizace by měla mít především názorný charakter. Vzhledem k pokročilé technologii se dnes běžně setkáváme s možností ovládání pomocí dotykových LCD panelů.

Použití vizualizace k modelu získávání elektrické energie ze solárních panelů je zobrazena na obrázku 6.10. Pro ovládání modelu slouží dvě dvojice tlačítek zobrazených u solárního panelu, pomocí kterých můžeme určovat natočení a sklon panelu. Pro ovládání modelu zdroje záření slouží dvojice tlačítek pro polohu v ose x a polohu v ose y. Po pravé straně jsou umístěna tlačítka, pomocí kterých lze nastavit intenzitu záření. Jak je blíže popsáno v kapitole 6.3.1, pomocí stisknutí jednotlivých tlačítek se aktivují příslušné podélné řady LED diod. Ve spodní části vizualizace je zobrazen graf, který zobrazuje aktuálně získávané napětí na solárním panelu.



Obrázek 6.10: Vizualizace k modelu získávání elektrické energie ze solárního panelu

6.4 MODEL V PROSTŘEDÍ MATLAB/SIMULINK

Pro vývoj modelu v prostředí Matlab/Simulink je základním principem fyzikální podstata a souvislost s modelovaným jevem. V mém případě se jedná o základní vztahy a vlastnosti použitých fotovoltaických článků. Při vytváření modelu jsem vycházel z následujících vztahů. Daný fotovoltaický článek je při vytváření energie závislý na intenzitě záření a úhlu pod kterým záření dopadá. Intenzitu záření lze vyjádřit jako násobek Φ toku světelného zdroje dopadajícího pod úhlem 90° a prostorovým úhlem světelného kužele Ω viz rovnice (1).

$$I = \Phi \cdot \Omega \text{ [cd]} \quad (1)$$

Prostorový úhel světelného kužele [7] se měří podle plochy, kterou kužel omezující prostorový úhel vytíná z kulové plochy jednotkovým poloměrem z vrcholu úhlu. Prostorový úhel Ω vypočteme podle rovnice (2).

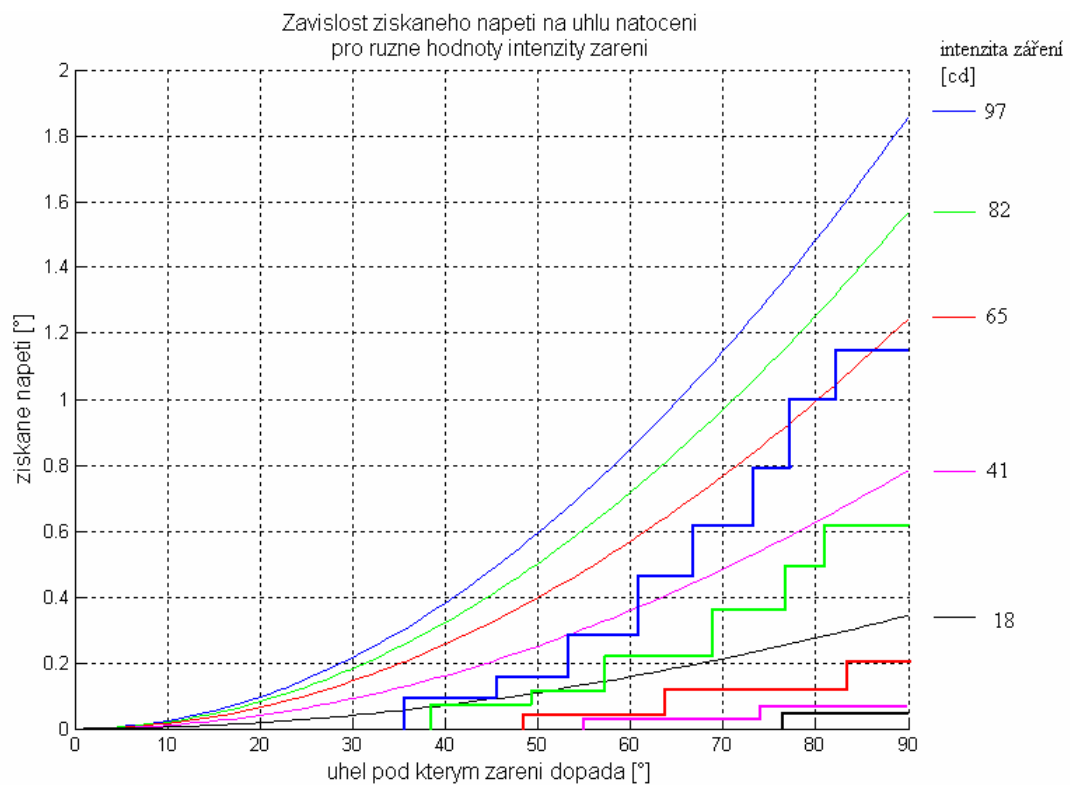
$$\Omega = 2 \cdot \pi \left(1 - \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)\right) \text{ [st]} \quad (2)$$

Výstup solárního článku dostáváme jako měrný světelný výkon P . Jeho výpočet je zobrazen v rovnici (3). Výkon P je mimo jiné závislý na ploše S , která se aktivně podílí na přeměně slunečního záření v elektrickou energii.

$$P = 2 \cdot \pi \left(1 - \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)\right) \cdot I \cdot S \text{ [lm/W]} \quad (3)$$

Po nalezení základních vztahů určujících výstup modelu je nutné zjistit konstanty a proměnné vstupující do modelu. Tyto proměnné je možné proměřit, nebo získat základní data v dokumentaci od výrobce, jako například u použitého zdroje záření viz. kapitola zdroj záření. Konstantními hodnotami je v tomto případě π a plocha S . Plocha solárního článku je $0,0104\text{m}^2$.

Model byl vytvořený pomocí konstant a proměnných společně se základními matematickými funkcemi. Jednotlivé bloky příslušných proměnných byly „pозapojovány“ v prostředí Simulinku. Použitý model je k nalezení v příloze 1 společně s M-file, který se nachází v příloze 2. Oproti použitým vzorcům a konstantám je z funkčního hlediska doplněn o přepočet stupňů na radiány. Výstupem modelu je získávané napětí pro různé úhly náklonu a různé intenzitě osvětlení.



Obrázek 6.11: Závislosti získaného napětí na úhlu natočení pro různé hodnoty intenzity záření

Na obrázku 6.11 můžeme pozorovat vygenerované křivky, které odpovídají závislosti úhlu natočení oproti zdroji záření a různé intenzitě záření, jakou vyvolává zdroj při různě sepnutých diodách na konstrukčním modelu viz. kapitola 6.2.1. Hladce vykreslené křivky odpovídají modelu v prostředí Matlab/Simulink. Křivky se skokovou změnou odpovídají reálnému modelu.

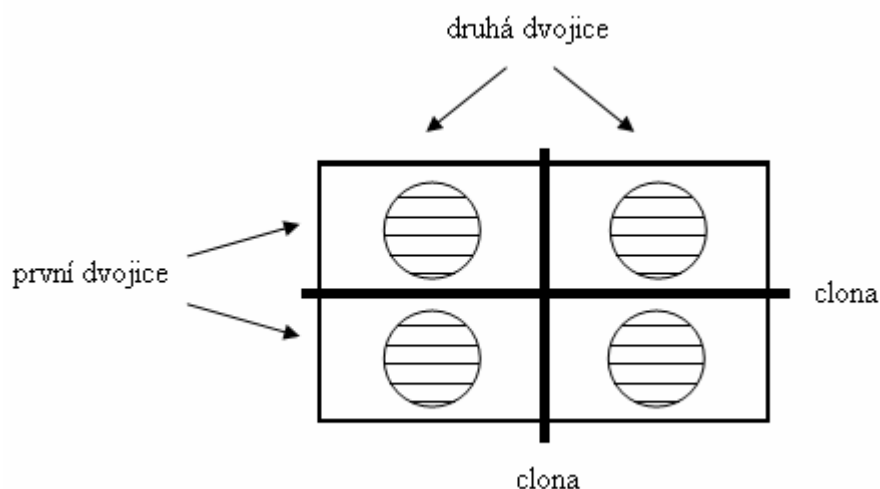
Při srovnání obou křivek dospějeme k závěru, že reálný model nedosahuje takového napětěového zisku oproti modelu v Simulinku. Tato situace je mimo jiné způsobena tím, že na fotovoltaické články nedopadá veškerá intenzita záření. Podle konstrukčních možností nejsou vždy všechny solární články rovnoměrně osvětleny. Na druhou stranu tyto výsledky vyplývají z pokusu kdy je model mimo dosah jiného zdroje záření. Při opakování měření za stejné situace, kdy je model v běžně osvětleném prostředí dochází k vlivu rušení okolním světlem. Na rušení se podílí jak osvětlení pomocí zářivek tak dispersní záření, tedy běžné světlo.

6.5 NÁVRH ŘÍZENÍ MODELU

Řízení modelu solárního panelu a Slunce můžeme rozdělit na dvě základní kategorie. V první se nachází řízení modelu, které není závislé na doplňujícím zařízení, které by pomáhalo vyhodnocovat směr zdroje záření. Jednou z možností řízení je tzv. maticově orientovaná poloha. Při nastavení zdroje záření můžeme použít ruční nastavení, nebo funkci RANDOM. Při použití této funkce se zvolí náhodný interval nastavení náklonu na ose x a náhodný interval náklonu na ose y pro model zdroje záření. Může být také zvolena situace náhodné intenzity záření. Při spuštění vyhledávání směru zdroje záření model vychází z předem stanovené pozice. Vzhledem k tomu, že možnosti modelu při otočení jsou v rozsahu 0-180° a možnosti náklonu -55 až 55°, algoritmus vykonává „naklápění“ v tomto rozsahu po určitém kroku. Po dokončení jednotlivých kroků naklápění se model „pootočí“ o další krok a algoritmus naklápění provádí v nové pozici. Zvolené skokové hodnoty naklápění a pootočení můžeme zvolit větší pro zrychlení ovšem na úkor určení přesnější pozice zdroje záření. Během provádění algoritmu jsou zapisována data do matice o příslušném počtu řádků a sloupců, které odpovídají množství kroků v jednotlivých směrech. Po dokončení celého algoritmu dochází k vyhodnocení pozice s nejvyšší naměřenou hodnotou napětí. Model po té nasměruje solární panel na tuto pozici.

Druhou kategorií tvoří řízení modelu, které využívá zařízení nebo část, která vyhodnocuje směr zdroje záření. Toto zařízení vyhodnocuje směr záření pomocí přídavných fotoelektrických prvků. Složení takového zařízení je zobrazeno na obrázku 6.12. Jedná se o čtveřici fotoelektrických prvků oddělených clonou. Jako fotoelektrický prvek je v nejjednodušším případě použit fotorezistor, který by byl vhodný pro model. Jako jiné prvky mohou být využity např. malé solární články. Výška clony mezi těmito prvky musí odpovídat vlastnostem a umístění zdroje záření. Při použití sledování směru skutečného slunce musí být clona podstatně vyšší než u modelu, kde poloměr oběhu zdroje záření je podstatně menší. Při dopadu záření můžeme vyhodnotit směr dopadu. Při dopadu záření na fotodpor vyhodnotíme změnu odporu a porovnáme ji s hodnotami sousedních fotoodporů. Pokud bude např. na jeden fotoodpor dopadat větší intenzita záření, začne se vykonávat algoritmus a model se začne natáčet tak, aby na sousední fotoodpor dopadalo stejné množství

záření. Jakmile se tyto hodnoty vyrovnají model se zastaví a začne se vyhodnocovat s ostatními. Protože při prvním vyhodnocení se nastaví směr zdroje záření v druhém kroku se pomocí stejné metody provede natočení panelu. Cílem této metody je, aby se zařízení natočilo tak, aby na všechny fotodpory dopadalo záření o stejné intenzitě. Jakmile se zdroj záření odkloní, algoritmus vyhodnotí novou polohu a tím bude zajištěno optimální řízení pro sledování zdroje záření.



Obrázek 6.12: Pomocné zařízení pro vyhodnocení směru záření

7. ZÁVĚR

Cílem této práce je seznámit čtenáře s problematikou fotovoltaických článků a společně s jejich využitím popsat systémy pro získávání elektrické energie. Hlavním záměrem bylo objasnit možnosti optimálního využití těchto systémů, aby bylo dosaženo získání maximální hodnoty elektrické energie. V teoretickém rozboru jsou blíže popsány možnosti a součásti systémů, pomocí kterých dosáhneme požadovaného maxima.

Jednou z hlavních součástí je konstrukční model tvořený solárním panelem a zdrojem záření představujícím Slunce. Při sestavování tohoto modelu bylo využito teoretického rozboru z první části této práce. Tento model byl prakticky zrealizován. Vzhledem k předem daným součástím modelu byla navržena změna v použitém pohonu zdroje záření.

Součástí práce je model vytvořený v prostředí Matlab/Simulink. Tento model představuje solární panel s připojeným stejnosměrným motorem. Výstupem tohoto modelu je získané napětí pro různé úhly náklonů panelů oproti zdroji světla a různé intenzitě záření. Intenzita záření je použita podle různých možností prakticky sestaveného modelu zdroje světla. Bylo provedeno srovnání prakticky zjištěných hodnot s hodnotami vypočtenými pomocí modelu.

Seznam literatury

- [1] MURTINGER, Karel, BERANOVSKÝ, Jiří, TOMEŠ, Milan. *Fotovoltaika : elektrina ze slunce*. [s.l.] : [s.n.], 2008. 81 s.
- [2] *Phono solar* [online]. 2008 [cit. 2010-03-10]. Solární parky. Dostupné z WWW: <<http://www.phonosolar.cz/solarni-parky/>>.
- [3] *Konex* [online]. 2009 [cit. 2010-05-30]. Fotovoltaické elektrárny. Dostupné z WWW: <<http://www.solarobchod.cz/cz/reseni/fotovoltaika>>.
- [4] *SolarBest* [online]. 2009 [cit. 2010-03-18]. Solární panely. Dostupné z WWW: <http://www.solarbest.org/solarni-panely/?utm_source=google&utm_medium=adwords>.
- [5] BERANOVSKÝ, Jiří, et al. *I-EKIS* [online]. 2001 [cit. 2010-03-18]. Energie Slunce - výroba elektřiny. Dostupné z WWW: <<http://www.i-ekis.cz/?page=slunce-elektrina>>.
- [6] *TRAXLE* [online]. 2008 [cit. 2010-05-20]. Solární panely, solární systémy. Dostupné z WWW: <<http://www.solar-trackers.com/cz/hrebenove-koncentratory.asp>>.
- [7] *STAVEBNICTVÍ* [online]. 2009 [cit. 2010-05-20]. Světelná účinnost zdrojů světla. Dostupné z WWW: <<http://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/zarovka-usporna-zarovka-mnozstvi-svetla/>>.
- [8] WINKLER, Zbyněk. *Robotika.cz* [online]. 2005 [cit. 2010-05-20]. Řízení serva. Dostupné z WWW: <<http://robotika.cz/guide/servo/cs>>.
- [9] *SCZ MODEL* [online]. 2009 [cit. 2010-05-30]. Servo HS-475 HB. Dostupné z WWW: <<http://www.sczmodelshop.cz/serva/servo-hs-475-hb/>>.
- [10] *RCM-Pelikan* [online]. 2009 [cit. 2010-05-30]. Serva. Dostupné z WWW: <<http://www.rcm-pelikan.cz/index.php?sec=list&storage=71>>.

SEZNAM ZKRATEK

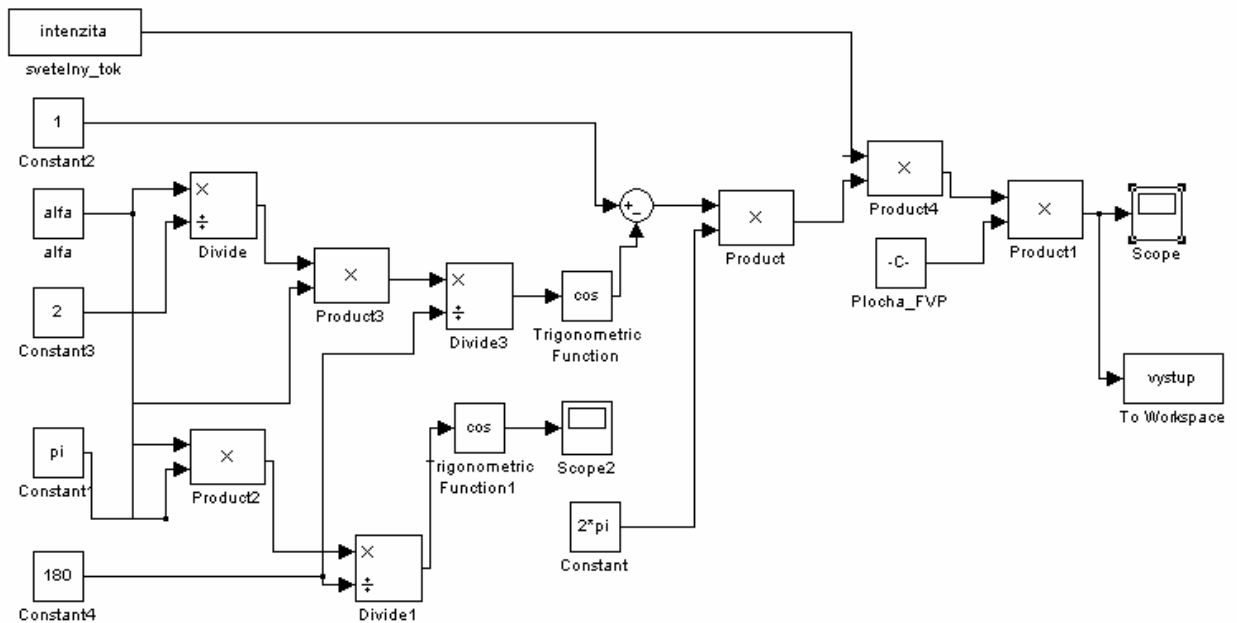
Zkratka/Symbol	Popis
FV	fotovoltaický
Ss	stejnoseměrný
ST	Strukturovaný text
LD	Ladder diagram
PWM	Pulsní šířková modulace

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Model solárního panelu a zdroje záření v Matlab/Simulink
- Příloha 2 Programová součást modelu solárního panelu a zdroje záření
v Matlab/Simulink

Příloha 1

Model solárního panelu a zdroje záření v Matlab/Simulink



Příloha 2

intenzita = 97;

alfa = 1:1:90;

sim('model');

grid on;

hold on;

plot(alfa,vystup,'b')

intenzita = 82;

alfa = 1:1:90;

sim('model');

grid on;

hold on;

plot(alfa,vystup,'g')

intenzita = 65;

alfa = 1:1:90;

sim('model');

grid on;

hold on;

plot(alfa,vystup,'r')

intenzita = 41;

alfa = 1:1:90;

sim('model');

grid on;

hold on;

plot(alfa,vystup,'m')

intenzita = 18;

alfa = 1:1:90;

sim('model');

grid on;

hold on;

plot(alfa,vystup,'k')