

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

Laboratorní pracoviště se solárním panelem
David PROKURÁT

Bakalářská práce
2013

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **David Prokurát**
Osobní číslo: **D09238**
Studijní program: **B3709 Dopravní technologie a spoje**
Studijní obor: **Dopravní infrastruktura: Elektrotechnická zařízení v dopravě**
Název tématu: **Laboratorní pracoviště se solárním panelem**
Zadávací katedra: **Katedra elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací techniky v dopravě**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

- Seznámit se s problematikou ostrovních provozů solárních panelů
- Návrh a sestavení pracoviště pro potřeby výuky
- Návrh měřicí aparatury pro testování solárních panelů a jejich regulátorů
- Minimální požadované měření:
 - Napětí, proud, výkon dodávaný panelem (okamžitý/dlouhodobý záznam)
 - Tok elektrické energie v simulované ostrovní síti
 - Měření výkonové charakteristiky panelu
 - Účinnost regulátoru
- Zprovoznění pracoviště a měřicí aparatury
 - Ověření vlastností pracoviště
 - Návrh laboratorních úloh pro začlenění do stávající výuky v Bc a Mgr. studiu

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

Internetové stránky výrobců solárních panelů

Internetové stránky výrobců regulátorů k solárním panelům v ostrovní síti

Internetové stránky společnosti National Instruments

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Ondřej Černý, Ph.D.

Katedra elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací
techniky v dopravě

Datum zadání bakalářské práce:

15. prosince 2011

Termín odevzdání bakalářské práce:

31. května 2012

prof. Ing. Bohumil Cúlek, CSc.

děkan

L.S.

doc. Ing. Radovan Doleček, Ph.D.

vedoucí katedry

V Pardubicích dne 22. února 2012

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 30. 5. 2013

David PROKURÁT

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych moc poděkovat vedoucímu, panu Ing. Ondřeji Černému Ph.D. za odborné vedení a účinnou metodickou pomoc po celou dobu realizace mé bakalářské práce. Byl jste mi velmi nápomocen při řešení všech problémů, jak v teoretické tak i praktické oblasti. Předával jste mi odborné rady a poznatky z Vaší dlouholeté praxe. Moc Vám děkuji za trpělivost a čas, který jste mi po celou dobu věnoval. Dále bych chtěl poděkovat katedře KEEZ za poskytnutí prostor a komponentů pro zhotovení mé bakalářské práce. Poděkování patří také mým spolužákům za jejich ochotu a pomoc. Velice děkuji i mé rodině za podporu a trpělivost při mém několikaletém studiu.

ANOTACE

Bakalářská práce obsahuje teoretickou a praktickou část problematiky získávání elektrické energie ze solárních panelů v ostrovním režimu provozu.

V teoretické části práce je vysvětlen princip fungování solárních článků, jejich rozdělení a popis jejich parametrů. Dále je zde zpracováno rozdělení provozu solárních elektráren.

Praktická část se zabývá návrhem, realizací a ověřením modelového pracoviště pro potřeby výuky. Pracoviště obsahuje solární panel, regulátor napětí, baterie a spotřebič. Celé uskupení je zapojeno v režimu ostrovního solárního systému. Na jednotlivých komponentech jsou snímány měřené veličiny přes hardwarové moduly. Naměřené hodnoty jsou měřicí kartou převáděny do digitální podoby. Data z karty jsou vyhodnocovány přes navrhnutý software, který je naprogramován ve vývojovém prostředí LabView. V poslední části je navrženo vzorové zadání laboratorní úlohy.

KLÍČOVÁ SLOVA

Solární panel, solární regulátor napětí, baterie, měřicí karta, LabView, laboratorní pracoviště

TITLE

Laboratory workplace with solar panel

ANNOTATION

Bachelor thesis contains theoretical and practical part problems of electric energy from solar panels in island mode operation.

The theoretical part is explained principle operation of solar cells, their distribution and a description of their parameters. There is also processed distribution operation of solar power plants.

The practical part is focused on design, implementation and verification of the model workplace for teaching. Workplace includes solar panel, voltage regulator, battery and appliance. The whole group is connected in island mode solar system. On the each components are detected measured values via hardware modules. The measured values are via measuring card converted to digital form. Data from the card are evaluated through designed software, which is programmed in development environment LabView. The last section is designed to award exemplary laboratory task.

KEYWORDS

Solar panel, Solar voltage regulator, Battery, Measuring card, LabView, Laboratory workplace

OBSAH

ÚVOD	9
1 ÚVOD DO PROBLEMATIKY SOLÁRNÍ ENERGIE	10
1.1 Princip solárních článků a jejich parametry	11
1.1.1 Princip solárního článku	11
1.1.2 Historie solárních článků	11
1.1.3 První generace solárních článků	12
1.1.4 Druhá generace solárního článku	12
1.1.5 Třetí generace solárního článku.....	13
1.2 Typy fotovoltaických článků	14
1.2.1 Krystalické křemíkové články	14
1.2.2 Monokrystalické křemíkové články	14
1.2.3 Křemíkové články.....	15
1.2.4 Účinnost solárních článků	15
1.3 Umístění solárního panelu	17
1.4 Solární panel	17
1.5 Rozdělení provozu solárních elektráren.....	18
1.5.1 Kapesní aplikace.....	19
1.5.2 Ostrovní systémy	19
1.5.3 Solární systémy zapojené do sítě.....	19
1.6 Topologie solárních elektráren pro ostrovní provoz	21
1.6.1 Ostrovní systémy s přímým napájením	21
1.6.2 Ostrovní systémy s akumulací elektrické energie	21
1.6.3 Hybridní ostrovní solární systém.....	23
2 NÁVRH PRACOVNÍHO MÍSTĚ PRO POTŘEBY VÝUKY	24
2.1 Parametry solárního panelu.....	25
2.2 Parametry solárního regulátoru	25

2.3	Parametry akumulátorových baterií	27
2.4	Měřicí, monitorovací a ovládací systém	28
2.5	Měřicí karta	29
2.6	Měření napětí	31
2.7	Měření proudu	33
2.8	Programovatelná odporová zátěž	36
2.9	Obvod pro připínání zátěže	40
3	NÁVRH OBSLUŽNÉHO SOFTWARE PRO PRACOVIŠTĚ	41
3.1	Vývojové prostředí LabView	42
3.2	Koncepce obslužného softwaru	42
3.2.1	Zprovoznění měřicího kanálu	44
3.2.2	Hlavní smyčka While Loop	45
3.2.3	Výčet hodnot a měření jednotlivých veličin	46
3.2.4	Výpočet nepřímo měřených veličin	47
3.2.5	Záznam dat do grafů	49
3.2.6	Záznam hodnot do externího souboru	50
3.2.7	Ovládání digitálního kanálu	52
3.2.8	Ovládání analogového kanálu	53
4	OŽIVENÍ A OVĚŘENÍ FUNKČNOSTI PRACOVIŠTĚ	55
4.1	Návod k obsluhování modelového pracoviště	57
4.2	Návrh laboratorní úlohy pro solární pracoviště	59
5	ZÁVĚR	61
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	63
	SEZNAM TABULEK	64
	SEZNAM OBRÁZKŮ	64
	SEZNAM ZKRATEK	66
	SEZNAM PŘÍLOH NA CD	66

ÚVOD

Není pochyb o tom, že spotřeba elektrické energie v dnešním technicky vyspělém světě roste a v budoucnu tomu nebude jinak. Proto jsou dnes obnovitelné zdroje energie velmi aktuálním a častým tématem.

Ještě nedávno byly solární technologie spíše záležitostí vědeckého výzkumu, než praktického využití. To se však ve velmi krátkém čase razantně změnilo a výroba elektrické energie ze solárních zdrojů je dnes běžnou praxí. Návrh investice do solární elektrárny i zcela malého rozsahu a z hlediska dlouhodobých úspor za elektrickou energii je velmi zajímavá. Snížení ceny solárních systémů bylo dosaženo především díky státním dotacím. Výrobci elektrické energie ze solárních panelů jsou finančně zvýhodněni.

Katedra KEEZ vlastní veškeré komponenty pro sestavení pracoviště se solárním panelem, což je hlavním podmíněním pro vypracování této práce. Cílem bylo uvedení dosud nepoužívaných komponent ostrovního solárního systému do provozu. Díky této práci začne být systém využíván jako modelové pracoviště pro potřeby výuky.

Cílem práce je:

- Seznámit se s problematikou solární energie a s možnostmi provozů solárních systémů s fotovoltaickými panely
- Navrhnout a sestavit pracoviště pro potřeby výuky
- Navrhnout měřicí aparaturu pro měření vlastností jednotlivých komponent v pracovišti
- Monitorovat a zaznamenávat tok elektrické energie v simulované ostrovní síti
 - Napětí, proud a výkon v každé části pracoviště
 - Změřit účinnost regulátoru
 - Zobrazit výkonovou charakteristiku panelu
- Ověřit funkčnost celého pracoviště.
- Navrhnout vzorové zadání úlohy pro laboratorní cvičení

1 ÚVOD DO PROBLEMATIKY SOLÁRNÍ ENERGIE

Solární energie, též označována jako sluneční, je v podstatě elektromagnetické záření ze Slunce o určitých vlnových délkách, dopadající na povrch Země. Sluneční energie je z hlediska našeho pohledu nevyčerpatelná, reakce na této hvězdě probíhají neustále a v obrovském množství. Ze všech obnovitelných zdrojů je Sluneční energie tou největší zásobárnou. Solární energie se z našeho pohledu jeví jako nevyčerpatelná a spadá do obnovitelných zdrojů energie. Sílu Slunce lze využívat k výrobě elektrické energie, která je pro dnešní technicky vyspělou společnost nezbytná. Tuto energii dnes dokážeme přeměňovat na energii tepelnou či elektrickou.

Hlavní výhody el. energie vyráběné ze slunečního záření jsou zřejmé. Zdroj je nevyčerpatelný, při přeměně solární energie v elektrickou nevzniká žádný hluk, emise ani odpad. Provoz je téměř bezúdržbový s vysokou životností a nepotřebuje obsluhu. Z tohoto pohledu se zdá, že výroba energie pomocí solárních panelů se jeví jako ideální zdroj. Ale i tento zdroj přeměny energie má své nevýhody.

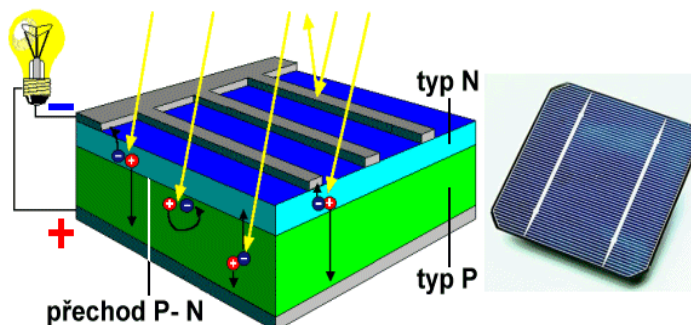
První překážkou je umístění panelu v našich zeměpisných polohách. Není zde celoročně optimální množství slunečního svitu ani světla, na kterém je solární panel závislý. Především v zimním období není možné využívat solární energii na plno. Je-li potřeba využívat el. energii i v noci, je nutné naakumulovat energii vyrobenou solárním panelem do jiného zdroje, a ten poté použít či využít jiný zdroj na výrobu el. energie. Při realizaci fotovoltaických panelů je nutné vyčlenit poměrně velkou plochu pro jejich umístění. Vysoké jsou též pořizovací náklady, které jsou alespoň částečně vykompenzovány bezúdržbovostí a dlouhou životností. Panel také nedokáže využít veškeré množství dopadajících paprsků, část paprsků odráží zpět.

Solární energie je jeden z nejzajímavějších zdrojů obnovitelné energie. V posledních letech se hodně rozšířil a technologicky se vyvíjí. Jako každý potenciální zdroj má své klady, ale i zápory, bránící v masovém využití. Energie slunce, jako taková je jistě nejlepším a nejstálejším obnovitelným zdrojem. Při pořizování solárního zdroje pro výrobu elektrické energie je nutno zvážit, zda je vhodný a nejekonomičtější pro dané využití.

1.1 Princip solárních článků a jejich parametry

1.1.1 Princip solárního článku

K přeměně energie ze slunečních paprsků se používá tzv. solární nebo-li fotovoltaický článek. Princip funkčnosti je znázorněn na Obr. 1. Je to polovodičová součástka z křemíku či polykrystalického materiálu. Obě strany destičky (tloušťka okolo 0,5 mm) jsou obohaceny atomy vhodných prvků tak, aby jedna byla kladná a druhá záporná. Při dopadu fotonů světla na destičku se začnou v krystalové mřížce polovodiče uvolňovat záporné elektrony. Na přechodu mezi typem vodivosti P a N se vytvoří rozdíl potenciálů, či-li elektrické napětí, které bývá u křemíkových článků přibližně 5V. Připojíme-li k oběma elektrodám elektrický spotřebič, začne jím protékat stejnosměrný elektrický proud. Sluneční článek je schopen dodávat proud, který je úměrný velikosti plochy článku. Jeden cm^2 dokáže dodat asi 12 mW výkonu. Z jednoho m^2 tak můžeme dosáhnout výkonu až 150 W. Pro zvýšení napětí se solární články připojují sériově, pro zvětšení proudu je lze připojit paralelně. Účinnost přeměny světelné energie na elektrickou závisí na struktuře materiálu a způsobu výroby článku. Pohybuje se okolo 20%. Z tohoto údaje vyplývá jedna z největších nevýhod solárních článků, čímž je efektivita výroby elektrické energie. [1]



Obr. 1: Princip fotovoltaického článku [1]

1.1.2 Historie solárních článků

Počátek solárních článků sahá do roku 1839. Francouzský fyzik Alexandre Edmond Becquerel při pokusech se dvěma kovovými elektrodami umístěnými v elektrovedivém roztoku zjistil, že při osvětlení zařízení vzrostlo na elektrodách napětí a tím vlastně vznikl fotovoltaický jev. První fotovoltaický článek však byl sestaven až v roce 1883 Charlesem Frittem, který potáhl polovodivý selen velmi tenkou vrstvou zlata. Jeho zařízení mělo pouze jednaprocentní účinnost. Následoval postupný vývoj generací článků, který postupně zvyšoval účinnost až do dnešní podoby. [2]

1.1.3 První generace solárních článků

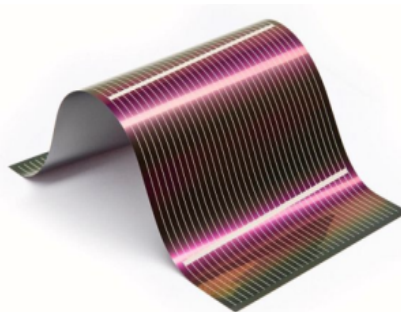
Prvními články jsou články využívající tzv. křemíkové desky. Jsou nerozšířenější a mají poměrně velkou účinnost, pohybující se těsně pod 20%. Je zde použit křemík, který je pro výrobu velmi nákladný a nevýhodný.



Obr. 2: Fotovoltaický panel první generace [3]

1.1.4 Druhá generace solárního článku

Druhá generace článků byla vynalezena především ve snaze snížit výrobní náklady a uspořit drahý křemík. Tyto články jsou 100 krát až 1000 krát tenčí. Články z amorfního mikrokrystalického křemíku, případně silicon-germania, či silicon-karbidu představují polovodičovou vrstvu. V porovnání s články původní generace došlo k poklesu výrobních nákladů, úspoře materiálu a snížení ceny. Na základě této inovace je však účinnost panelu nižší. Pohybuje se na hranici 10%. Články druhé generace se začaly prodávat v polovině osmdesátých let. [4]



Obr. 3: Fotovoltaický panel 2.generace [5]

1.1.5 Třetí generace solárního článku

Hlavním cílem je nejen snaha o maximalizaci počtu absorbovaných fotonů a následně generovaných párů elektron - díra („proudový“ zisk), ale i maximalizace využití energie dopadajících fotonů („napěťový“ zisk článků). Těchto vylepšení se snaží docílit různými způsoby. Existuje řada směrů, kterým je ve výzkumu věnována pozornost:

- vícevrstvé solární články z tenkých vrstev
- články s vícenásobnými pásy
- články, které by využívaly „horké“ nosiče náboje pro generaci více párů elektronů a děr
- termofotovoltaická přeměna, kde absorbér je současně i radiátorem vyzařujícím selektivně na jedné energii
- termofotonická přeměna, kde absorbér je nahrazen elektroluminiscencí
- prostorově strukturované články vznikající samoorganizací při růstu aktivní vrstvy
- organické články (např. na bázi objemových heteropřechodů)

Jediným komerčním příkladem dobře fungujících článků třetí generace jsou vícevrstvé struktury (dvojvrstvé – tzv. tandemy a trojvrstvé články). Každá sub-struktura (p-i-n) absorbuje určitou část spektra a maximalizuje se tak energetická využitelnost fotonů. Příkladem tandemového solárního článku je struktura skládající se z p-i-n přechodu amorfního křemíku a p-i-n přechodu mikrokrystalického křemíku. Mikrokrystalický křemík může být nahrazen i „slitinou“ křemíku s germánium. Dle zvoleného poměru obou materiálů se dají upravovat jejich optické a elektrické vlastnosti. Těchto materiálů se využívá právě pro trojvrstvé solární články, kde dva spodní články jsou vyrobeny s různou koncentrací Si a Ge. Nezbytnou podmínkou pro správnou funkci vícevrstevných článků je, že každý z článků musí generovat stejný proud. Nebude-li splněna tato podmínka je zde riziko, že horší z článků určí dosažitelnou účinnost. Celkové napětí je dáno součtem obou článků. [4]

1.2 Typy fotovoltaických článků

1.2.1 Krystalické křemíkové články

Jak již název naznačuje hlavním stavebním prvkem pro tento typ je křemík. Je velmi rozšířený, ale bohužel se v přírodě nevyskytuje v čistém stavu. Pro výrobu solárních článků je potřeba velmi čistý křemík o ryzosti až 98%, který je dále chemicky čištěn. Pro elektrotechnické účely je povolena pouze jedna miliardtina procenta nečistot. [6]

1.2.2 Monokrystalické křemíkové články

Články jsou nejčastěji vyráběny „Czochralského procesem“. Jeho výsledkem jsou válcové monokrystalové tyče o průměru 0,3m a délce až v řádech metrů. Ty jsou řezány nejčastěji do osmistěnných tyčí a dále na plátky o tloušťce 0,3mm. Po vytvoření vrstev P a N dopováním a připojení zadního kontaktu jsou nanášeny přední kontakty a antireflexní vrstva.

Antireflexní vrstva minimalizuje optické ztráty při průchodu světla do článku. Způsobuje typické zbarvení článku na modrou či černou barvu. Je možno vyrobit i jiné barvy povrchu článku, a to změnou tloušťky antireflexní vrstvy. V základním stavu, bez pomocné vrstvy je článek šedostříbrný. [6]

Parametry:

Účinnost: 15-18%.

Tvar: Závisí na způsobu řezání válcového monokrystalu – od kruhu po čtverec. Kruhové články jsou levnější, čtvercové se lépe uspořádávají do modulů. Velikost: nejčastěji 100x100mm, 125x125mm; poloměr 100, 125 nebo 150mm.

Struktura: Homogenní

Barva: Tmavomodrá až černá s antireflexní vrstvou, šedá bez antireflexní vrstvy.

1.2.3 Křemíkové články

Jsou vyráběny odléváním a následným ochlazováním křemíkových ingotů. Vzniklé bloky jsou řezány na tyče a dále pak na plátky tloušťky o 0,3mm. Plátky jsou dopovány, opatřeny zadním a předním kontaktem a antireflexní vrstvou. [6]

Parametry:

Účinnost: 13-16%

Tvar: čtvercový

Velikost: nejčastěji 100x100mm, 125x125mm a 150x150mm

Struktura: Během lití jsou vytvořeny krystaly různých orientací. Po nařezání tvoří charakteristickou strukturu článků.

Barva: modrá s antireflexní vrstvou, šedostříbrná bez antireflexní vrstvy



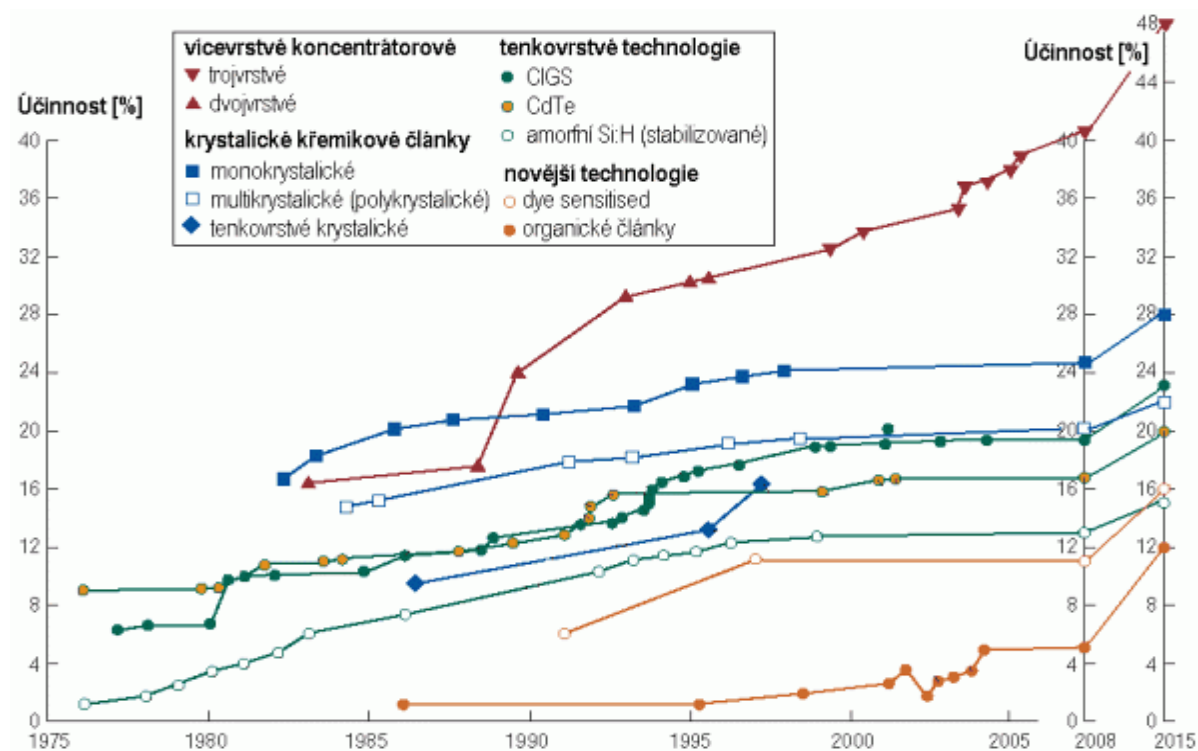
Obr. 4: Monokrystalický a polykrystalický křemíkový článek [6]

1.2.4 Účinnost solárních článků

Účinnost jednotlivých článků je pouze pod 40%. Určité procento sluneční energie se přeměňuje také na energii tepelnou, pro nás nežádoucí a využití tedy není tak efektivní. Solární články nejsou schopny využívat celé spektrum slunečního záření. Neúplné zachycení světla uvnitř článku a nedostatky v krystalové struktuře způsobují snížení napětí. Tím se celková účinnost snižuje. Do budoucna se počítá s lepším zachytáváním světla a lepší absorpcí. Nanostruktury nanesené na povrch solárních buněk by mohly pomáhat světlo směřovat tak, aby docházelo k co nejmenším ztrátám energie. Vědci navrhli několik možností, jak nanostruktury na solárním článku rozestavět. Jsou poskládány tak, aby byly schopné převádět různá spektra slunečního záření a minimalizovaly ztráty energie. Podle vědeckých výzkumů tak bude možno dosáhnout účinnosti až 70 procent. Solárním panelům s vysokou účinností by pro výrobu stejného množství elektrické energie stačilo mnohem méně

plochy na umístění, než potřebují dnešní solární články. Otázkou však je, jak skutečně účinné budou.

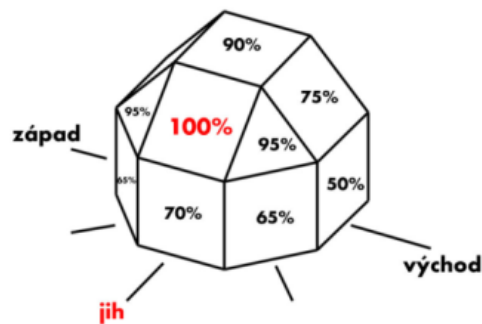
Efektivita výroby je největší nevýhodou této technologie. Všechno má svůj vývoj a to platí i pro solární články. Účinnost se do budoucna bude zcela jistě zvyšovat. [7]



Obr. 5: Vývoj účinnosti solárních panelů [8]

1.3 Umístění solárního panelu

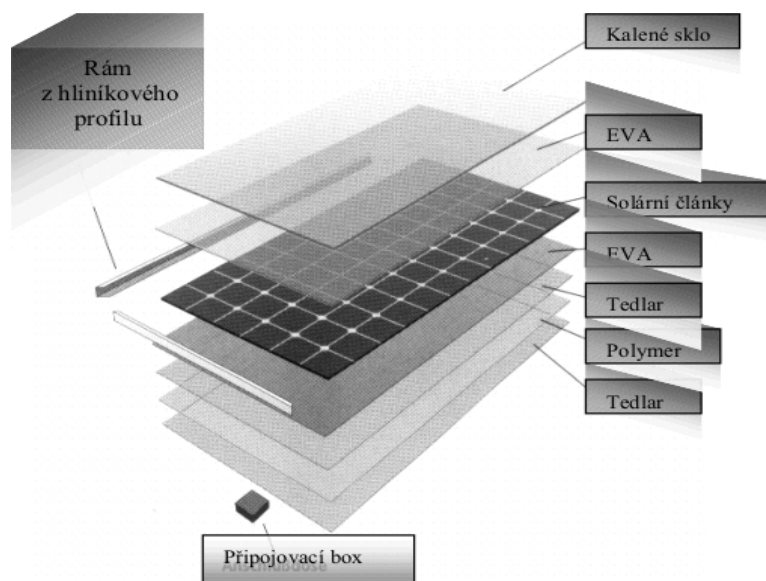
Účinnost všech článků je uvedena při ideálním umístění vůči zdroji světelného toku. Správná orientace je velmi důležitá. Teoreticky je nejvhodnější umístit článek přímo jižní stranu. Nejvyšší výkon je při nasměrování s odchylkou mírně na západ (asi o 8° až 15°), kdy lze lépe využít i energii zapadajícího Slunce. Panely lze orientovat, jak vodorovně se ztrátou 10%, tak svisle se ztrátou 30%. Optimální sklon pro celoroční provoz je okolo 32°, pro zimní a přechodné období okolo 45°. Nejvýhodnější variantou je systém s automatickým natáčením dle času a ročního období. Toto řešení je jistě nejefektivnější, ale nevýhodou je cena a složitost zařízení, se kterou je spojena spolehlivost. [9]



Obr. 6: Vliv orientace panelu na účinnost [9]

1.4 Solární panel

Solární panel není totožný se solárním článkem. Solární článek je pouze malou částí solárního panelu. Vzájemným propojením několika fotovoltaických článků vzniká fotovoltaický panel. Dle počtu solárních článků je určen výkon fotovoltaického panelu. Na Obr.7 následuje popis konstrukce panelu.



Obr. 7: Konstrukce solárního panelu [4]

Solární panel je chráněn proti mechanickému poškození či nevhodným povětrnostním podmínkám hermetickým uzavřením. A proto fotovoltaické články, nacházející se uvnitř panelu, jsou rovněž dokonale chráněny. Obvod panelu je zakryt hliníkovým rámem. Tato konstrukce je zároveň místo pro uchycení panelu. Čelní část tvoří speciální kalené sklo, které je zároveň krycí a z hlediska degradace optických vlastností velmi stabilní. Ke snížení optické propustnosti může dojít pouze znečištěním povrchu vlivem okolního prostředí. Solární panel je celoročně vystaven extrémním povětrnostním podmínkám, a proto je vyroben z vysoce kvalitních materiálů, které jsou odolné i proti takovým výkyvům v počasí jako je např. krupobití.

Panel je chráněn speciální zapouzdřovací folií z etylen-vinyl-acetátu, což je organický materiál, který může vykazovat při silném ozáření UV světlem efekt zažloutnutí a tedy snížení optické transparentnosti s nepříznivým vlivem na množství generovaného elektrického výkonu. Je označována a známa pod zkratkou „EVA“. [4]

1.5 Rozdělení provozu solárních elektráren

Definicí pojmu solární elektrárna se rozumí solární systém obsahující fotovoltaický článek či panel, ze kterého je napájen spotřebič přes nějaký transformační člen, typicky regulátor, přímo nebo nepřímo. Tyto systémy lze rozdělit do třech následujících skupin.

1.5.1 Kapesní aplikace

Kapesní aplikace jsou nejobvyklejší fotovoltaikou, instalují se v kalkulačkách, budících, rádiích a podobné elektronice, která nemá příliš vysokou spotřebu. Velmi praktická je například přenosná fotovoltaická dobíječka mobilních telefonů. Fotovoltaika v součinnosti s menšími přístroji každodenní potřeby pomáhá redukovat nebezpečné odpady v podobě alkalických baterií, které by jinak byly pro provoz těchto přístrojů nutné. [4]

1.5.2 Ostrovní systémy

Jedná se o fotovoltaické sluneční systémy, které nejsou napojeny na rozvodnou síť. V angličtině jsou nazývány slovním spojením „Off-grid systems“. Tento celek je výhodný v oblastech, kde připojení k rozvodné síti není možné, nebo kde by zavedení kabelu bylo finančně náročné (chatové oblasti, obytné automobily, lodě, atd.). Nevýhodou ostrovních fotovoltaických systémů je nutnost použití baterie, která uchovává vyrobenou energii na dobu, kdy není dostatečné množství slunečního záření. Bohužel, většina baterií dnes obsahuje nezanedbatelné množství olova. Ekologičnost získané energie se tím pádem snižuje.

Při navrhování ostrovního fotovoltaického slunečního systému nesmíme zapomenout na průměrné hodnoty slunečního svitu a účinnost fotovoltaického systému. Důležitá je také celková spotřeba všech používaných zařízení, které budou k systému připojeny. Použitelnost solárních systémů je přímo limitována množstvím vyprodukované energie. [4]

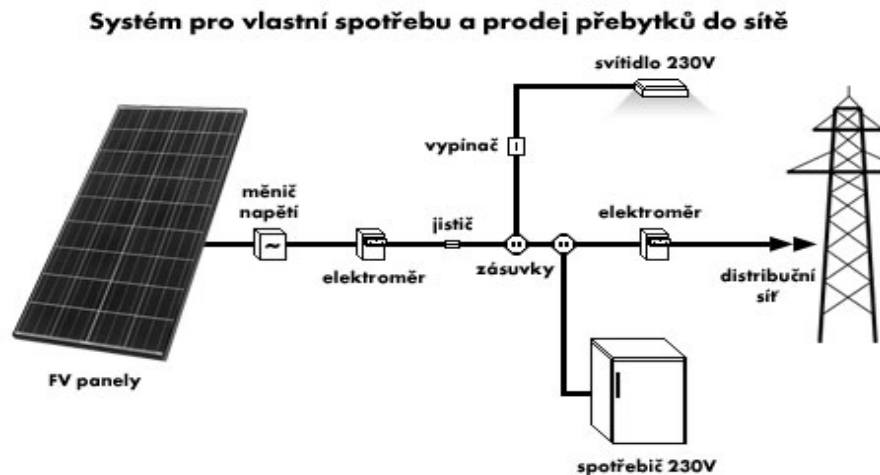
Kapitola 1.6 se bude podrobně věnovat rozdělení solárních elektráren v ostrovním režimu.

1.5.3 Solární systémy zapojené do sítě

Jedná se o fotovoltaické sluneční systémy, jejichž vyprodukovaná energie je dodávána do rozvodné sítě. V angličtině jsou označovány slovním spojením „On-grid systems“. Oproti ostrovním mají sluneční systémy zapojené do veřejné sítě výhodu v tom, že v době, kdy vyrábí fotovoltaický systém přebytek energie, může ji dodávat do sítě. Naopak v době nepokrytí vlastního výkonu lze energii odebírat z rozvodné sítě.

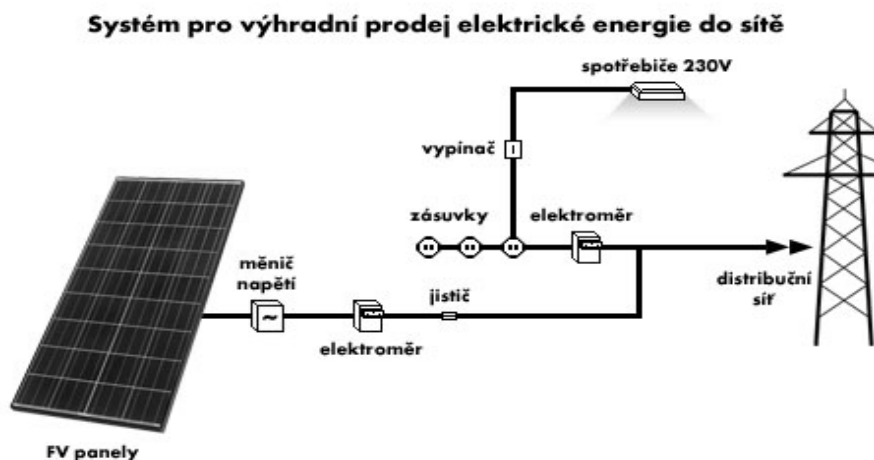
Dodávka vyrobené energie do rozvodné sítě je pro majitele finančně výhodná, protože je dotována státem. Dle výpočtů se jedná o investici s návratností okolo 15 let. Samozřejmě tuto dobu nelze určit přesně. S ohledem k růstu cen energie lze předpokládat, že by se návratnost investice mohla ještě snížit.

Při dodávání do rozvodné sítě se stejnosměrné napětí, které je produkováno fotovoltaickými panely, musí přeměnit na napětí střídavé. Pro tyto účely je nutno zapojit do systému měnič napětí. [9] Systém pro vlastní spotřebu elektrické energie s prodejem přebytků do rozvodné sítě je uveden na Obr.8.



Obr. 8: On-grid systém pro vlastní spotřebu elektrické sítě [9]

Tento druh On-grid kategorie obsahuje fotovoltaické panely připojené na napěťový měnič transformující stejnosměrný proud na proud periodicky střídající se. Dále je součástí zvláštní elektroměr pro odpočet energie vyrobené fotovoltaikou. Solární systém je připojen za hlavní elektroměr (z venkovního pohledu distribuční společnosti). Je tedy možné dodávat energii spotřebičům v objektu. V případě přebytků lze přes hlavní elektroměr předávat el. energii do sítě zpět distributorovi. Tento zdroj výroby je zvýhodněn tzv. Zeleným bonusem. Je to bonus za výrobu elektřiny čistým způsobem. Fotovoltaický systém pro vlastní spotřebu s možností prodeje přebytků je nejvýhodnější variantou provozu. [9]



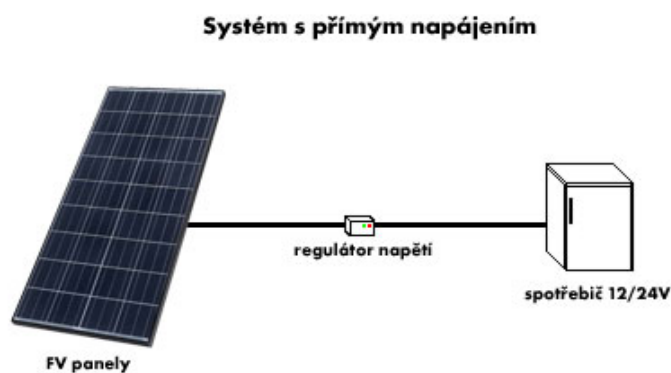
Obr. 9: Systém pro výhradní prodej elektrické energie do distribuční sítě [9]

System na Obr.9 je pro výhradní prodej elektrické energie do rozvodné sítě a je druhou možností on-grid systémů. Soustava produkuje elektrickou energii výhradně pro prodej. Obsahuje fotovoltaické panely připojené na napěťový měnič se střídačem, přeměňující stejnosměrný proud na proud střídavý o vhodné velikosti pro výkup a elektroměr umožňující odpočet energie vyrobené fotovoltaikou. Veškerá vyrobená elektrická energie je tedy dodávána do distribuční sítě za výkupní cenu. Energetický regulační úřad udává výkupní cenu platnou pro tyto systémy. [9]

1.6 Topologie solárních elektráren pro ostrovní provoz

1.6.1 Ostrovní systémy s přímým napájením

Nejjednodušší variantou ostrovního provozu jsou systémy s přímým napájením. Spotřebič je napájen pouze po dobu dostatečného slunečního svitu. Avšak při nedostatku slunečního záření nelze zařízení napájet. Regulátor, jak napovídá název, zde slouží pouze k regulaci výstupního napětí a proudu pro spotřebič. Tento systém je využíván například k čerpání vody pro závlahu, pohon protislunečních clon nebo nabíjení akumulátorů malých přístrojů jako mobilní telefon, notebook či svítilna. [10]



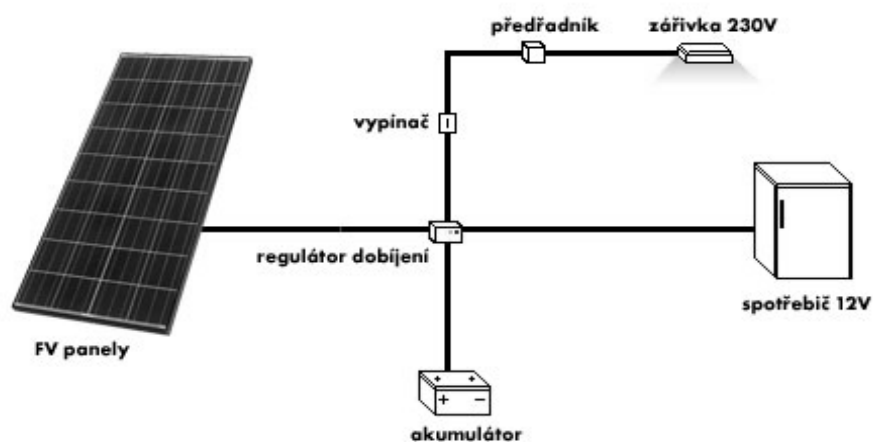
Obr. 10: Ostrovní systém s přímým napájením [10]

1.6.2 Ostrovní systémy s akumulací elektrické energie

Pro tuto práci jsou ostrovní systémy s akumulací elektrické energie s tímto typem topologie stěžejní. Používá se v i případech, kdy je solární panel bez dodávky slunečního svitu. V tomto případě dodávku energie nahrazuje akumulátorová baterie. Optimální nabíjení a vybíjení akumulátorů je zajištěno regulátorem dobíjení. K ostrovnímu systému lze připojit spotřebiče napájené stejnosměrným proudem. Napětí našeho systému je 24V, ale běžně se

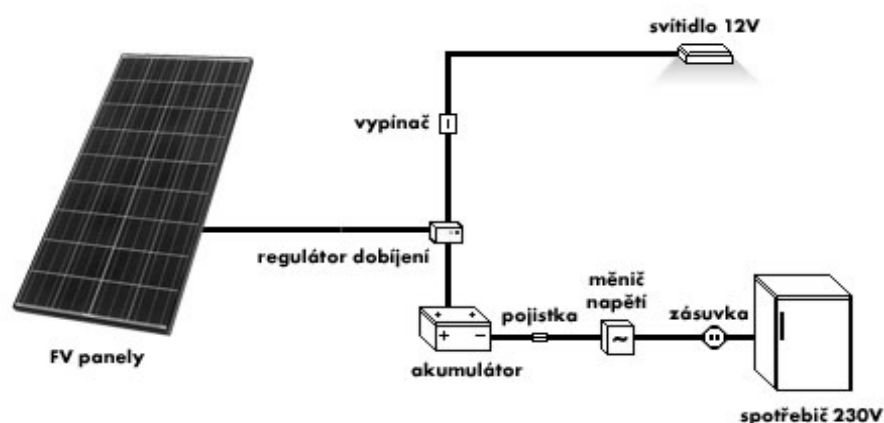
vyskytuje i 12V varianta. Chceme-li napájet běžné síťové spotřebiče je nutno dodat napěťový střídač. Těmito systémy je dodáván elektrický proud například pro chaty a další objekty, napájení dopravní signalizace, telekomunikačních zařízení nebo monitorovacích přístrojů v terénu. Na Obr. 11 a Obr.12 jsou dvě varianty těchto systémů. [10]

System s akumulací elektrické energie (12/24V)



Obr. 11: Ostrovní systém s akumulací energie 12V/24V [10]

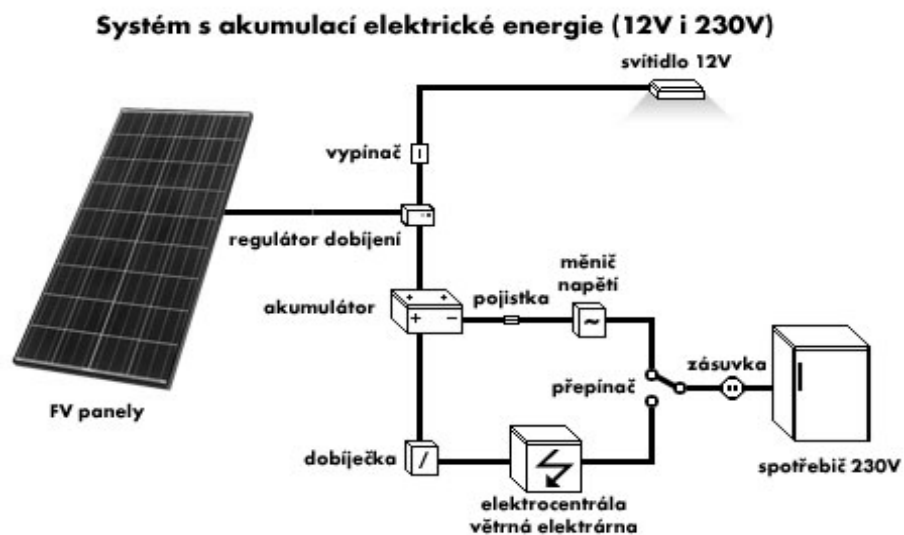
System s akumulací elektrické energie (12V i 230V)



Obr. 12: Ostrovní systém s akumulací energie 12V/230V [10]

1.6.3 Hybridní ostrovní solární systém

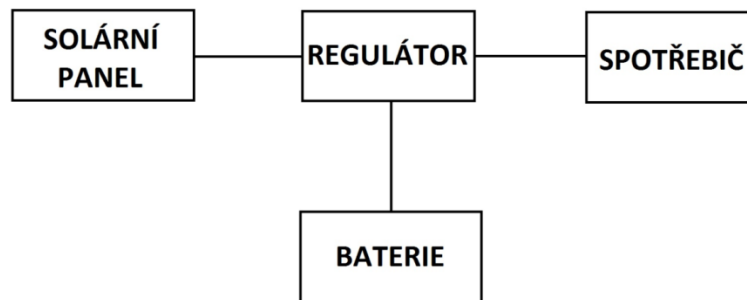
Posledním typem ostrovního solárního systému je systém hybridní, který je na Obr.13. Jedná se o kombinaci dvou výše zmíněných systémů. Jsou využívány tam, kde je nutný celoroční provoz a kde je nárazově používáno zařízení s vysokým příkonem. Z fotovoltaického zdroje se nezíská zdaleka tolik elektrické energie v zimních měsících, tak jako v letních. Je-li navržen na zimní provoz, dochází ke zvýšení potřeby výkonu panelu včetně pořizovacích nákladů. Výhodnější alternativou pro zimní období je rozšíření systému doplňkovým zdrojem elektřiny. Tento zdroj pokryje potřebu elektrické energie v obdobích s nedostatečným slunečním svitem a při provozu zařízení s vysokým příkonem. Takovým zdrojem může být větrná elektrárna, či elektrocentrála. [10]



Obr. 13: Hybridní ostrovní solární systém [10]

2 NÁVRH PRACOVISTĚ PRO POTŘEBY VÝUKY

Hlavním úkolem bakalářské práce je navrhnout modelové pracoviště se solárním panelem. Měřicí stanoviště je tvořeno stejnými komponenty, které byly popsány v teoretické části. Solární panel je nejobjemnější a také největší komponent celého pracoviště. Je umístěn na pojízdném podstavci, který umožňuje nastavit úhel naklonění od 0° do 90° vůči zemi. Hlavní část pracoviště s obslužnou elektronikou je umístěna na samostatné desce. V dolní části podstavce se nachází odkládací prostor pro použité baterie a dva pomocné zdroje napětí, pohánějící napájení elektroniky pro měření jednotlivých veličin. Přídavné napájecí zdroje (Regulated DC Power Supply MW9115GS; 1,5 A; 12V) byly použity z důvodu, aby byly co nejméně ovlivněny vlastnosti měření. Na Obr.14 následuje blokové schéma celého pracoviště.



Obr. 14: Blokové schéma pracoviště bez měření

Centrem celého pracoviště je solární regulátor, do kterého je připojen výstup ze solárního panelu. Dále je vodivě spojen s baterií pro akumulaci energie z primárního zdroje elektrické energie. Není-li dostatek elektrické energie ze solárního panelu, je použit sekundární zdroj energie, tedy akumulátor, který nahradí funkci panelu a dodá potřebnou dávku energie do spotřebičů. Na poslední svorky regulátoru je připojen spotřebič elektrické energie.

Popis všech komponentů pracoviště včetně jejich parametrů je uveden následujících podkapitolách.

2.1 Parametry solárního panelu

Níže jsou popsány parametry použitého panelu od firmy Solartec. Skládá se ze 72 sériově propojených solárních článků, které na výstupu panelu dávají součet napětí o hodnotě 24V.

Název panelu:	Solartec SG 72-113
P_{max}	113Wp
Počet článků	72
U_{nom}	24V
U_{mpp}	34,8V
I_{mpp}	3,24A
U_{oc}	43,2V
I_{oc}	3,74A
Max. syst. napětí	750V
Účinnost	13,1 %
Délka	1310 mm
Šířka	660 mm
Tloušťka	38 mm
Hmotnost	11 kg

Tabulka 1: Štítkové údaje solárního panelu

Ze štítkových údajů (Tabulka 1) lze vyčíst, že fotovoltaický panel dokáže dodávat maximálně výkon 113 wattů při maximálním napětí 34,8V, Největší protékající proud panelem je 3,24 A. Jmenovitá hodnota panelu je 24V. Není-li panel zapojený, může na něm být napětí až 43,2V, zkratový proud je 3,74A. Je možné spojit více panelů sériově, ale jejich celkové napětí nesmí překročit 750V. Účinnost panelu by měla být lehce nad 13%. Rozměr a hmotnost jsou uvedeny v tabulce. Panel má garantovanou životnost 20 let, ale jeho životnost bývá minimálně o 10 let vyšší.

2.2 Parametry solárního regulátoru

Zjednodušeně řečeno, napěťový solární regulátor je pouze stabilizátor napětí a nabíječka akumulátorů. Regulátor slouží ke stabilizaci solárního napětí na napětí vhodné pro dobíjení baterií. Po nabití akumulátorů regulátor odpojí solární panel, aby nedocházelo k přebíjení. Regulátor kontroluje napětí baterií a v případě potřeby je dobije či naopak odpojí zátěž, hrozí-li vybití pod nastavenou mez.[11]

Solární regulátor Juta CM3024Z, který je použit patří mezi ty lepší a má více funkcí, které budou následně popsány. Obsahuje monochromatický displej se 3 tlačítky pro nastavování. Je vhodný pro solární systémy s napětím 12V tak i 24V. Do zátěže může být

dodáván proud až 25A. Ze solárních panelů je připojený 12V, nebo 24V akumulátor regulátorem automaticky dobíjen. Regulátor automaticky rozpozná typ a napětí solárního panelu. Při dosažení napětí na připojeném akumulátoru 27,6V přejde regulátor z režimu nabíjení do režimu "udržování" akumulátoru. Poklesne-li napětí na baterii pod 21,4V (nastavitelný parametr), dojde k odpojení akumulátoru od spotřebičů, a tak nedochází k podvybití baterie. Dosáhne-li napětí na odpojeném akumulátoru 25V (též lze nastavit) dojde k opětovnému připojení zátěže. Solární regulátor má vestavěnou teplotní kompenzaci zjišťující stabilní hodnoty napětí i při velkých teplotních výkyvech. Dále je možnost zobrazení mnoha údajů na LCD displeji, jako je např. napětí akumulátoru, aktuální proud ze solárních panelů, aktuální odběr proudu spotřebičů, kapacita "tekoucí" do akumulátoru ve Ah, spotřebovávaná kapacita spotřebiči v Ah apod. [12] Netypickou vlastností tohoto regulátoru jsou vnitřně spojené všechny svorky s označením plus. To je důvodem opačné logiky při měření a veškeré hodnoty budou muset být měřeny nestandardně proti plus. Podrobný uživatelský návod k použití (v angličtině) je uveden v příloze 4.

Vlastnosti regulátoru Juta CM3024Z:

- Max. proud z panelu a proud zátěže: 20A
- Systémové napětí: 12V i 24V
- Vlastní spotřeba: max. 30mA
- Ochrana proti převrácení polarity
- Ochrana proti zkratu na výstupu
- Ochrana proti přetížení
- Ochrana proti přebíjení akumulátoru
- Ochrana proti hlubokému vybití akumulátoru
- Pro typ akumulátoru: Pb (olověné údržbové i bezúdržbové, GEL i AGM)
- Rozměry (mm): 90x188x48mm
- Hmotnost: 0,36Kg



Obr. 15: Napěťový regulátor Juta CM3024Z [12]

2.3 Parametry akumulátorových baterií

Kvalita akumulátorů a jejich kapacita rozhoduje o množství uskladněné energie v ostrovním solárním systému. Výběr baterie je důležitou součástí solárního systému. V období s nízkou intenzitou slunečního svitu či po soumraku na ní závisí doba dodávky energie do připojené zátěže. Pro ostrovní fotovoltaické systémy se běžně používají trakční bezúdržbové akumulátory, které jsou hermeticky uzavřené. Tyto akumulátory nelze nabíjet tak velkými proudy jako klasické trakční baterie. Jejich vlastnosti jsou většinou lepší, než u běžných trakčních akumulátorů se zaplavenými elektrodami. Jedná se zejména o vyšší využitelnou kapacitu a menší samovybíjení.

Modelové pracoviště nebude použito v reálných podmínkách, slouží pouze pro výukové účely. A proto zde mohly být použity jiné akumulátory, které katedra vlastnila. Jednalo se o dvě 12V olověné bezúdržbové baterie sloužící k záložnímu napájení elektronických zabezpečovacích systémů (EVS). Pro získání potřebného napětí 24V byly do ostrovního solárního pracoviště použity sériově zapojené baterie.

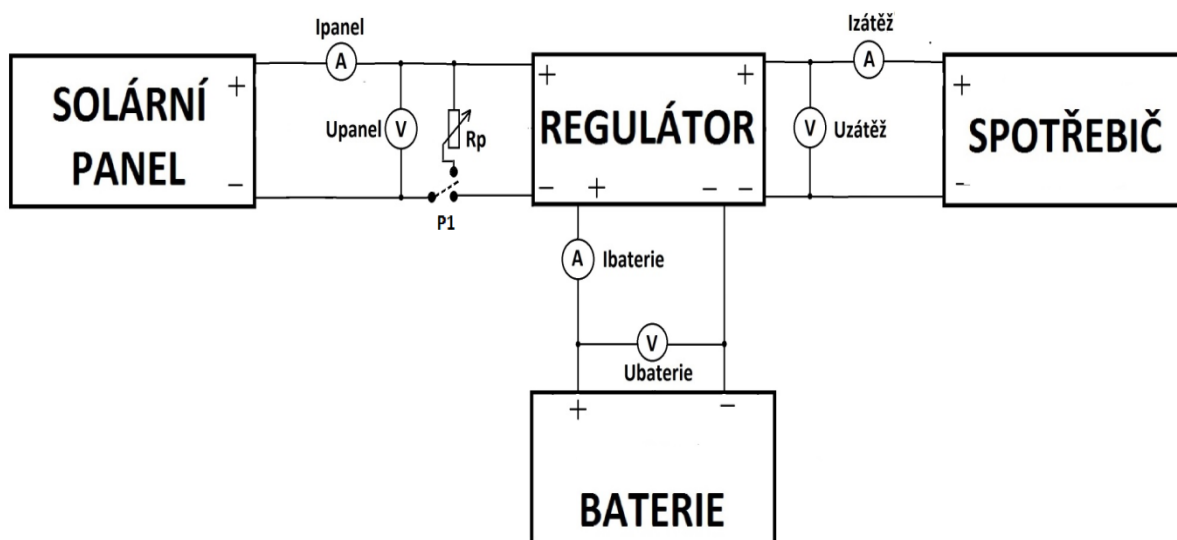
Parametry jedné baterie:

Název akumulátoru	ALARMGUARD CJ12-7
Jmenovité napětí	12V
Kapacita	7Ah
Maximální vybíjecí proud	105A / 5s
Vnitřní odpor	23mΩ
Typ	Olověný, bezúdržbový
Hmotnost	2.55 kg
Typ konektoru	Faston
Délka	151 mm
Šířka	65 mm
Výška	101 mm
Optimální životnost	5 let

Tabulka 2: Parametry baterie

2.4 Měřicí, monitorovací a ovládací systém

Laboratorní pracoviště se skládá jak z hardwarových částí, tak i softwarových. Veškeré měřené veličiny jsou snímány přes měřicí kartu vyhodnocovány v obslužném programu. Na Obr.16 je blokové schéma doplněno o měřicí přístroje jednotlivých veličin.



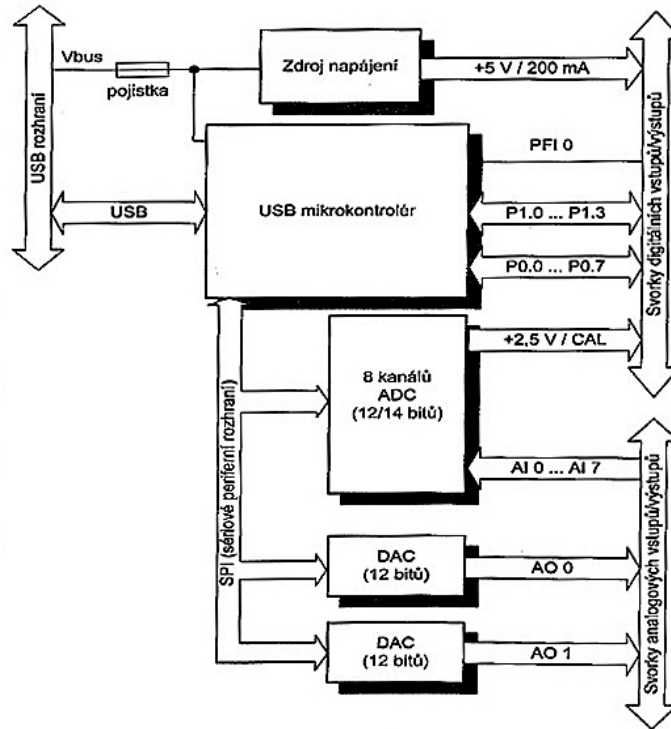
Obr. 16: Blokové schéma pracoviště obsahující měření

Hodnoty proudu a napětí budou měřeny na třech místech laboratorního pracoviště. První měření, měření napětí a proudu probíhá na solárním panelu. Další výčet hodnot proběhne na akumulátoru, kde budou sledovány nabíjecí a vybíjecí proudy baterie a též její napětí. Posledním místem měření je na spotřebiči, který nazýváme zátěží. Bude zde monitorována hodnota napětí a proudu.

Ve schématu je zobrazen přepínač P1 a odpor R_p . Přepínač odpojí regulátor a připojí výkonovou zátěž R_p . Na tomto spotřebiči je měřena výkonová charakteristika panelu. Přepínání je realizováno pomocí relé, které je řízeno ze softwarové části a jeho návrh bude popsán později. Přepínací obvod je umístěn atypicky v záporné větvi a to z důvodu vnitřního uspořádání regulátoru. Jeho kladné svorky jsou vnitřně propojeny, proto je obvodově výhodné rozpínat a spínat zápornou větev obvodu. Z obslužného programu je řízena hodnota zátěže pro měření volt-ampérové charakteristiky panelu.

2.5 Měřicí karta

Všechny měřené hodnoty zpracovává měřicí karta s označením USB 6009 pocházející od firmy National Instruments. Z názvu karty je možné odvodit způsob připojení k počítači. Karta komunikuje s počítačem pomocí rozhraní USB. Níže jsou popsány možnosti a funkce měřicí karty. Základem je vnitřní blokové schéma na obrázku Obr.17.

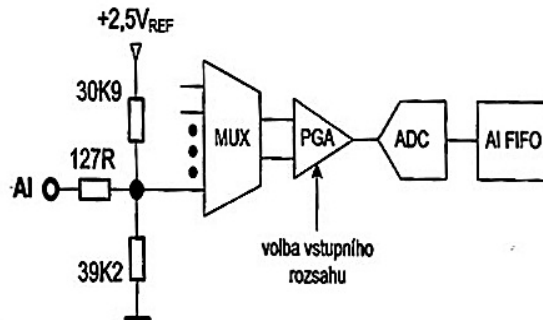


Obr. 17: Vnitřní schéma USB 6009 [13]

Hlavním čipem celé karty je USB mikrokontrolér, na který jsou připojeny všechny vstupy a výstupy. Karta jich obsahuje celkem 32. Jedná se o 8 analogových vstupů (Analog Input) s označením AI0 až AI7. Dále jsou součástí 2 analogové výstupy (Analog Output) označené AO 0 a AO 1. O digitální část se stará 12 obousměrných číslicových vstupů/výstupů, které lze nastavit podle potřeby na jeden či druhý směr. Karta obsahuje také jeden 32bitový čítač (svorka PFI 0). Analogové vstupy je možné zapojit jako 8 nesymetrických kanálů se společnou zemí nebo jako 4 vstupy v diferenciálním zapojení, tj. symetricky proti sobě. Svůj pin zde má i zdroj napětí o hodnotě +5V s maximálním proudem 200mA, napětí je získáváno z napájení USB portu. Dále je možno získat napětí o velikosti 2,5V a maximálně 1mA ze stabilizátoru napětí pro integrovaný A/D převodník.

Na Obr.18 níže je znázorněno vnitřní blokové schéma analogového vstupu. Multiplexer je v podstatě spínač, připojující jednotlivé analogové vstupy na zesilovač

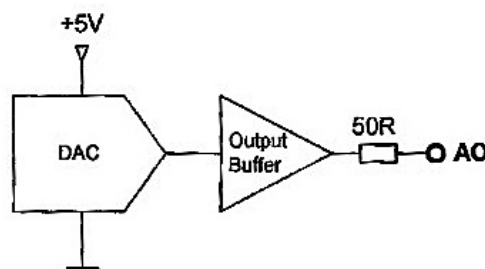
s programovatelným zesílením PGA (Programmable Gain Amplifier). Zesílení je nastavováno podle vstupního rozsahu a to v násobcích: 1x, 2x, 4x, 5x, 8x, 10x, 16x a 20x pro diferenciální zapojení vstupů AI. Pro nesymetrické zapojení se společnou zemí je zesílení jedna. A/D převodník dále převádí hodnoty napětí na číslicovou informaci ve formátu dat. Pro zamezení ztráty dat je použito ukládání typem fronta FIFO (Firt In-First Out).[13]



Obr. 18: Zapojení analogového vstupu [13]

Karta umožňuje zapojit vstupy buďto symetricky proti sobě nebo se společnou zemí. Na diferenciální zapojení možno přivést napětí v rozmezí $\pm 20V$. V našem pracovišti jsou zapojeny vstupy pouze se společnou zemí (z důvodu potřeby více počtů vstupů), na kterých je měřeno napětí v rozmezí $\pm 10V$. Je-li u obou typů zapojení detekováno větší napětí, bude automaticky omezeno vnitřní elektronikou měřící karty.

Další popsanou částí je schéma analogového výstupu. Je zapojeno dle následujícího Obr. 19.



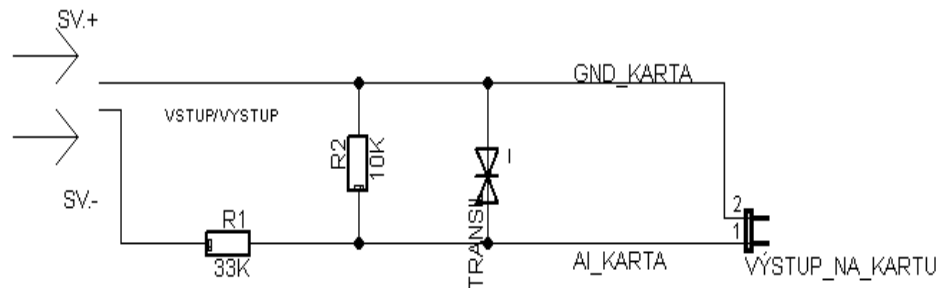
Obr. 19: Analogový výstup [13]

Oba analogové výstupy karty jsou na sobě vzájemně nezávislé. Každý z nich obsahuje 12 bitový D/A převodník s výstupním rozsahem napětí 0-5V. Časování je řešeno programově. Zátěž je zapojena mezi svorky AO a společnou zem. Proud připojenou zátěží je maximálně 5mA.

Poslední využívanou částí karty je digitální výstup. Karta je vybavena až 12ti číslicovými linkami v zapojení vstup nebo výstup. Vztažným bodem všech linek je opět společná zem GND. Tento výstup je v laboratorním pracovišti využíván ke spínání relé.

2.6 Měření napětí

Ze specifikace mařící karty (kapitola 2.5) je známo, že v zapojení proti společné zemi lze přivést na vstup maximální možné napětí $\pm 10V$, pokud je napětí vyšší, karta ho automaticky omezí. Maximální napětí v celém pracovišti může být až okolo 40V, tento údaj je určen ze štítku solárního panelu. Vyšší napětí než 10V je nutné snížit obvodem v zapojení „děliče napětí“ a vytvořit tak napětí vhodné pro měřicí kartu. Toto napětí z děliče se přivede do měřicí karty na analogový vstup. Upravené napětí je v programu vynásobeno konstantou děliče, zajišťující skutečnou naměřenou hodnotu v obvodu.



Obr. 20: Schéma hardwarové korekce pro měření napětí

Schéma na Obr.20 obsahuje navrhnutý dělič. Jedná-li se o měření napětí, je celý obvod připojen paralelně, vstupní svorky děliče jsou zároveň výstupní. Na zápornou svorku je připojen odpor R1, v sérii navazuje druhý rezistor, připojený ke svorce kladné. Paralelně k odporu R2 je transil a výstupní svorky. Na ně bude připojena měřicí karta. Transil je polovodičový prvek sloužící k ochraně před napěťovými špičkami. Pokud se objeví na R2 napětí vyšší než 10V, transil ochrání vstup karty před přepětím. Následuje výpočet hodnot součástek.

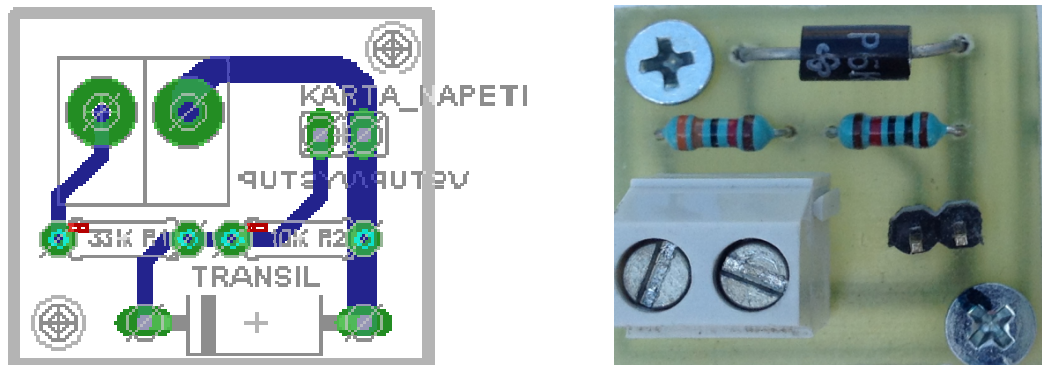
Dělič by se měl mít podobné vlastnosti jako voltmetr. Musí mít velký odpor, aby jím protékal malý proud a měl co možná nejmenší vliv na měřený obvod. Při maximálním měřeném napětí bude děličem protékat zvolený proud o velikosti 1mA. V celém pracovišti by nemělo být vyšší napětí než 40V. Pro výpočty je používána tato hodnota. Na R2, kde bude snímáno snížené napětí, by měl být úbytek maximálně 10V. Podle Ohmova zákona je vypočítána ohmická hodnota odporu:

$$R2 = \frac{U_{R1}}{I} = \frac{10}{1 \cdot 10^{-3}} = 10\,000 \text{ } [\Omega; V, A] \quad (2.1)$$

Odpor R2 je vypočítán na 10k Ω . Na rezistoru R1 je zbylá část napětí zdroje, a to činní 30V. Analogicky je vypočítáno R1:

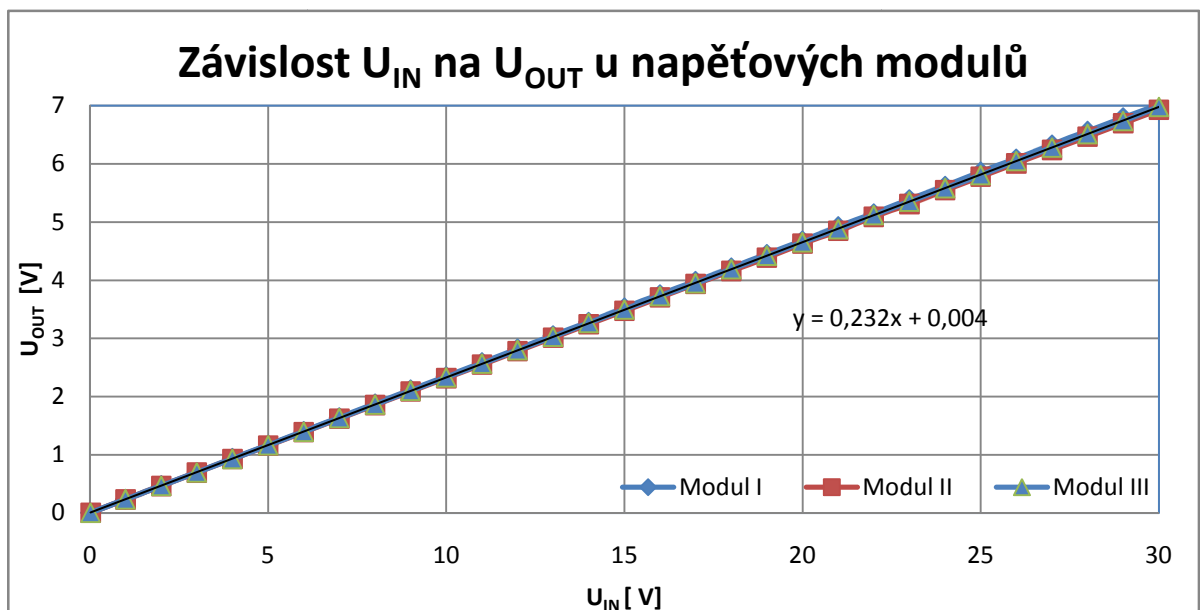
$$R1 = \frac{U_{R2}}{I} = \frac{30}{1 \cdot 10^{-3}} = 30\,000 \text{ } [\Omega; V, A] \quad (2.2)$$

Hodnota R1 je 30k Ω . Hodnoty součástek jsou navrženy výpočtem. Na schématu a ve výsledném děliči je použit jiný odpor R1. Jelikož se vypočítaný odpor nevyrobí, musí být zvolena nejbližší možná hodnota odporu a to je 33k Ω . Protékající proud děličem se ve výsledku snížil. Snímané napětí na R2 bude stále do požadovaných 10V. Následuje návrh plošného spoje (DPS). Veškeré plošné spoje byly zkonstruovány v programu Eagle od firmy Cadsoft.



Obr. 21: Deska plošného spoje a výsledný vyrobený napěťový modul

Dělič napětí byl navržen. Napětí na výstupu bude snímáno kartou proti společnému vodiči o kladné polaritě (z důvodu vnitřního propojených svorek plus v regulátoru). Vstupní napětí na kartě bude záporné a v programu bude vynásobeno zápornou konstantou pro získání skutečného napětí v obvodu. Funkčnost modulu s děličem byla odzkoušena a poté byla prokázána lineární závislost vstupního napětí na výstupním. Na solárním pracovišti je umístěny celkem 3 desky, pro každé měření napětí jedna.

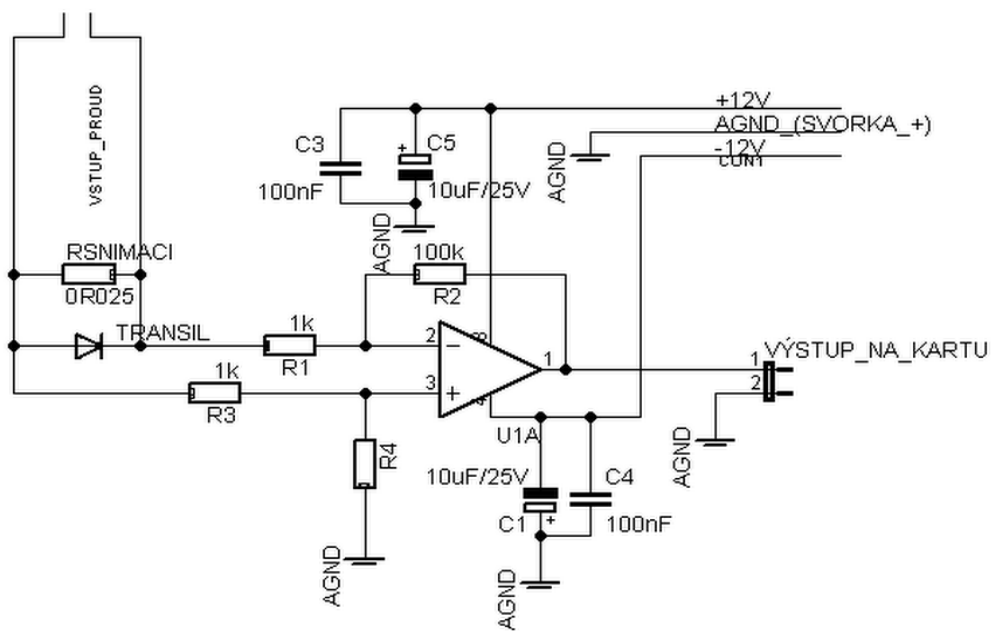


Obr. 22 : Ověření závislosti U_{in} na U_{out} u napěťového modulu

Ověření prokázalo, že napětí na vstupu je děličem sníženo. Snížené napětí o hodnotu odporů podle Ohmova zákona se ukazuje na výstupu. Závislost mezi těmito hodnotami je lineárního charakteru.

2.7 Měření proudu

Měřicí karta USB 6009 umožňuje měřit pouze napětí. Bylo tedy nutné vyřešit hardwarový převodník pro měření proudu. Pro vyhodnocování měření byl využit úbytek napětí na rezistoru. Ten následně zesílen pro větší přesnost. Ze známého napětí a hodnoty odporu byla dopočítána převodní konstanta proudu.



Obr. 23: Schéma zapojení proudového modulu

Schéma na obrázku Obr.23. ukazuje celkové zapojení, které nahrazovalo funkci měření proudu. Vzhledem k tomu, že bude měřen proud, je nutno zapojit celý obvod do série. Vnitřní odpor ampérmetru by měl být co nejmenší, aby nemohl ovlivnit velikost měřeného proudu. Proud panelu, který je 3,75A, určuje maximální protékající proud snímacím odporem. Úbytek napětí na snímacím rezistoru by měl být co nejmenší. Maximální úbytek při maximálním proudu byl zvolen na 0,1V. Z Ohmova zákona je možné vypočítat hodnotu odporu.

$$R_{snimaci} = \frac{U_{snimaci}}{I_{max}} = \frac{0,1}{3,75} = 0,026\Omega \text{ [}\Omega; \text{V, A]} \quad (2.3)$$

Takto malá hodnota rezistoru se běžně nevyrábí. Nejbližší hodnota, která byla použita je 0,025Ω. Změnou odporu byla ovlivněna i hodnota maximálního úbytku napětí. Po korekci bude úbytek napětí při plném proudu roven hodnotě 0,09375V. Toto napětí je velmi malé a při menších proudech v obvodu by byly obtížně rozeznatelné změny napětí při měření

použitou kartou. U karty mohly být využity diferenciální vstupy, ale ty jsou pouze čtyři a na pracoviště je třeba vstupů šest. Z tohoto důvodu je na snímací odpor připojen operační zesilovač v zapojení diferenciálního (rozdílového) zesilovače. Toto zapojení se používá pro sledování dvou hodnot signálů s velmi málo odlišnými hodnotami napětí, výstupní zesílené napětí je úměrné rozdílu napětí na vstupech.

Ze základního zapojení diferenciálního zesilovače vyplývá vztah pro výpočet výstupního napětí.

$$U_2 = \frac{R_2}{R_1} * (U_{12} - U_{11}) \quad (2.4)$$

Kde U_{11} a U_{12} je napětí na vstupech OZ. Přičemž musí platit následující podmínka:

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_4}{R_3} \quad (2.5)$$

Zesílení udává poměr odporu R_2/R_1 , který musí být stejný jako R_3/R_4 .

Z těchto vzorců budou vypočítány hodnoty součástek ve schématu. Největší rozdíl vstupního napětí bude při maximálním proudu necelý 1V. Tato hodnota bude zesílena na maximální vstupní napětí karty. Na výstupu operačního zesilovače by mělo být při hodnotě 3,75A napětí 10V. Rozdílový zesilovač má zvolenou hodnotu zesílení 100. Hodnota součástek je navržena dle tohoto vzorce:

$$Au = \frac{R_2}{R_1} [-; \Omega] \quad (2.6)$$

Au je 100, R_2 je zvolen pro lepší výpočet na 100k Ω . Následuje velmi jednoduchý výpočet zbývajících odporů.

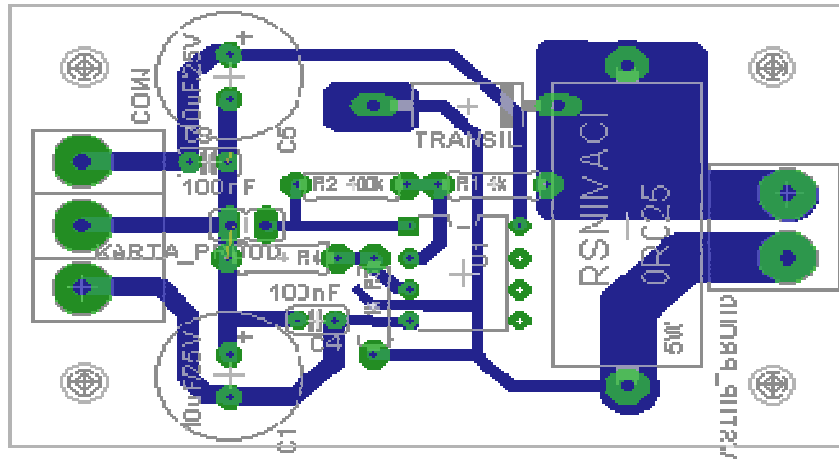
$$R_1 = \frac{R_2}{Au} = \frac{100\ 000}{100} = 1000 \Omega [\Omega; V, A] \quad (2.7)$$

R_1 je 1k Ω a R_2 100k Ω . Z podmínky o rovnosti poměru odporů je zřejmá i stejná hodnota R_3 a R_4 . Po této úpravě byl jasný převodní poměr mezi napětím a proudem.

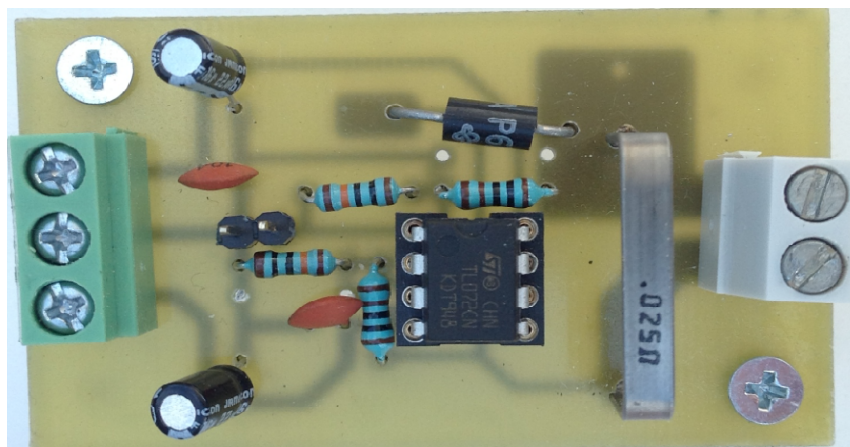
Napětí na výstupu OZ je zesíleno na hodnotu 9,375V při protékajícím proudu 3,75A. Po matematické úpravě je zřejmé, že napětí 1V na vstupu karty odpovídá proud 0,4A protékající snímacím odporem. Pro zobrazení reálné hodnoty proudu je v programu s touto konstantou počítáno.

Ve schématu je dále vyobrazen ochranný transil, který je ke snímacímu rezistoru zapojen paralelně. Zvolený obvod s operačním zesilovačem je označen TL072CN a obsahuje dva OZ.

K napájecím svorkám operačního zesilovače jsou připojeny kondenzátory taktéž paralelně. Tyto prvky plní funkci dodatečné zásobárny energie při prudkých změnách napětí a též napětí vyhlazují. Dalším krokem je návrh desky plošného spoje. Výsledná podoba je na Obr. 24 a 25.

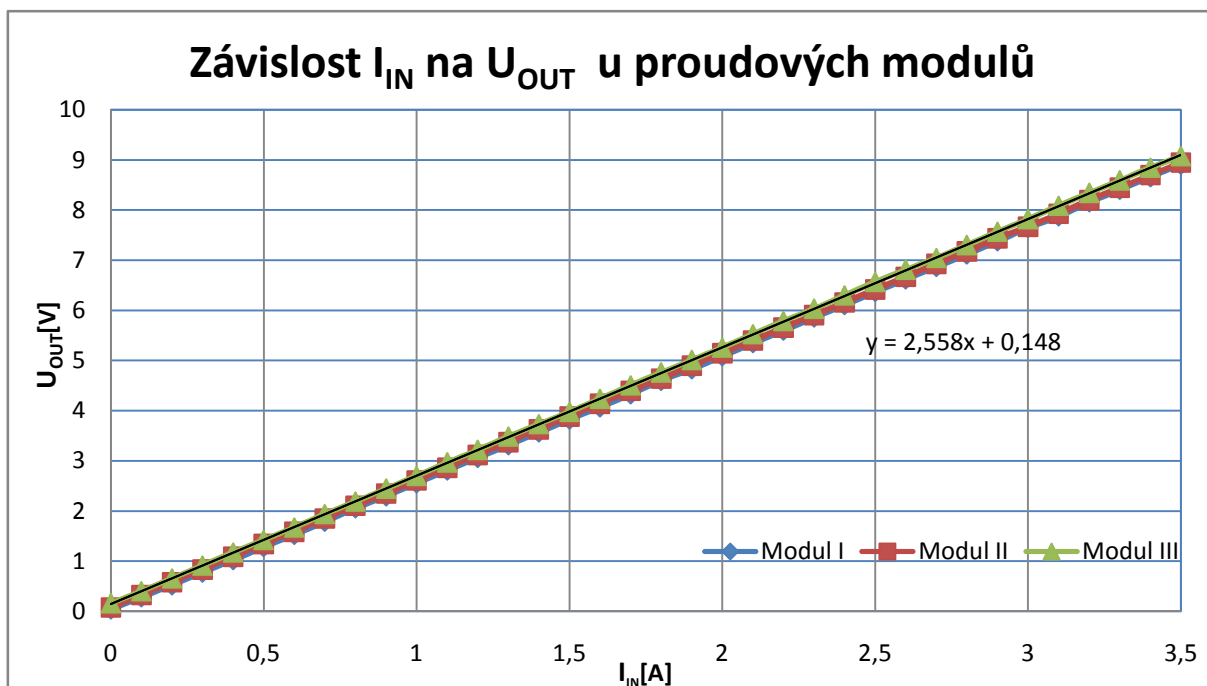


Obr. 24: Deska tištěného spoje pro měření proudu spolu



Obr. 25: Vyrobený proudový modul

Po vyrobení desky a odzkoušení funkčnosti následovalo podobně jako v případě napěťového modulu ověření závislosti vstupního proudu na výstupním napětí.



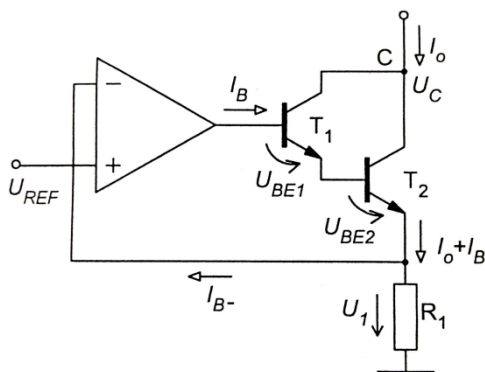
Obr. 26: Ověření závislosti proudu obvodu na výstupním napětí u proudového modulu

Měření a grafické ověření výsledku v grafu na Obr.26 potvrdilo lineární závislost obou veličin. Byly vyrobeny tři proudové moduly. Vždy jeden pro každé měření proudu.

2.8 Programovatelná odporová zátěž

Rozměrová největší vyrobenou hardwarovou částí celého pracoviště je nastavitelná odporová zátěž. Sledováním proudu a napětí panelu při různém zatížení je možné změřit voltampérovou charakteristiku panelu. Je toho docíleno měnícím se odporem v hodnotách od nekonečna (nulový proud) až po nulu (maximální proud). Celé pracoviště je obsluhováno z programu, tudíž i zatížení panelu je řízeno softwarově. Hlavním cílem je navrhnout zátěž, simulující měnící se odpor. Měřicí karta USB 6009 dokáže pracovat pouze s napětím, což je možno zjistit z její specifikace. Programovatelný odpor bude tedy řízen některým z napěťových výstupů. Hodnota odporu bude měněna postupně, z čehož vyplývá, že bude využíván jeden ze dvou analogových napěťových výstupů měřicí karty.

Zdroj proudu řízený napětím U_{REF} , je výchozím obvodem pro realizaci programovatelné odporové zátěže. Proud zátěží, nebo-li proud tekoucí z panelu je řízen výstupním napětím karty. Na Obr. 27 je základní zapojení tohoto zdroje.



Obr. 27: Zdroj proudu řízený napětím

Na neinvertující vstup operačního zesilovače je přivedeno výstupní analogové napětí karty. Na výstupu OZ je připojeno Darlingtonovo zapojení dvou tranzistorů. Toto zapojení slouží k zesílení výstupního proudu tekoucího z OZ do T1. Darlingtonova varianta zapojení bylo použita pro rozložení výkonu panelu (až 113W) na více prků zátěže. Napětí na odporu R1 je stejné napětí jako na U_{REF} . Maximální proud tekoucí přes tranzistory lze určit dle Ohmova zákona.

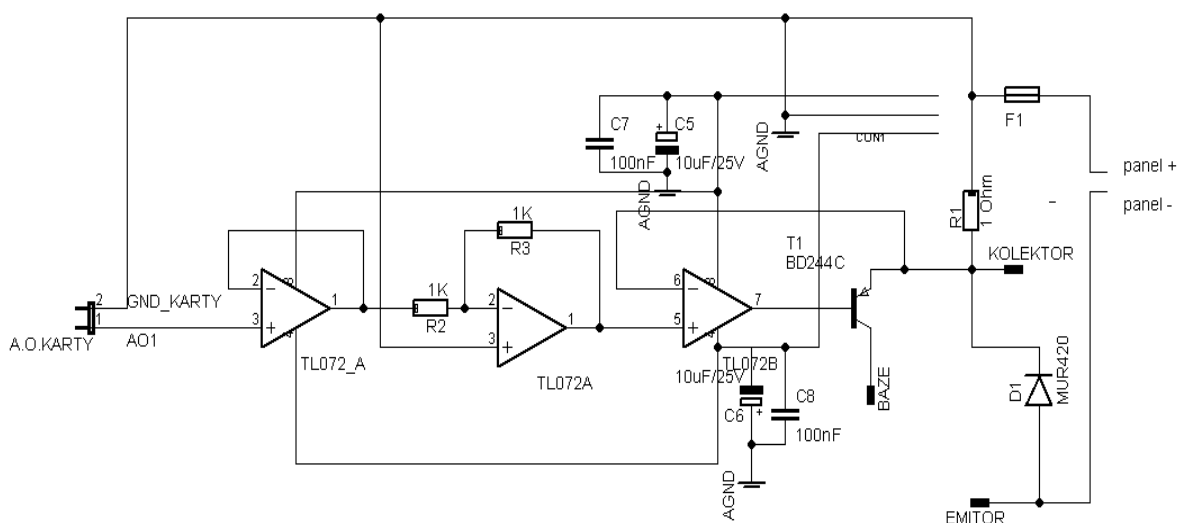
$$R1 = \frac{U_{REF}}{I_0 + I_B} \quad [\Omega; V, A] \quad (2.8)$$

Kde I_0 je proud tekoucí kolektorem tranzistoru T2, I_B je proud tekoucí z výstupu OZ a je dán vztahem:

$$I_B = \frac{I_0}{(\beta_1 + \beta_2)} \quad [A; A, -] \quad (2.9)$$

Kde β je proudový zesilovací činitel jednotlivých tranzistorů.

Při návrhu programovatelné zátěže se vycházelo z tohoto základního zapojení. Navržené schéma je na Obr. 28.

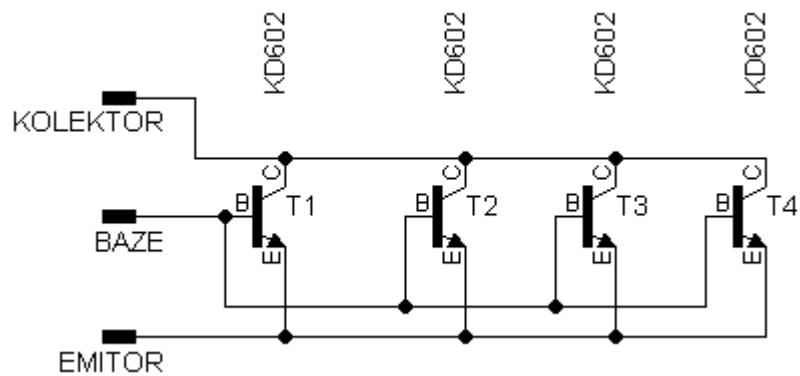


Obr. 28: Schéma zapojení pro DPS programovatelné odporové zátěže

Na vstup prvního operačního zesilovače je přiveden výstup karty. OZ TL072_A je zapojen v nejjzákladnějším zapojení a tím je sledovač napětí. Díky tomuto obvodu je výstup měřicí karty impedančně oddělen od zbylého obvodu. Druhý OZ TL072A je v zapojení invertoru. Je to invertující operační zesilovač se zesílením 1. Jeho úkolem je pouze převrátit hodnotu výstupního napětí karty. Je zde proto, že výstup měřicí karty je kladný a zdroj proud řízení je nutno řídit napětím záporným. Na výstupu TL072A se objevuje napětí karty v obrácené polaritě, tedy od 0 do -5V. Odpor R1 v základním zapojení je umístěn proti společnému bodu celého zapojení, tedy proti zemi. Zapojení muselo být oproti původnímu schématu upraveno. Dle vnitřního uspořádání regulátoru byla použita plusová svorka, nahrazující společný vodič celého pracoviště. Odpor R1 bude zapojen proti svorce kladné. Vzhledem k této úpravě bude tranzistor pozměněn a to tak, že bude řízen záporným napětím. Byl použit bipolární tranzistor typu PNP, který je řízen právě záporným napětím. Z těchto změn je patrné proč byl použit invertor. Referenční napětí z karty o hodnotě 0 až +5V je převedeno invertorem do záporné části, čímž je možno řídit otevírání a přivírání tranzistoru BD244C přes OZTL072B. Hodnotu odporu R1 určuje výše U_{REF} a měřený proud tekoucí z panelu. Výše proudu výkonovou zátěží je zvolena maximálně na 5A. Nejvyšší napětí karty je 5V. Z Ohmova zákona lze spočítat hodnota R1.

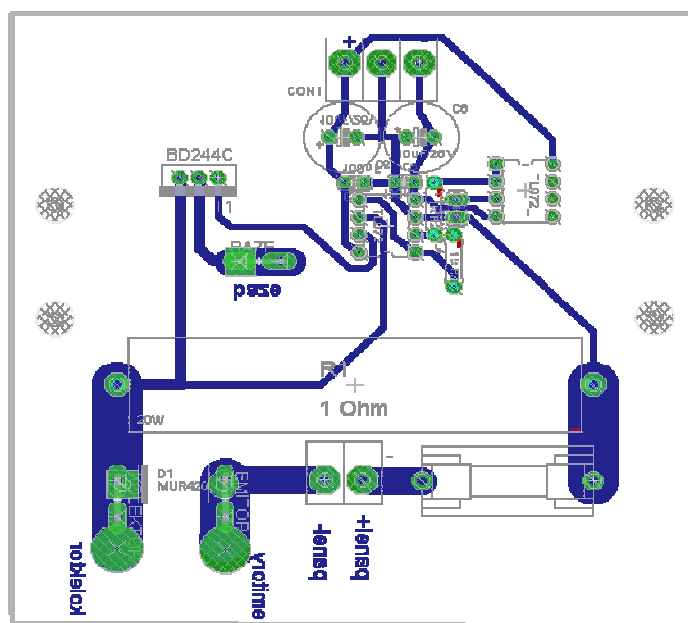
$$R_1 = \frac{U_{REF}}{I_0} = \frac{5}{5} = 1\Omega \text{ [}\Omega; V, A\text{]} \quad (2.10)$$

Odpor R1 byl vypočten na hodnotu 1Ω . Výkon je ze součinu napětí a proudu rezistorem vypočítán na 25W. V obvodu je použit výkonový drátový odpor s nejvyšším povoleným ztrátovým výkonem 20W, protože maximální proud panelem dle štítkových hodnot je 3,5A, po průtoku jedno ohmovým rezistorem vzniká úbytek 3,5V. Na měřicí kartě bude napětí U_{REF} nastaveno pouze do 3,5V. Na odporu bude ztrátový výkon menší, a proto lze použít pouze 20W odpor. Většina dodávaného výkonu panelu bude spotřebovávána na tranzistoru, ke kterému je připojen emitor T1 a odpor R1. Maximální výkon fotovoltaického panelu je 113W. Celý obvod s tranzistory by měl být dimenzován nejméně na tento výkon. Hlavní tranzistor Tesla KD 602 je připojen dle schématu na svorky nesoucí označení báze, emitor a kolektor. KD602 je výkonový bipolární NPN tranzistor v kovovém pouzdře TO-3. Jeho maximální ztrátový výkon je dle katalogu 35W. Pro celkový dodávaný výkon panelu je tato hodnota nedostatečná. Z těchto důvodů byly zvoleny čtyři stejné paralelně zapojené tranzistory a výkon je tak rovnoměrně rozložen.



Obr. 29: Schéma propojení tranzistorů KD602 na chladiči

Na Obr.29 je znázorněn způsob zapojení výkonových tranzistorů. Všechny kolektory byly vodivě spojeny a vyvedeny na svorku kolektor. Stejným způsobem se postupovalo i pro báze a emitory. Většina výkonu dodávaného panelem se spotřebovává na výše uvedených čtyřech tranzistorech, a vzhledem k tomu, že dochází k jejich zahřívání je bylo nutno je umístit na speciální chladič. Svorky se stejným označením jako na obrázku Obr.28 byli propojeny s jednotlivými vývody uvedených tranzistorů. Mezi svorky kolektor a emitor tranzistorů je umístěna ochranná dioda se závěrným proudem 4A. Všechna OZ jsou napájena symetricky $\pm 12V$ z externího zdroje napětí. Na svorky napájení jsou paralelně připojeny dva kondenzátory, které při náhlých změnách napětí zásobují operační zesilovače energií. Celý obvod zátěže se připojuje přes svorky panel + a panel - . Za svorkou plus je umístěna 4A ochranná pojistka. Na následujícím Obr. 30 se nachází deska plošného spoje navržená ze schématu na obrázku Obr. 28.

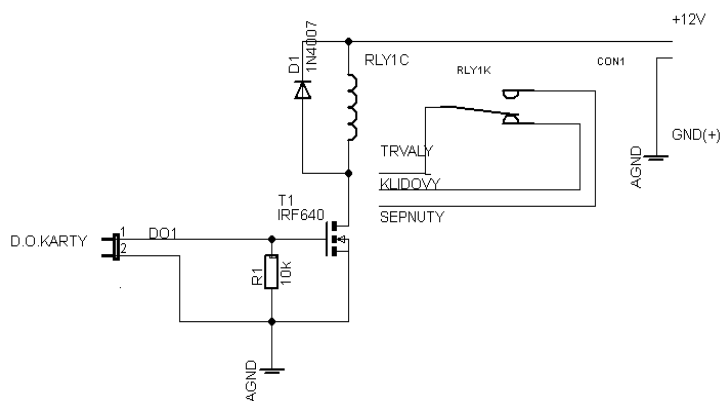


Obr. 30: Deska plošného spoje pro programovatelnou odporovou zátěž

Celý modul programovatelné odporové zátěže bude značně zahříván, proto je umístěn společně s tranzistory chladiči, ke kterému bude umístěna přes distanční slupky též DPS. Celá realizace má dva otvory. Jedením otvorem je nasáván studený vzduch, který je tranzistory zahříván a pomocí ventilátoru je vyfukován druhým otvorem ven. Celý obvod je řádně zakryt. Výsledek celé realizace je v příloze 3.

2.9 Obvod pro přepínání zátěže

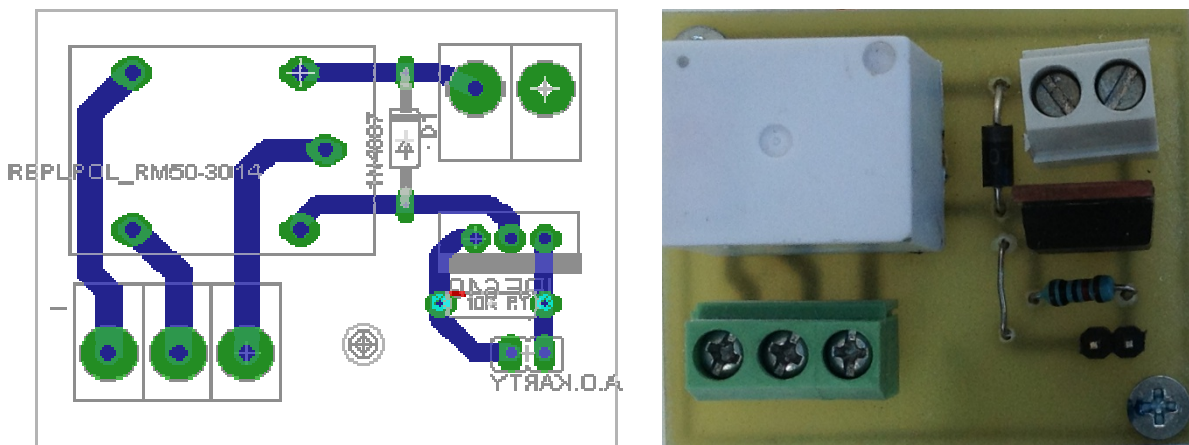
Posledním vyrobeným modulem v měřicím pracovišti je obvod s přepínačem, ten je realizován pomocí relé. K přepínání je použit digitální napěťový výstup karty a samotné přepínání je ovládáno z programu. Hodnota výstupního napětí je 0V nebo 5V. Horní hranicí napětí je relé vybuzeno k přepnutí z jedné polohy do druhé. Použité relé Relpol RM50-3014-85-1012 je přepínací a jeho cívka je na napětí 12V. Pro napájení cívky napětí z karty nedostačuje. Je zde použit stejný zdroj, který napájí operační zesilovače. Tranzistor T1 bude přepínat relé a bude řízen výstupem z měřicí karty. Bipolární tranzistor, který je ovládán proudem do báze nelze použít, protože výstup karty nedodá při log. 1 dostatečný proud. Bylo tedy nutné použít napětím řízený unipolární tranzistor IRF 640. Na Obr.31 je znázorněno schéma zapojení modulu pro připojování zátěže, sloužícího k měření výkonové charakteristiky panelu.



Obr. 31: Schéma zapojení modulu s relé

Výstupní svorky karty jsou připojeny mezi Gate a Source unipolárního tranzistoru a uzemňovacímu odporu R1 o hodnotě 10kΩ.

Paralelně k cívce relé je připojena dioda. Je zde proto, že cívka má určitou indukčnost a ta při rozepnutí vyprodukuje napěťovou špičku, která by mohla tranzistor nenávratně poškodit. Při rozepnutí se kolem indukčnosti proud přes diodu uzavře a následně nemůže dojít k proražení tranzistoru. Typ použité diody je 1N4007. Na obrázek níže vidíme výsledný návrh plošného spoje a jeho realizaci.



Obr. 32: DPS a vyrobený modul pro přepínání programovatelné odporové zátěže

Funkce celého obvodu je tedy zřejmá. Relé, které je řízeno z digitálního výstupu měřicí karty, připojí (odpojí solární panel od regulátoru) fotovoltaický panel na programovatelnou odporovou zátěž.

3 NÁVRH OBSLUŽNÉHO SOFTWARE PRO PRACOVIŠTĚ

V celém pracovišti je stěžejní měřicí karta, přes níž je převáděno měření z analogové formy do digitální. Tato data jsou v programu dále zpracovávána a vše je ovládáno přes software. Měření toku elektrické energie v celé ostrovní síti se solárním panelem je tou nejdůležitější částí měření. Následují data, která budou v programu měřena a vyhodnocována.

Sledováno bude napětí panelu, proud protékající panelem, dále bude dopočítáván jeho dodávající výkon dle příslušného vzorce. Stejně veličiny budou sledovány i na akumulátorové baterii. Monitorována bude také velikost napětí zátěže, proud do ní tekoucí a z těchto údajů bude vypočten její výkon.

Výše uvedené hodnoty budou uvedeny v daném okamžiku. Tyto hodnoty budou zakresleny do grafu s časovou osou pro jasnou představu zaznamenávaných dat z hlediska dlouhodobého vývoje.

Hodnoty z grafu budou přeneseny do textového souboru pro případné další zpracování. V programu bude dále graficky zobrazena voltampérová charakteristika ukazující závislost napětí panelu na proudu panelem, který z něj vytéká. Poslední částí obslužného softwaru bude ovládání výstupů karty. Přepínání modulu obsahující relé (kapitola 2.9) bude řídit výstup digitální. Druhým obsluhovaným výstupem bude výstup analogový.

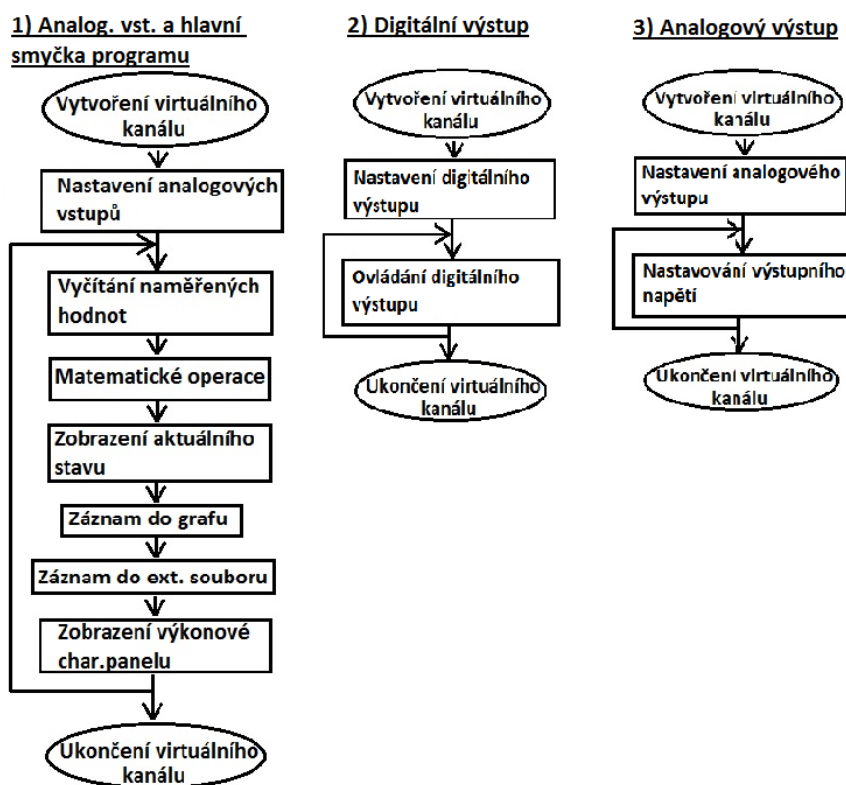
3.1 Vývojové prostředí LabView

Data získaná z modelového pracoviště, jsou zpracovávána přes měřicí kartou od americké firmy National Instruments. Obslužný program LabView je též od této společnosti. LabView (zkráceně LV) je někdy nazýván též jako G-jazyk (grafický jazyk). Uživatelské prostředí LV má obvykle podobu čelního ovládacího panelu. Tento panel zastupuje určitý virtuální měřicí přístroj (Virtual instrument, tj VI). Každý VI je složen ze dvou vzájemně propojených oken. Jedno z oken slouží pro obsluhu programu, též čelní panel, v angličtině ho nalezneme pod pojmem Front panel. Druhé okno je blokový diagram (angl. Block Diagram). V něm je uložen zdrojový kód pro VI a slouží především pro programátora. [13]

3.2 Koncepte obslužného softwaru

Z uživatelského hlediska je koncepce celého programu rozvržena do jednoho okna se záložkami, zobrazující jednotlivé části programu. Viz obrázek Obr.54 v kapitole 4.

Z pohledu programátora je program rozvržen do tří základní částí, které jsou znázorněny na obrázku Obr.33.

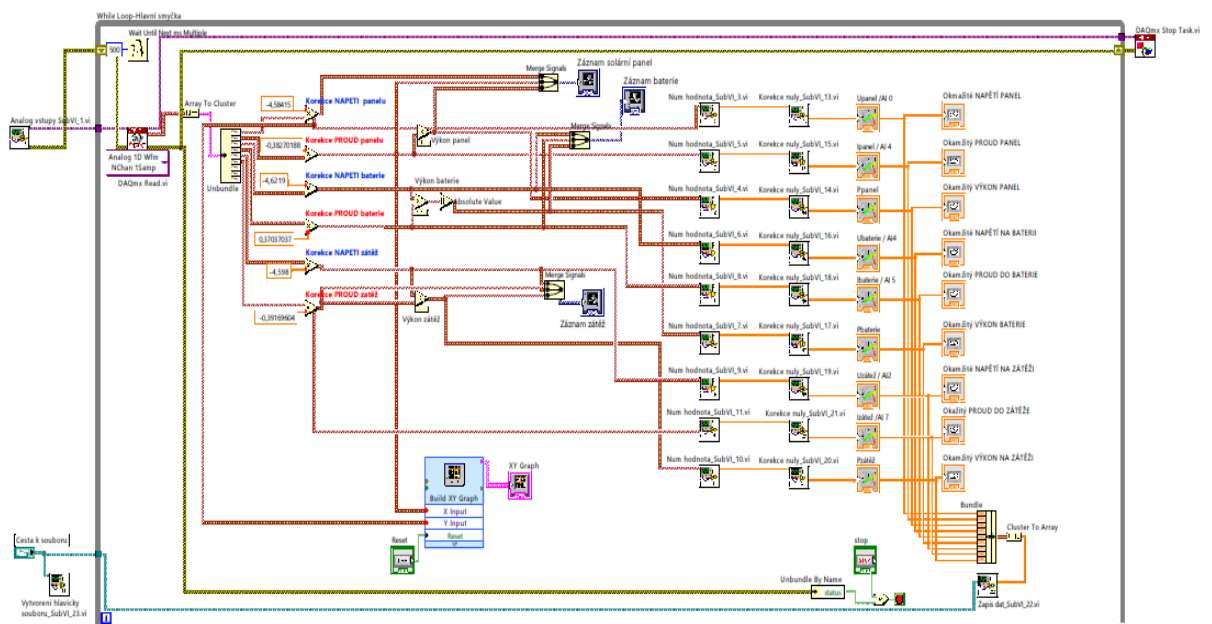


Obr. 33: Blokové schéma zdrojového kódu programu

Levý sloupec obrázku znázorňuje část 1), ve které je vytvořen virtuální měřicí kanál, jsou zde aktivovány analogové napěťové vstupy. Následuje hlavní smyčka programu. Naměřené hodnoty budou v této části vyčteny, upraveny a zobrazeny jak numericky tak graficky. Data z karty budou zaznamenána do grafu a tím bude zajištěn záznam aktuálního a dlouhodobého stavu měření. Veškeré hodnoty získávané ze solárního pracoviště jsou ukládány do textového souboru. Odtud mohou být použity pro další zpracování, například jako zdrojová data pro tabulkový procesor. Bude-li program přepnut na měření zatěžovací charakteristiky panelu, budou se hodnoty vyobrazovat v grafu XY.

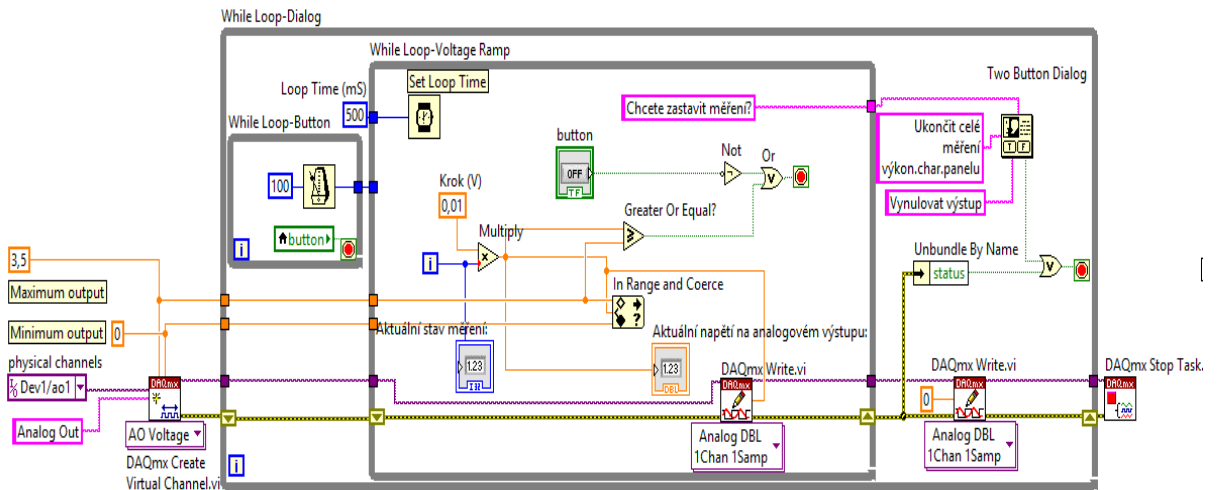
Číslem 2 je označena část, kde je ovládání digitálního výstupu. Napěťový skok z tohoto výstupu bude řídit přepínání obvodu s relé.

V pravé části obrázku je znázorněno řízení analogového výstupu. Výstupní napětí se bude automaticky přes software postupně navyšováno od 0 do 3,5V. Toto napětí řídí hardwarový blok s programovatelnou odporovou zátěží. Následuje Obr.34, na kterém je znázorněn výsledek pro měřicí kanál a hlavní smyčku. Schéma neobsahuje kompletní kód. Pro lepší čitelnost celé smyčky je schéma doplněno o dílčí podprogramy (tzv.SubVI).



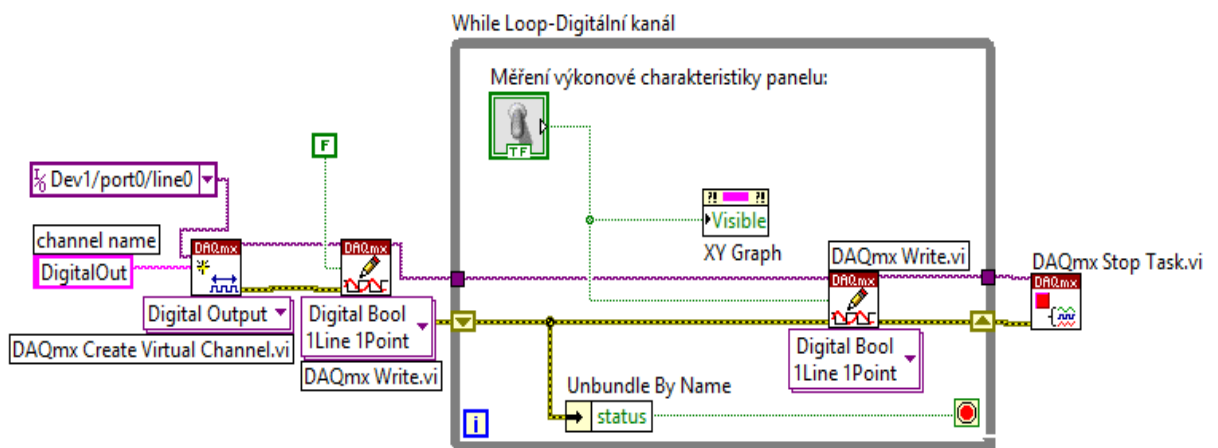
Obr. 34: Schéma hlavní smyčky programu LabView

V levé horní části je SubVI s názvem „Analog vstupy SubVI_1.vi“ (vytvoření virtuálních kanálů a nastavení analogových vstupů), ten je spojen s hlavní smyčkou programu, ve které se nachází výše zmíněné funkce uvedené z Obr. 33. Na tomto obrázku je zobrazeno i dalších 21 ikoněk značící SubVI podprogramy.



Obr. 35: Ovládání analogového kanálu měřicí karty v LabView

Na obrázku Obr.35 je část programu pracující s analogovým výstupem. Hlavní část kódu je nastavování napětí na výstupu karty.

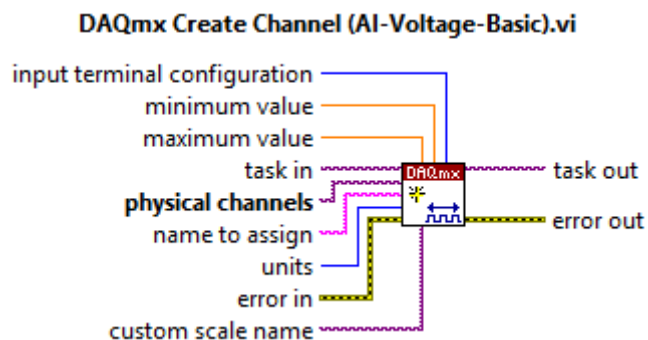


Obr. 36: Řízení digitálního výstupu měřicí karty v LabView

Na obrázku Obr.36 je ukázáno, jakým způsobem bude ovládán digitální výstup. Všechny části programu budou podrobně popsány v následujících kapitolách. Celý program včetně podprogramů SubVI najdeme v rámci přílohy 1 na přiloženém CD.

3.2.1 Zprovoznění měřicího kanálu

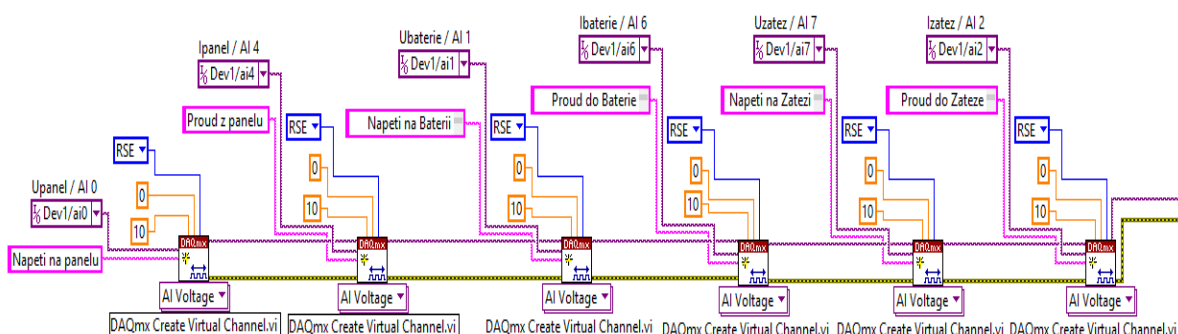
První část programu (v celkovém schématu SubVI pod názvem „Analog vstupy SubVI_1.vi“) je tvořena virtuálním kanálem, v němž jsou aktivovány vybrané vstupy pro měření. Každý vstup má svůj vlastní kanál. Byla zde použita funkce DAQmx Create Virtual Channel.vi.



Obr. 37: DAQmx Create Virtual channel

Po vložení funkce do blokového diagramu se následně zobrazí výběrové okno, tzv. Polymorphic VI selektor. Je zde nabídnuto několik možností, ze kterých je vybrána varianta Analog Input→Voltage. Bude tedy využíváno analogového vstupu, v němž je snímáno napětí. Na vstupu Input Terminal Configuration je přes DAQ Assistant nastavena volba RSE, kde je napětí snímáno proti zemní svorce měřící karty. Minimální vstupní napětí je určeno konstantou 0, ta je připojena na vstupu Minimum Value. Maximální vstupní napětí je stanoveno kartou, což je 10V a je připojeno na vstupu Maximum Value. Vstup a výstup celé funkce je označen Task in/Task out. Dále je zde vstup nazývaný se Physical Channels, na něj je připojena konstanta, určující o který analogový vstup mařící karty se bude jednat. Name to Assign je textový popis pro měřený kanál. Error In/Error Out je vstup a výstup ohlašující chybu v programu.

Všechny kanály jsou zapojeny sériově. Na Obr.38 je výsledné zapojení virtuálních kanálů.



Obr. 38: Vytvoření virtuálních kanálů pro měřící kartu

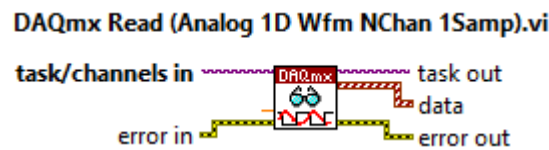
3.2.2 Hlavní smyčka While Loop

V hlavní smyčce programu probíhá výčet z virtuálních kanálů. While Loop se využívá pro opakování algoritmu ve VI po dobu, kdy je platná ukončovací podmínka typu Boolean. Cyklus smyčky může být ukončen pouze tehdy, je-li stav ukončovací podmínky přivedený

na vstup podmínkového terminálu v True (log. pravda). Funkce Wait Until Next ms Multiple (ikona kyvadlových hodin) jen též umístěna ve smyčce. Bez této funkce by byla data vyčítána velmi rychle (každou ms), což není pro laboratorní pracoviště nutné. Celá While smyčka se provádí každých 500ms. Hodnoty naměřené analogovými vstupy jsou vyčteny dvakrát do vteřiny. Data z virtuálních kanálů putují přes Loop Tunel do smyčky. Chybové hlášení je propojeno se všemi DAQmx funkcemi. Error out je propojen s While Loop přes tzv. Shift Register (malý obdélník s trojúhelníkem uvnitř). Hodnoty jsou přenášeny pomocí posuvného registru z jednoho cyklu smyčky While do dalšího. Objevili-li se na výstupu jednoho cyklu chyba, registr ji předá na vstup cyklu následujícího. Chybný krok ve smyčce je funkcí Unbundle by Name vyhodnocen na stav na True. Přes logickou funkci Or je společně s tlačítkem připojen na Stop smyčky. Smyčka je ukončena v případě stisknutí tlačítka nebo při vyhodnocení chybového hlášení.

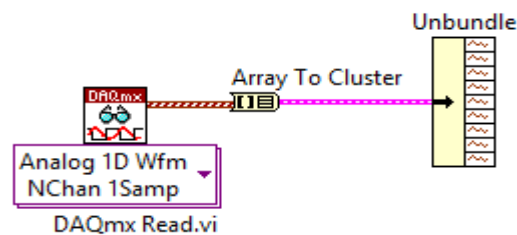
3.2.3 Výčet hodnot a měření jednotlivých veličin

Vyčítání hodnot z virtuálních kanálů se provádí v hlavní smyčce While Loop. Tento úkon zajistí funkce DAQmx read.vi (Obr.39).



Obr. 39: Funkce DAQmx Read.vi

Z Polymorphic VI selektor je vybrán způsob čtení dat: Analog→Multiple Channels→Single Samples→1D Waweform. Je zvoleno čtení analogového signálu z více kanálů. Získávají budou jednoduché vzorky ve formátu jednorozměrného průběhu. Task Out a Error Out jsou spojeny s Task In a Error In funkce DAQmx Stop Task.vi (nachází se vně smyčky While), která ukončuje virtuální kanály a navrátí měřicí kartu do výchozího stavu. Data ve formátu jednorozměrného pole vystupují DAQmx Read.vi. 1D pole je tvořeno jednou řadou hodnot. Každá hodnota je popsána indexem v rozsahu 0 až n-1, kde n je počet prvků v řadě.



Obr. 40: Převod dat DAQmx Read.vi na jednotlivé průběhy

Na Obr.40 je zobrazena funkce Array To Cluster, přes níž je převáděno pole do klastru. Klaster je datová struktura, obsahující oproti Array různé datové typy. Přes funkci Unbundle je Cluster je rozdělen na jednotlivé kanály v pořadí v jakém byli definovány ve Virtual Channels. Za touto funkcí se již pracuje s jednotlivými průběhy ve tvaru Waveform (formát dat pro grafické znázornění).

3.2.4 Výpočet nepřímo měřených veličin

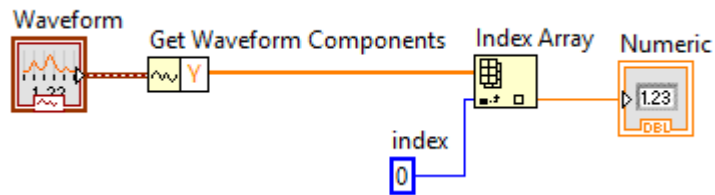
Na vstupu měřicí karty se objevuje napětí do 10V. V pracovišti je napětí vyšší, to je sníženo přes hardwarové moduly na úroveň vhodnou pro měřicí kartu USB 6009. Hodnoty v programu musí být dále matematicky upravovány. Všechna data z každého virtuálního kanálu jsou vynásobena číselnou konstantou a tím jsou získány skutečné údaje z pracoviště. Z měření na hardwarových modulech bylo zjištěno konkrétní součinnové číslo. Naměřená data jsou v příloze 2. Svorka plus je společným bodem pro všechna naměřená data v pracovišti. Měříme-li napětí pomocí karty, je vzhledem ke společnému místu obvodu vždy záporné. Pro získání kladných hodnot je každá konstanta v součinu záporná. Výjimkou je korekce pro měření proudu baterie. Akumulátor může být nabíjen z panelu, ale i vybíjen přes zátěž. Režim baterie určuje plusové nebo mínusové znaménko. Akumulátor je vybíjen, objeví-li se na zobrazovači hodnota o záporné polaritě. Při kladné hodnotě je baterie nabíjena. Ostatní části pracoviště mají pouze jednosměrný tok elektrické energie.

Upravená data odpovídající skutečným hodnotám v obvodu putují na zobrazovače (Indicators).

Přes funkci Unbundle se získávají pouze hodnoty napětí a proudu. Výkon je dopočítáván dle vzorečku.

$$P = U * I [W; V, A] \quad (3.1)$$

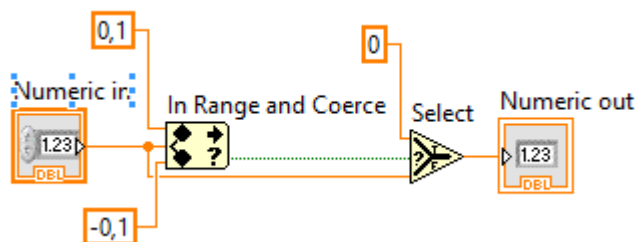
Aktuální výkon je vypočten vynásobením napětí a proudu v každé části pracoviště. Za výslednou hodnotu výkonu baterie je vložena funkce absolutní hodnoty. Hodnota proudu vstupující do funkce násobení může být obou polarit. Při záporné hodnotě by výsledek součinu vyšel záporný. Hodnota výkonu v indikátoru je přes funkci Absolute Value vždy upravena do kladné polarity.



Obr. 41: Získání numerické hodnoty z Waveform průběhu

Na Obr.41 je popsána funkce získávající z průběhu Waveform numerické číslo typu Double. Každý průběh má svůj SubVI podprogram („Num hodnota_SubVI_3.vi“ až „Num hodnota_SubVI_11.vi“). Vstupující průběh má dvě osy. Na ose x se nachází časový údaj a na ose y je naměřená hodnota. Funkce Get Waveform Components odstraní čas z průběhu. Na výstupu GWC se objeví matice hodnot v datovém formátu pole. Funkce Index Array přivede na numerický indikátor nultý prvek pole.

Dříve než se ze vstupu karty zobrazí hodnota na numerickém a grafickém zobrazovači je ještě jedním SubVI („Korekce nuly_SubVI_13.vi“ až „Korekce nuly_SubVI_20.vi“) upravena.



Obr. 42 SubVI pro získání nulové hodnoty

Pokud je v obvodu nulové napětí nebo nulový proud, data v programu se nezobrazí v čistě nulové hodnotě. Na vstupech karty se objeví vždy nějaké šumové napětí. I když je hodnota v porovnání s měřenými veličinami velmi nízká, i tak je nevyhovující. Při násobení nenulových veličin by mohlo docházet k nepřesným výsledkům. Například v numerickém indikátoru výkonu by se tak mohla objevit nenulová hodnota, i když je zřejmé, že žádný výkon není dodáván ani spotřebováván. Tento údaj odstraňuje SubVI z Obr.42.

Neošetřené číslo je přivedeno na vstup x funkce In Range and Coerce. Dalšími vstupními parametry jsou dvě limitní hodnoty, mezi nimiž se bude x porovnávat. Výstup této funkce je logického typu. Stav True nebo False je připojen na rozhodovací člen Select. Je-li na jeho vstupu hodnota log.1 na výstupu se objeví číslo, které je udané v podmínce t , v opačném případě je výsledné číslo zobrazeno ze vstupu f .

Konkrétní funkce z obrázku Obr.42 je následující. Číslo vstupující do In Range and Coerce je porovnáváno, zda je v rozsahu hodnot od -0,1 do 0,1. Je-li v tomto rozmezí, na výstupním indikátoru se zobrazí číslo 0. V opačném případě je nezměněné číslo ukázáno na výstupu.

Tato korekce čísla je vložena před každým zobrazovačem. V programu je dále s takto upravenými hodnotami pracováno.

3.2.5 Záznam dat do grafů

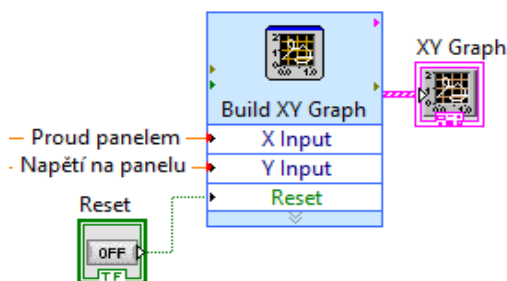
Data vyčítána ve formátu Waveform jsou využívána v grafickém zobrazovači s časovou osou. Každá část pracoviště má svůj vlastní graf s hodnotami napětí, proudu a výkonu.



Obr. 43: Dlouhodobý záznam hodnot

Data z vyčtených kanálů jsou přenesena do funkce Merge Signals slučující více signálů do jednoho celku. Na výstup je připojen vstup grafu, viz. Obr.43.

Druhý typ grafu je Graph XY. Pro uživatele je aktivní při přepnutí na měření výkonové charakteristiky panelu.

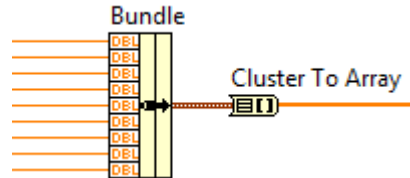


Obr. 44: XY graf zobrazující VA char. panelu

Na Obr.44 je zrealizováno zobrazení výkonové charakteristiky panelu. Do funkce Build XY Graph jsou přivedena zdrojová data. Na vstupu X Input je proud procházející panelem (v grafu osa X). Data nesoucí informaci o hodnotě napětí panelu jsou připojena na druhém vstupu s označením Y Input (v grafu osa Y). Na vstup Reset je připojeno logické tlačítko vymazávající historii grafu. Ve vlastnostech (Properties) Build XY Graph je zrušena volba Clear data on each call. Tímto krokem jsou v Graphu XY zobrazeny veškeré předchozí naměřené hodnoty. Pokud by tato volba zůstala aktivní, při každém vyčtení z kanálu by byla předchozí zobrazená informace smazána. Z jednotlivých naměřených bodů je vykreslen tvar voltampérové charakteristiky panelu. Výstup Build XY Graph je připojen na grafický zobrazovač XY Graph.

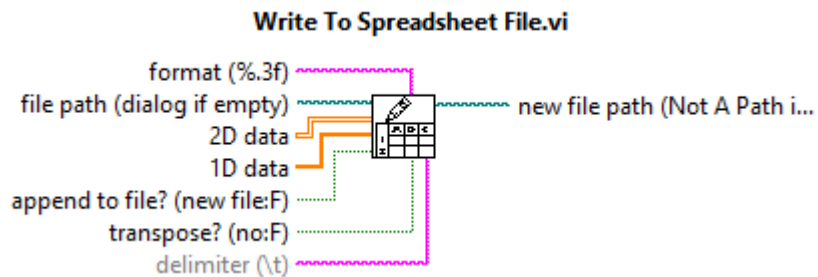
3.2.6 Záznam hodnot do externího souboru

Hodnoty, ukazující se na numerických indikátorech jsou zaznamenávány do externího textového souboru. Data z těchto indikátorů se nejdříve podle Obr.45 sloučí přes funkci Bundle do jednoho klastru. Pěs další funkci Cluster to Array jsou převedena do 1D pole.



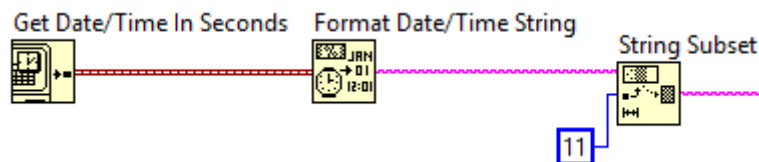
Obr. 45: Konverze dat do formátu Pole

Výstupní pole je vedeno do funkce Write To Spreadsheet File.vi (SubVI „Zapis dat_SubVI_22.vi“) nacházející se na obrázku Obr.46.



Obr. 46: Popis funkce Write To Spreadsheet File.vi

Tato funkce převádí 1D číselné pole s jednoduchou přesností na textový řetězec. Ten je dále zapsán jako tok bytů do souboru, nebo se připojí nový řetězec k již vytvořenému souboru. Vstup Format (%.3f) určuje, že data budou zapsána se třemi desetinnými místy a jaké budou mezery mezi jednotlivými hodnotami. Na File Path je připojena cesta k souboru a další funkce, která je níže popsána. Na vstup 1D jsou vedena zdrojová data (výstup z funkce Cluster To Array) pro soubor. Ke svorce s názvem Append to File je přivedena logická hodnota True. Tím budou přidávány hodnoty k již existujícímu souboru (kde bude nejdříve vytvořena hlavička tabulky). Na vstup Delimiter je přiveden čas záznamu každé hodnoty přes funkci z Obr.47.

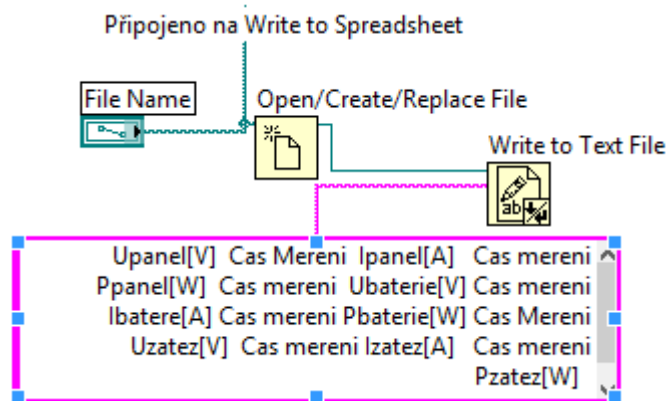


Obr. 47: Získání časového údaje pro záznam do externího souboru

Blok Get Date/Time in Seconds předá hodnotu času v sekundách do bloku Format Date/Time String. Z této funkce vystupuje čas a datum ve String (znakovém) formátu.

String Subset upraví textový řetězec vstupující do jeho vstupu. Na offset vstupu je navoleno číslo 11, které posune začátek časového údaje o 11 míst (vymaže datum v textovém řetězci a zůstává pouze čas). Takto upravený časový údaj vstupuje do Write To Spreadsheet File.vi na vstup Delimiter.

Vně smyčky While Loop je umístěn SubVI („Vytvorení hlavičky souboru_SubVI_23.vi“) přiřazující cestu k souboru. Součástí je také funkce nastavující hlavičku pro naměřené hodnoty. Vše je vyobrazeno na Obr.48.



Obr. 48: Vytvoření hlavičky v externím souboru

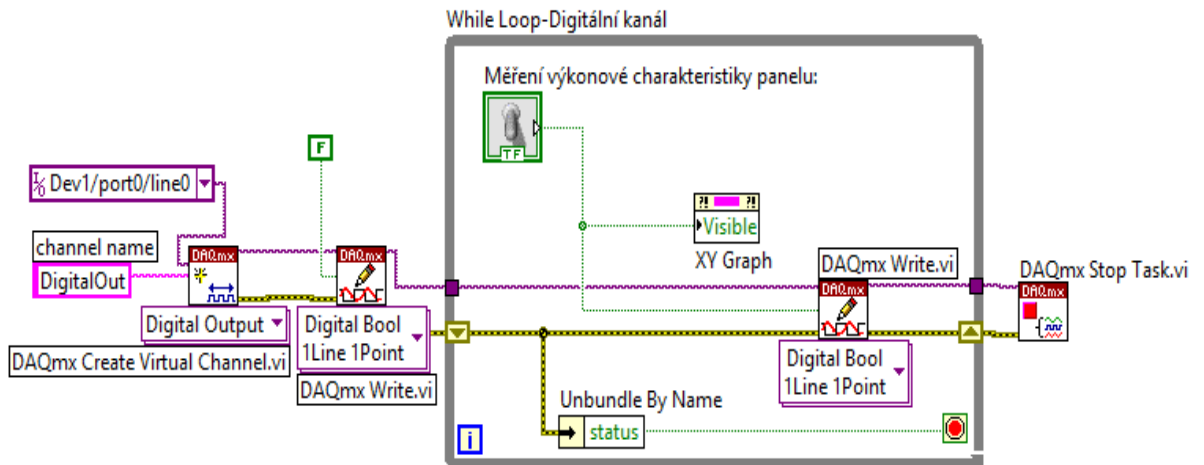
Funkce Open/Create/Replace File otevře soubor, který je přiveden na vstup. Svorka File Patch, která je popsána výše (funkce Write To Spreadsheet File.vi), je napojena na vstup funkce. Na tutéž svorku je připojeno Filename, což je cesta v počítači k předem vytvořenému textovému souboru. Výstup funkce je veden do bloku Write to Text File, ten zapíše hlavičku pro naměřená data. Část výsledného souboru se zapsanými hodnotami je na obrázku Obr.49.

Upanel[V]	Cas Mereni	Ipanel[A]	Cas mereni	Ppanel[W]	Cas mereni	Ubaterie[V]	Cas mereni	Ibatere[A]	Cas mereni	Pbaterie[W]
2,250	15:32:03	-0,026	15:32:03	-0,058	15:32:03	22,899	15:32:03	-0,036	15:32:03	-0,8;
2,217	15:32:03	-0,030	15:32:03	-0,068	15:32:03	22,888	15:32:03	-0,037	15:32:03	-0,8;
2,228	15:32:04	-0,028	15:32:04	-0,064	15:32:04	22,866	15:32:04	-0,039	15:32:04	-0,8;
2,217	15:32:31	-0,028	15:32:31	-0,063	15:32:31	22,921	15:32:31	-0,034	15:32:31	-0,7;
2,217	15:32:31	-0,026	15:32:31	-0,057	15:32:31	22,888	15:32:31	-0,036	15:32:31	-0,8;

Obr. 49. Výsledná podoba zapsaných dat v textovém souboru

3.2.7 Ovládání digitálního kanálu

Výstup digitálního kanálu řídí obvod s relé. V této části je popsáno ovládání digitálního výstupu karty přes softwarové tlačítko. Na obrázku Obr.50 se nachází výsledný zdrojový kód.



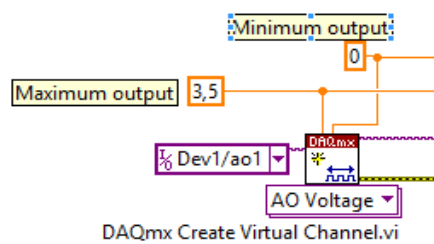
Obr. 50: Ovládání digitálního výstupu

Virtuální kanál je vytvořen přes DAQmx Create Virtual Channel.vi. Polymorphic VI selektorem je určeno, že se bude pracovat s digitálním výstupem (Digital Output). Funkce DAQmx Create Virtual Channel.vi obsahuje několik vstupních parametrů. Na vstup Lines je přiveden konkrétní digitální kanál, který bude využíván. Vstup Channel Name je textový popis. Výstup funkce (Task out) a chybové hlášení (Error out) putují do dalšího bloku. Jedná se o funkci DAQmx Write. Ihned po spuštění programu a inicializaci virtuálního kanálu se zapíše na digitální výstup logická nula (hodnota False na vstupu Data). Připojením měřicí karty k napájení (USB port počítače) se všechny digitální výstupy nastaví automaticky do logické jedničky. To je v tomto případě nežádoucí. Aniž by se s programem jakkoliv pracovalo, relé se přepne na měření výkonové charakteristiky panelu bez vědomí uživatele. Po průchodu touto funkcí je výstup automaticky přepnut zpět do logické nuly (je připojen regulátor). Na výstup DAQmx Write.vi navazuje While smyčka ve které je digitální výstup karty ovládán přes tlačítko. Tlačítko o stavech True (log.1) nebo False (log.0) je připojeno na vstup další funkce zapisující data do digitálního kanálu. Tím je určen stav výstupu karty při stisknutí tlačítka. Posledním připojenou funkcí na tlačítko je tzv. Property Mode nebo-li ukazatel vlastností. Slouží k zadávání informací pro prvek na čelním panelu. Property Mode je vytvořen pro XY Graph v hlavní smyčce programu, který bude zobrazovat výkonovou charakteristiku panelu. Funkcí ukazatele je vlastnost Visible (viditelnost). Dokud není stisknuto tlačítko, graf XY je pro uživatele neviditelný. Při přepnutí tlačítka do stavu True je

nastaven digitální výstup do log.1 a tím se připojí výkonová zátěž na svorky panelu. Druhou funkcí přepnutí, je zobrazení grafu. Smyčka je podobně jako v kapitole 3.2.2 v případě chyby ukončena přes funkci Unbundle By Name. Výstup DAQmx Write je propojen s funkcí DAQmx Stop Taks.vi. Ta ukončuje vytvořený virtuální kanál a nachází se mimo smyčku While.

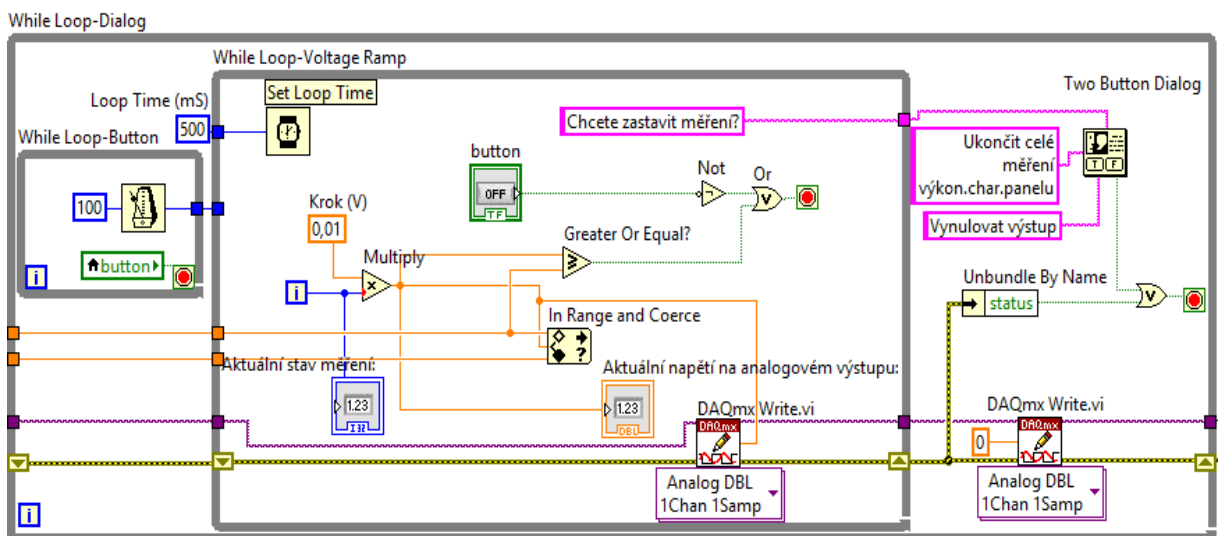
3.2.8 Ovládání analogového kanálu

Řízení programovatelné zátěže, která zatěžuje fotovoltaický panel při měření výkonové charakteristiky, se provádí přes analogový výstup karty. Tam je nastavováno napětí plynule v rozsahu 0-3,5V. Hlavní částí je vytvoření tzv. Voltage Ramp nebo-li napěťové rampy. Podobně jako u všech vstupů a výstupů je prvním krokem vytvořit virtuální kanál dle obrázku Obr.51.



Obr. 51: Vytvoření virtuálního analogového kanálu

Ve funkci Create Virtual Channel byl vybrán z nabídky analogový napěťový výstup. Na Physical Channels byl navolen analogový výstup s číslem 1. Dále byla určena limitní velikost výstupního napětí na 3,5V. Výstup a Error jsou připojeny na While smyčku programu, kde pokračují do dalších bloků. Na Obr.52 je jádro této části programu.

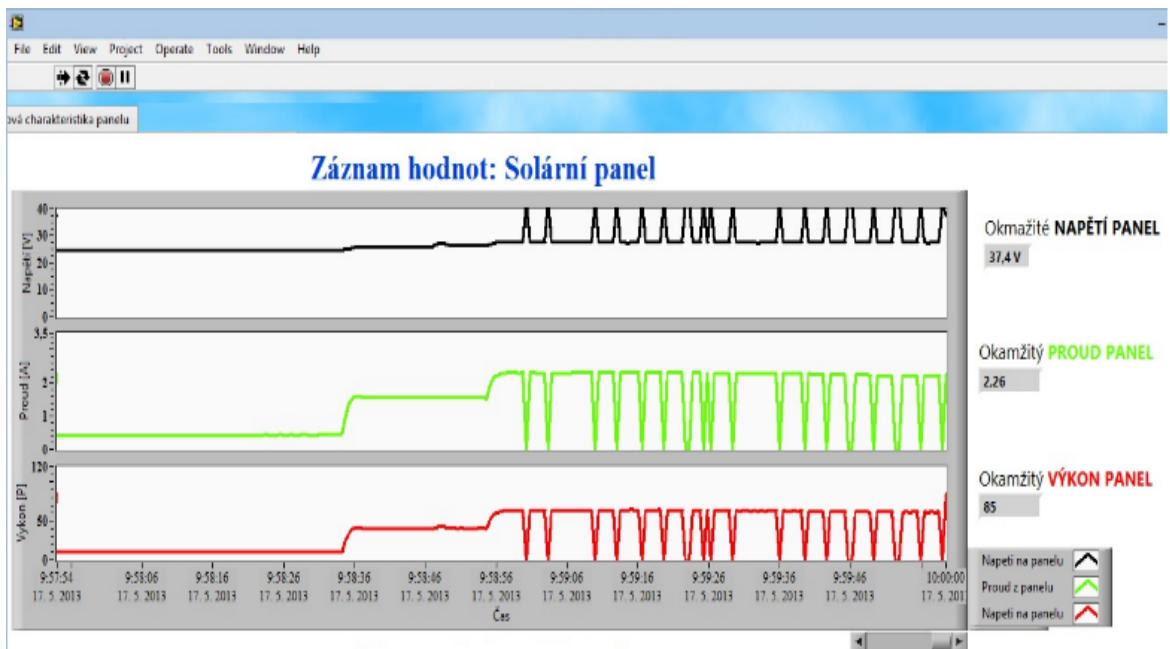


Obr. 52: Nastavování napětí na analogového výstupu

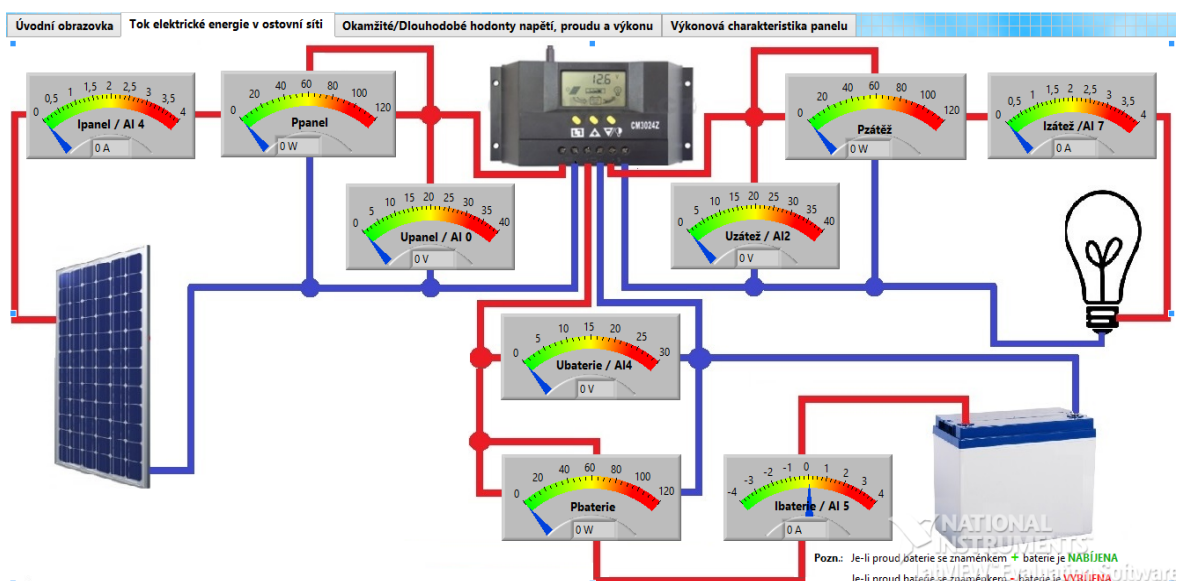
Hlavním částí je While Loop smyčka s názvem Voltage Ramp. V této části je postupně nastavována hodnota výstupního napětí od 0 do 3,5V. Horní hranice výstupního napětí je volena dle maximálního proudu panelem. Jeden volt na analogovém výstupu by měl odpovídat přibližně 1A tekoucího proudu z panelu. Smyčka je provedena jednou za 500ms. Každou půl vteřinu se provede zvětšení napětí na výstupu o určený krok, který je 0,01V. Uprostřed smyčky je funkce In Range and Coerce. Ta zjišťuje, zda je napětí v rozsahu hodnot, který byl určen v místě vytvoření virtuálního kanálu. Na vstup x je přivedena porovnávaná hodnota. Číslo je získáváno přes násobení. Na jeden jeho vstup je připojen iterační terminál, který zobrazuje počet vykonaných smyček. Číslo aktuální smyčky je vynásobeno s pevně daným krokem. O tuto hodnotu se zvětší napětí na výstupu za jeden cyklus. Tímto součinem je zajištěno postupné navyšování napětí. Aktuální napětí je zobrazováno na numerickém indikátoru a zároveň je zapisováno do datového vstupu DAQmx Write.vi. Načítání výstupního napětí je nutné na určité hodnotě zastavit. Přes funkci Greater or Equal je hodnota putující do analogového kanálu porovnávána s číslem 3,5 (horní hranice nastaveného napětí). Objeví-li se na výstupu násobení číslo 3,5 je smyčka zastavena. Přes logickou funkci Or je připojeno tlačítko Stop. Nejprve je přes funkci znegováno na False, protože podmínka smyčky je nastavena na Stop if is True. Při ukončení smyčky se zobrazí text pro funkci Two Button Dialog. TBD je v další smyčce While. V tomto While Loop-Dialog se nastaví digitální výstup na nulové napětí, tj. po stisknutí tlačítka stop a zobrazení dotazu funkce Two Button Dialog. Je-li ve v dialogovém okně vybrána možnost: „Ukončení celé měření výk.char.panelu“ objeví se na výstupu True a smyčka je ukončena. Poslední vnořenou smyčkou je While Loop-Button. Tato smyčka zajišťuje pozastavení smyčky pro generování napěťové rampy. Pokud by zde nebyla, zobrazovalo by se ihned po zapnutí programu dialogové okno z funkce Two Button Dialog. Všechny vstupy a výstupy DAQmx funkcí jsou přivedeny na DAQmx Stop Task.vi. Chybové hlášení Error jsou také vzájemně propojeny a do smyček jsou vedeny přes Shift Registry, podobně jako v hlavní smyčce programu.

4 OŽIVENÍ A OVĚŘENÍ FUNKČNOSTI PRACOVNÍHO MÍSTA

Po vytvoření a odzkoušení dílčích segmentů pracoviště následovalo propojení (dle schématu na Obr.16 v kapitole 2.4) všech částí do jednoho celku, s tím také souviselo ověření celkové funkčnosti. Vstupy a výstupy jednotlivých snímacích modulů byly připojeny na měřicí kartu. Po spuštění se program chová korektně dle zdrojového kódu. Hodnoty v pracovišti se pohybují v rozmezí hodnot, které určují vlastnosti jednotlivých prvků a nejsou viditelně zkresleny. Na Obr.53 je vidět část vytvořeného programu v chodu.

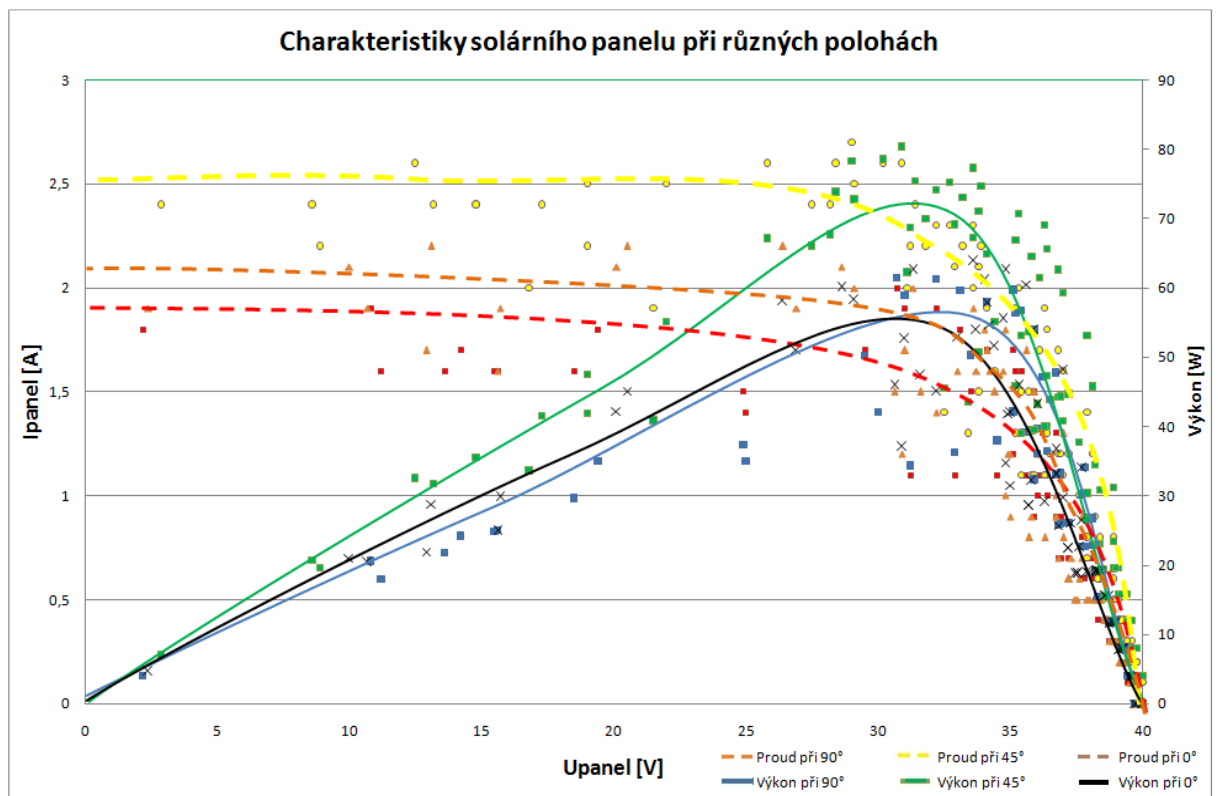


Obr. 53: Ověření funkčnosti záznamu hodnot do grafu



Obr. 54: Realizace toku elektrické energie v programu

Jedním bodem zadání je měření výkonové charakteristiky solárního panelu. Vlastnosti panelu byly ověřovány při jeho postupném zatěžování. V této situaci byla zaznamenávána hodnota napětí a proudu tekoucího z panelu do zátěže. Závislost těchto dvou veličin byla zakreslována do grafu. Zkušební měření probíhalo v pátek 17. 5. 2013 v 10:30 dopoledne za polojasného počasí. Panel byl namířen proti Slunci. Naměřené hodnoty byly sledovány při různých sklonech panelu vůči zemi. Zhotovený graf z naměřených hodnot je Obr.55.



Obr. 55: Graf s charakteristikami solárního panelu

V grafu jsou znázorněny dva druhy průběhů. Jedním je závislost napětí panelu na proudu panelem při zatěžování. Druhý průběh je vztah mezi dodávaným výkonem a napětím panelu. Měření probíhalo při třech polohách sklonu.

Čárkované průběhy ukazují, jak se mění napětí panelu při navyšování proudu. Ze třech měřených poloh byl největší proud naměřen při úhlu 45°. Proudů při polohách kolmo a rovnoběžně se zemí jsou podobné.

Při pohledu na charakteristiky výkonu je vidět stejný výsledek. Nejvyšší výkon dodával panel při úhlu natočení 45°. Zbylé dvě polohy jsou z hlediska výkonu srovnatelné.

Měření ukázalo, že nejlepší vlastnosti dosahuje panel při sklonu okolo 45° vůči vodorovné podložce. Tento závěr potvrdil skutečnost z kapitoly 1.3, kde je uváděno, že solární panely mají nejvyšší efektivitu při sklonu okolo 30°.

Další částí měření bylo zjistit, jakou účinnost má použitý regulátor zapojený v solárním pracovišti. Pomocí aplikace byly naměřeny následující hodnoty výkonů:

$$P_{\text{panel}} = 53,74\text{W}$$

$$P_{\text{baterie}} = 37,78\text{W}$$

$$P_{\text{zátěž}} = 15,3\text{W}$$

Obecně je účinnost dána následujícím vztahem.

$$\eta = \frac{P}{P_p} * 100 [\%; W, W] \quad (4.1)$$

Kde η je výsledná účinnost v procentech, P je výkon a P_p je příkon zařízení. Pro výpočet účinnosti regulátoru v laboratorním pracovišti je nutné zahrnout příkony vstupující do regulátoru a výkony z něj vystupující. Vzoreček pro výpočet účinnosti regulátoru v solárním pracovišti za daných podmínek je:

$$\eta_{\text{regulátoru}} = \left(1 - \frac{P_{\text{panel}} - P_{\text{baterie}} - P_{\text{zátěž}}}{P_{\text{panel}}} \right) * 100 [\%; W, W] \quad (4.2)$$

Po dosazení hodnot je účinnost regulátoru:

$$\eta_{\text{regulátoru}} = \left(1 - \frac{53,74 - 37,78 - 15,3}{53,74} \right) * 100 = 98,8\% \quad (4.3)$$



Z katalogového listu regulátoru je možné vyčíst jeho vlastní spotřebu proudu, který je nejvýše 30mA. Při systémovém napětí regulátoru 24V je maximální ztrátový výkon vypočten na 0,72W. Je-li odečten od výkonu panelu, výkon baterie a zátěže je získán ztrátový výkon regulátoru, který je 0,66W. Tento výkon je menší než maximální ztrátový výkon. Solární regulátor napětí pracuje v této konkrétní naměřené situaci se ztrátami 1,2% a nespotřebovává na svůj chod více jak 30mA.

4.1 Návod k obsluhování modelového pracoviště

Před uvedením pracoviště do provozu je nezbytné nejprve zajistit napájení obslužné elektroniky. Aby nebyly ovlivněny vlastnosti měření, je obslužná elektronika napájena z externího zdroje napětí. Z modulu kde je měřen proud baterie, jsou vyvedeny 3 barevně odlišené vodiče. Modrý vodič je připojen na 12V zdroj a to ke svorce mínus a červený ke svorce plusové. Bílý vodič je společná zem pro oba zdroje. Dále je zde větráček chladící výkonovou zátěž, který se po zapnutí napájení automaticky roztočí. Následuje připojení

regulátoru na svorky baterie, červený vodič na + a modrý na -. Je-li akumulátor připojen, regulátor se stává aktivním. Na displeji se zobrazí výchozí menu. Vlevo od regulátoru jsou dvě svorky pro připojení solárního panelu. Po připojení panelu se na regulátoru rozblíká na několik vteřin ikonka oznamující inicializaci. Vpravo od regulátoru se nachází poslední dvě svorky sloužící pro připojení spotřebiče. Hardwarová část pracoviště je uvedena do chodu po připojení měřicí karty USB 6009 k počítači přes rozhraní k USB.

Pomocí programu LabView následuje otevření obslužného softwaru s názvem *Pracoviště se solárním panelem.vi* nacházející se v příloze 1. Zobrazí okno čelního panelu (Front Panel). V aplikaci je jedna velká karta se čtyřmi záložkami. Nejdříve je v první záložce vybrán textový soubor, do kterého budou zapsány naměřené hodnoty. Soubor s příponou .txt lze vytvořit na libovolném místě v počítači. Klikneme-li na ikonu složky, otevře se prohlížeč složek v PC a v něm se vybere cesta k textovému souboru. Tímto krokem je splněna podmínka pro bezchybné spuštění programu.

V levé horní části čelního panelu se nachází ikona Run Continuously , pomocí které je celý program spuštěn. Přes tlačítko Abrot Execution  je program ukončen .

V druhé záložce s označením „Tok elektrické energie v ostrovní síti“ nalezneme schéma zapojení pracoviště. V obrázku jsou zakomponovány grafické indikátory z jednotlivých míst měření. V této části programu jsou názorně zobrazeny toky elektrické energie v pracovišti.

Třetí záložka obsahuje záznam měřených hodnot do grafické interpretace. Jsou zde tři grafy, z nichž každý zobrazuje jednu část obvodu. Jednotlivé grafy jsou dále rozděleny do tří samostatných průběhů, ve kterých jsou zaznamenávána měřená data. Pod grafy je posuvník, pomocí kterého je možno procházet podle času historii průběhu. V pravé části jsou numerické ukazatele, zobrazující aktuální hodnoty v době měření.

Přes poslední záložku je prováděno měření volt-ampérové charakteristiky panelu. Nacházejí se zde dva ukazatele hodnot, graf a tři tlačítka. Ve výchozím stavu není graf zobrazen. Měření je spuštěno stisknutím přepínacího tlačítka. Obvod s relé je aktivován a je připojena výkonová zátěž. Připnutí či odepnutí zátěže je indikováno pomocí tlačítka, které je pro každou polohu jinak barevně označeno. Po uvedení tlačítka do polohy ON se vpravo vyobrazí graf XY. Druhým tlačítkem záložky jsou mazána předchozí naměřená data (je-li program spuštěn, graf neustále zaznamenává veškeré hodnoty.) Po této operaci je program připraven zobrazovat VA charakteristiku. Stisknutím tlačítka Start/Stop se začne postupně navyšovat napětí analogového výstupu, čímž je řízena zátěž pro panel. Opětovným

stisknutím tlačítka se zobrazí dialogové okno, nabízející dvě možnosti. Po volbě první z nich je vynulováno napětí na výstupech karty, následným stisknutím buttonu Start/Stop je možno celý proces opakovat. Při výběru druhé volby je celé měření charakteristiky panelu ukončeno. Její opětovné aktivování je možné až při následném spuštění celé aplikace. Na číselném indikátoru můžeme sledovat aktuální napětí na výstupu karty. Konečnou hodnotou je 3,5V. Při jednom cyklu je napětí navýšeno o 0,01V. Za jednu vteřinu proběhnou 2 cykly. Výsledná charakteristika panelu je vyhodnocena z 350 naměřených bodů. Měření by nemělo trvat déle než 180 vteřin. Průběh zatěžovací charakteristiky je v reálném čase zaznamenáván do grafu. Po dokončení měření je možné kliknout pravým tlačítkem myši na tento graf, v nabídce vybrat položku Export a následně Export Data To Excel. Výběrem této volby lze naměřená data rychle a jednoduše přenést do tabulkového procesoru, odkud mohou být dále zpracovávána.

4.2 Návrh laboratorní úlohy pro solární pracoviště

Poslední částí práce je navrhnout vzorové zadání laboratorní úlohy pro modelové pracoviště. Tato úloha by mohla sloužit jako podmět pro laboratorní cvičení v předmětu Elektrické měření, který je vyučován v druhém ročník bakalářského studia.

Laboratorní pracoviště se solárním panelem

Popis:

Proveďte měření na modelovém pracovišti se solárním panelem.

Úkoly:

- 1) Seznamte s rozvržením pracoviště a zjistěte parametry jednotlivých částí.
- 2) Uveďte pracoviště do provozu
- 3) Ověřte parametry solárního panelu, regulátoru napětí a baterie
- 4) Zjistěte jaký dopad má natočení panelu na dodávaný výkon do zátěže
- 5) Otestujte vliv jmenovitého napětí panelu při různých polohách vůči Slunci
- 6) V programu zobrazte VA charakteristiku fotovoltaického panelu
- 7) Vypočtěte účinnost solárního regulátoru

Postup měření:

Po seznámení se s měřenou problematikou připojte napájení $\pm 12\text{V}$ na vyvedené vodiče. Červený vodič spojte s $+12\text{V}$, modrý s -12V a bílý připojte na společnou zem obou zdrojů. Připojte příslušné vodiče na svorky baterie (-modrá, + červená). Stejný postup aplikujte pro fotovoltaický panel a jeho svorky. Na výstup regulátoru připojte spotřebič (například odporovou dekádu). Spojte měřicí kartu s počítačem. Obslužný software s názvem *Pracoviště se solárním panelem.vi* otevřete pomocí programu LabView. Uved'te aplikaci do chodu. V programu vyčtete jaké napětí má připojený solární panel, jaké je napětí na výstupu solárního regulátoru a jaká je hodnota napětí akumulátoru. Následně sledujte toky elektrické energie v ostrovní síti u všech situací ze zadání. Aplikujte natočení panelu v polohách od 0° do 90° pro úkoly 4 a 5. Z numerických indikátorů odčtete aktuální výkony ve všech měřených místech. Podle režimu baterie vypočtete dle jednoho z následujících vzorců okamžitou účinnost.

Vztah při nabíjení baterie:

$$\eta_{\text{regulátoru při } I_{\text{baterie}} > 0} = \left(1 - \frac{P_{\text{panel}} - P_{\text{baterie}} - P_{\text{zátěž}}}{P_{\text{panel}}} \right) * 100 [\%; W, W]$$

nebo vztah při vybíjení baterie:

$$\eta_{\text{regulátoru při } I_{\text{baterie}} < 0} = \left(1 - \frac{P_{\text{panel}} + P_{\text{baterie}} - P_{\text{zátěž}}}{P_{\text{panel}} + P_{\text{baterie}}} \right) * 100 [\%; W, W]$$

Dále dopočítejte, jaký výkon pro svůj chod spotřebovává regulátor. Pomocí programu zobrazte V-A charakteristiku fotovoltaického panelu a srovnajte ji s V-A charakteristikou ideální zdroje napětí. V závěru zhodnoťte naměřené výsledky.

Použité přístroje:

Závěr:

5 ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo navrhnout modelové pracoviště se solárním panelem pro potřeby výuky na katedře KEEZ.

Požadavky na jednotlivé měření v obvodu jsou uvedeny v zadání práce. Po seznámení se s jednotlivými prvky v obvodu a jejich katalogovými parametry následoval návrh dílčích částí pracoviště. Nejprve byla navrhována první část programu v hrubém provedení. Pro testování jednotlivých analogových vstupů byl použit externí zdroj napájení. Po jejich zprovoznění bylo třeba vymyslet, jak vyhodnocovat průběh napětí vyšší než 10V, což dané vlastnosti měřicí karty neumožňují. Napětí pro vstup karty bylo sníženo na vhodnou hodnotu pomocí zapojení „dělič napětí“. Upravené napětí je v programu vynásobeno konstantou děliče a tím je získána skutečná hodnota v obvodu.

Návrh hardwarové části pro měření proudu byl o něco obtížnější. Na vstupy měřicí karty USB 6009 může být přiváděno pouze napětí, a proto musel být navrhnout modul pro měření proudu pomocí napětí. Do místa měření je vložen rezistor s velmi malým odporem se zvolenou hodnotou. Proud přes něj protékající vytvoří nepatrný úbytek napětí. Na rozdílový zesilovač jsou přivedeny hodnoty napětí z obou konců snímacího odporu. Zesilovač rozdíl napětí zesílí na hodnotu, která je dobře měřitelná vstupem karty. Z tohoto úbytku napětí a odporu je v programu dopočten skutečný proud v obvodu.

Pro připojování zátěže je použito relé. Má-li být pracoviště ovládáno kompletně z vytvořené aplikace, je nutno řídit jeho spínání přes měřicí kartu. Je k tomu využíván digitální výstup, který aktivuje relé přes tranzistor řízený napětím.

Největší vyrobenou hardwarovou částí z hlediska prostoru, je programovatelná zátěž. Její funkcí je simulovat měnící se odpor od 0 do nekonečna, tj. od nulového proudu panelu po maximální (zkratový). Zátěž je řízena napětím z analogového výstupu. Z karty je přivedeno napětí na operační zesilovač. Z jeho výstupu je řízen bazový proud tranzistoru a ten určuje otevírání hlavních výkonových tranzistorů. Na těchto tranzistorech je spotřebovávána většina výkonu panelu. Výkon na zátěži přesahuje 100W. Celá zátěž je umístěna na chladiči a je chlazená větráčkem, protože se celý obvod značně zahřívá.

Po zprovoznění všech dílčích částí následovalo ověření chodu celého pracoviště. Po spuštění bylo v programu zjištěno z grafu, že panel se při nabíjení baterie v krátkých časových úsecích odpojuje a připojuje, tzn., že napětí panelu v určitých okamžicích vzroste na hodnotu na prázdno a v tomto okamžiku není dodáván panelem žádný proud. Na baterii je průběh podobný. Konkrétní situaci je možno vidět v Obr 53. v kapitole 4. Při seznámení se

s katalogovým listem regulátoru byl tento jev vysvětlen. Uvádí se zde, že baterie jsou dobíjeny pomocí pulzně šířkové modulace. Regulátor nabíjí akumulátor v určitých pulzech a stejným způsobem je odebírán proud z panelu.

Poslední kontrolou byla voltampérová a výkonná charakteristika panelu. Měření probíhalo při různých sklonech a bylo vyobrazeno do grafu. na Obr.55. V grafu byla zobrazena naměřená data, na kterých je vidět velký rozptyl mezi jednotlivými hodnotami. Pokud bychom body v grafu spojily, výsledek by byl nepřehledný a nepříliš pěkný. Pro lepší čitelnost byla spojnice bodů v grafu dokreslena ručně pomocí křivky se zachováním trendu průběhu. Porovnání výsledků je uvedeno v kapitole 4.

Zadání bakalářské práce bylo splněno, bylo vytvořeno pracoviště se solárním panelem a ověřena jeho funkčnost.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Solární energie: Solární (fotovoltaické) články. [online]. 2006 [cit. 2013-04-20].
Dostupné z: <http://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k32.htm>
- [2] Fotovoltaický článek: Historie. [online]. 8.3.2013 [cit. 2013-04-20].
Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Fotovoltaický_článek
- [3] Czech solar: Technologie-a-vyvoj-panelu. [online]. [cit. 2013-04-20].
Dostupné z: <http://www.czechsolar.cz/fotovoltaika/technologie-a-vyvoj-panelu/>
- [4] Česká agentura pro obnovitelné zdroje. Fotovoltaika [online]. [cit. 2013-04-20].
Dostupné z: <http://www.czrea.org/cs/druhy-oze/fotovoltaika#treti>
- [5] SolarniNovinky.cz: Tenkovrstvé panely druhé generace. [online]. 16.4.2010
[cit. 2013- 4 -20]. Dostupné z: <http://www.czechsolar.cz/fotovoltaika/technologie-a-vyvoj-panelu/>
- [6] Aselektro: FOTOVOLTAIKA. [online]. [cit. 2013-04-20].
Dostupné z: <http://www.aselektro.cz/fotovoltaika1.htm>
- [7] Účinnost solárních článků až 70 procent?. VRECKOVÁ, Helena. VTM.E15 [online].
11. 3. 2012 [cit. 2013-04-20].
Dostupné z: <http://vtm.e15.cz/ucinnost-solarnich-clanku-az-70-procent>
- [8] Vývoj účinnosti fotovoltaických panelů. [online]. 12.7.2010 [cit. 2013-04-20].
Dostupné z: <http://fyzmatik.pise.cz/303-vyvoj-ucinnosti-fotovoltaickych-panelu.html>
- [9] Solareni: Systémy připojené na síť. [online]. [cit. 2013-04-21].
Dostupné z: <http://www.solareni.cz/slunecni-elektřarny/typy-instalaci/fve-pripojene-na-sit/>
- [10] Solareni: Ostrovní systémy. [online]. [cit. 2013-04-21].
Dostupné z: <http://www.solareni.cz/slunecni-elektřarny/typy-instalaci/off-grid-ostrovní-system/>
- [11] Solární moduly: Solární regulátor a MPPT měnič. [online]. [cit. 2013-04-21].
Dostupné z: <http://www.solarnimoduly.cz/jaky-solarni-regulator.html>
- [12] Deramax.cz: Solární regulátor JUTA CM3024Z 20A s LCD displejem. Pro 12V i 24V
fotovoltaické panely. [online]. [cit. 2013-04-27].
Dostupné z: <http://www.deramax.cz/solarni-regulator-juta-cm3024z-20a-s-lcd-displejem-pro-12v-i-24v-fotovoltaicke-panely/d-72376/>
- [13] VLACH, Jaroslav, Josef HAVLÍČEK a Martin VLACH. Začínáme s LabVIEW. 1. vyd.
Ilustrace Viktorie Vlachová. Praha: BEN - technická literatura, 2008, 247 s. ISBN 978-80-7300-245-9.

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Štítkové údaje solárního panelu.....	25
Tabulka 2: Parametry baterie	27

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Princip fotovoltaického článku [1]	11
Obr. 2: Fotovoltaický panel první generace [3].....	12
Obr. 3: Fotovoltaický panel 2.generace [5]	12
Obr. 4: Monokrystalický a polykrystalický křemíkový článek [6].....	15
Obr. 5: Vývoj účinnosti solárních panelů [8]	16
Obr. 6: Vliv orientace panelu na účinnost [9].....	17
Obr. 7: Konstrukce solárního panelu [4]	18
Obr. 8: On-grid systém pro vlastní spotřebu elektrické sítě [9].....	20
Obr. 9: Systém pro výhradní prodej elektrické energie do distribuční sítě [9].....	20
Obr. 10: Ostrovní systém s přímým napájením [10]	21
Obr. 11: Ostrovní systém s akumulací energie 12V/24V [10]	22
Obr. 12: Ostrovní systém s akumulací energie 12V/230V [10]	22
Obr. 13: Hybridní ostrovní solární systém [10].....	23
Obr. 14: Blokové schéma pracoviště bez měření	24
Obr. 15: Napěťový regulátor Juta CM3024Z [12].....	26
Obr. 16: Blokové schéma pracoviště obsahující měření.....	28
Obr. 17: Vnitřní schéma USB 6009 [13]	29
Obr. 18: Zapojení analogového vstupu [13]	30
Obr. 19: Analogový výstup [13]	30
Obr. 20: Schéma hardwarové korekce pro měření napětí.....	31
Obr. 21: Deska plošného spoje a výsledný vyrobený napěťový modul	32
Obr. 22 : Ověření závislosti U_{in} na U_{out} u napěťového modulu.....	32
Obr. 23: Schéma zapojení proudového modulu.....	33
Obr. 24: Deska tištěného spoje pro měření proudu spolu.....	35
Obr. 25: Vyrobený proudový modul.....	35
Obr. 26: Ověření závislosti proudu obvodu na výstupním napětí u proudového modulu	36

Obr. 27: Zdroj proudu řízený napětím	37
Obr. 28: Schéma zapojení pro DPS programovatelné odporové zátěže	37
Obr. 29: Schéma propojení tranzistorů KD602 na chladiči	39
Obr. 30: Deska plošného spoje pro programovatelnou odporovou zátěž	39
Obr. 31: Schéma zapojení modulu s relé	40
Obr. 32: DPS a vyrobený modul pro připínání programovatelné odporové zátěže	41
Obr. 33: Blokové schéma zdrojového kódu programu	42
Obr. 34: Schéma hlavní smyčky programu LabView	43
Obr. 35: Ovládání analogového kanálu měřicí karty v LabView	44
Obr. 36: Řízení digitálního výstupu měřicí karty v LabView	44
Obr. 37: DAQmx Create Virtual channel	45
Obr. 38: Vytvoření virtuálních kanálů pro měřicí kartu	45
Obr. 39: Funkce DAQmx Read.vi	46
Obr. 40: Převod dat DAQmx Read.vi na jednotlivé průběhy	46
Obr. 41: Získání numerické hodnoty z Waveform průběhu	48
Obr. 42 SubVI pro získání nulové hodnoty	48
Obr. 43: Dlouhodobý záznam hodnot	49
Obr. 44: XY graf zobrazující VA char. panelu	49
Obr. 45: Konverze dat do formátu Pole	50
Obr. 46: Popis funkce Write To Spreadsheet File.vi	50
Obr. 47: Získání časového údaje pro záznam do externího souboru	50
Obr. 48: Vytvoření hlavičky v externím souboru	51
Obr. 49. Výsledná podoba zapsaných dat v textovém souboru	51
Obr. 50: Ovládání digitálního výstupu	52
Obr. 52: Nastavování napětí na analogového výstupu	53
Obr. 51: Vytoření virtuálního analogového kanálu	53
Obr. 53: Ověření funkčnosti záznamu hodnot do grafu	55
Obr. 54: Realizace toku elektrické energie v programu	55
Obr. 55: Graf s charakteristikami solárního panelu	56

SEZNAM ZKRATEK

USB	Universal Serial Bus
AI	Analog Input – analogový vstup
AO	Analog Output – analogový výstup
PC	Personal computer – osobní počítač
PGA	Programmable Gain Amplifier
DPS	Deska plošného spoje
OZ	Operační zesilovač
LV	LabView
VI	Virtual Instrument – virtuální přístroj
GWC	Get Waveform componnet
TBD	Two Button Dialog

SEZNAM PŘÍLOH NA CD

Příloha 1 – Vytvořený obslužný program

Příloha 2 – Naměření převodních konstant pro HW měřící moduly

Příloha 3 – Fotografická dokumentace

Příloha 4 – Vybrané katalogové listy a materiály výrobce: měřící karta, solární regulátor a baterie