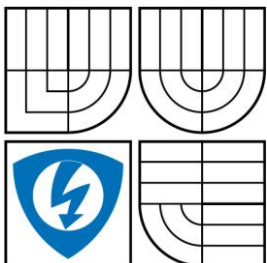


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV ELEKTROTECHNOLOGIE

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC TECHNOLOGY

VÝVOJ OVLÁDACÍHO PROGRAMOVÉHO PROSTŘEDÍ PRO AUTONOMNÍ FOTOVOLTAICKÝ SYSTÉM

DEVELOPMENT CONTROL PROGRAMME FOR AUTONOMOUS FOTOVOLTAIC SYSTÉM

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. STANISLAV JANÁČ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. PETR BAČA, Ph.D.

BRNO 2009

Licenční smlouva poskytovaná k výkonu práva užít školní dílo

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Bc. Stanislav Janáč
Bytem: Vsetín, Potůčky 1677, 755 01
Narozen/a (datum a místo): 23. 8. 1983, Nový Jičín

(dále jen „autor“)

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
se sídlem Údolní 244/53, 602 00 Brno
jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:
Prof. Ing. Jiří Kazelle, CSc.
(dále jen „nabyvatel“)

Čl. 1

Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

- disertační práce
 - diplomová práce
 - bakalářská práce
 - jiná práce, jejíž druh je specifikován jako
- (dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: Vývoj ovládacího programového prostředí pro autonomní
fotovoltaický systém

Vedoucí/ školitel VŠKP: doc. Ing. Petr Bača, Ph.D.

Ústav: Ústav elektrotechnologie

Datum obhajoby VŠKP:

VŠKP odevzdal autor nabyvateli v:

- tištěné formě – počet exemplářů 2
- elektronické formě – počet exemplářů 2

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.
3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

Článek 2

Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
 - ihned po uzavření této smlouvy
 - 1 rok po uzavření této smlouvy
 - 3 roky po uzavření této smlouvy
 - 5 let po uzavření této smlouvy
 - 10 let po uzavření této smlouvy(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/ 1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

Článek 3

Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne: 29. 5. 2009

.....
Nabyvatel

.....
Autor

Abstrakt:

Práce se zabývá realizací systému, který umožní testovat vliv šesti různých režimů na životnost akumulátoru. Systém bude spojen s počítačem, který bude provádět měření proudu a napětí a přepínat mezi nabíjecím a vybíjecím režimem. Měřené veličiny se v určitých časových intervalech budou zaznamenávat do paměti počítače. Po určitém čase budou tyto data vyhodnocena a bude stanoven nejvýhodnější provozní režim.

Abstract:

The project considers realization system, which allows us to test six different operation modes on lifetime of accumulators. The system will be connected to computer that will perform measurement of current and voltage and switch between charge and discharge modes. The measured values will be recorded in certain time intervals to computer memory. After some time these measured data will be analyzed and the most optimal operational mode will be set.

Klíčová slova:

Solární článek, fotovoltaický článek, autonomní systém, nabíječ, vybíječ, olovený akumulátor

Keywords:

Solar cell, photovoltaic cell, autonomous system, charger, discharger, lead-acid accumulator

Bibliografická citace díla:

JANÁČ, S. *Vývoj ovládacího programového prostředí pro autonomní fotovoltaický systém*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009. 66 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Petr Bača, Ph.D.

Prohlášení autora o původnosti díla:

Prohlašuji, že jsem tuto vysokoškolskou kvalifikační práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce, s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne 29. 5. 2009

.....

Poděkování:

Děkuji vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Petru Bačovi, Ph.D za metodické a cíleně orientované vedení při plnění úkolů realizovaných v návaznosti na diplomovou práci. Dále děkuji Jaroslavu Koňáříkovi za pomoc při jazykové korekci diplomové práce.

OBSAH

ÚVOD.....	12
PŘEHLED FOTOVOLTAICKÝCH ČLÁNKŮ	12
PRINCIP FOTOVOLTAICKÝCH ČLÁNKŮ	13
ZAPOUZDŘENÍ SOLÁRNÍHO ČLÁNKU.....	15
ZATĚŽOVACÍ A VÝKONOVÁ CHARAKTERISTIKA FOTOVOLTAICKÉHO ČLÁNKU	16
PŘIPOJENÍ SOLÁRNÍCH ČLÁNKŮ	19
<i>Solární systém</i>	<i>19</i>
<i>Měniče napětí</i>	<i>21</i>
<i>Regulátory nabíjení.....</i>	<i>22</i>
<i>Akumulátory</i>	<i>24</i>
MONITOROVÁNÍ STAVU AKUMULÁTOROVÝCH BATERÍ	26
MONITOROVANÉ VELIČINY	27
<i>Napětí [V]:</i>	<i>27</i>
<i>Proud [A]:</i>	<i>27</i>
<i>Výkon [W]:.....</i>	<i>27</i>
<i>Čas [h]:</i>	<i>27</i>
<i>Náboj [Ah]:</i>	<i>27</i>
<i>Energie [kWh]:.....</i>	<i>28</i>
STANOVENÍ KAPACITY MĚŘENÍM PROŠLÉHO NÁBOJE.....	28
STANOVENÍ KAPACITY MĚŘENÍM NAPĚTÍ A KOREKCI VNITŘNÍHO ODPORU	29
MONITOROVACÍ ZAŘÍZENÍ.....	31
<i>Parametry multifunkční měřicí karty PCI-1711</i>	<i>32</i>
<i>Připojovací terminál PCLD-8710.....</i>	<i>33</i>
EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST.....	35
VÝKONOVÉ ZATĚŽOVACÍ CHARAKTERISTIKY POUŽITÝCH FOTOVOLTAICKÝCH PANELŮ	35
ZAPOJENÍ AUTONOMNÍHO SOLÁRNÍHO SYSTÉMU	40
REŽIMY PROVOZU	42
OVLÁDACÍ PROGRAM – FOTOVOLTAIKA.....	43
<i>Popis ovládacího programu Fotovoltaika:</i>	<i>43</i>
<i>Rozhodování o režimu nabíjení / vybíjení:</i>	<i>44</i>
<i>Časování prodlevy mezi měřeními</i>	<i>45</i>

<i>Blok nabíjení.....</i>	<i>47</i>
<i>Ovládání multiplexu spínacích reléových karet v režimu nabíjení.....</i>	<i>48</i>
<i>Vyhodnocování průběhu nabíjení jednotlivých akumulátorů.....</i>	<i>50</i>
<i>Ukončení nabíjení podle náboje dodaného do akumulátoru</i>	<i>53</i>
<i>Blok vybíjení</i>	<i>56</i>
<i>Ovládání multiplexu spínacích reléových karet v režimu vybíjení</i>	<i>57</i>
<i>Vyhodnocování průběhu vybíjení jednotlivých akumulátorů</i>	<i>59</i>
<i>Vyhodnocování průběhu vybíjení podle zůstatkového náboje v akumulátoru.....</i>	<i>60</i>
<i>Vyhodnocování průběhu vybíjení podle napětí akumulátoru</i>	<i>61</i>
<i>Ochrana proti hlubokému vybití</i>	<i>61</i>
<i>Nastavení vybíjecího proudu.....</i>	<i>62</i>
<i>Režim simulace programu.....</i>	<i>62</i>
<i>MĚŘÍCÍ PROGRAM - KAPACITA.....</i>	<i>63</i>
ZÁVĚR.....	64
POUŽITÁ LITERATURA.....	66

SEZNAM OBRÁZKŮ:

OBR. 1.	SLUNEČNÍ SPEKTRUM PO PRŮCHODU ATMOSFÉROU POD ÚHLEM 48° OD NORMÁLY (TZV. SPEKTRUM AM1,5). SOUČASNĚ JE VYZNAČENA ABSORPČNÍ HRANA KRYSALICKÉHO KŘEMÍKU.....	13
OBR. 2.	PÁSOVÉ SCHÉMA P-N PŘECHODU KRYSALICKÉHO KŘEMÍKU ZA OSVĚTLENÍ.....	15
OBR. 3.	SCHEMATICKÉ ZNÁZORNĚNÍ PRINCIPU FOTOVOLTAICKÉHO ČLÁNKU	15
OBR. 4.	TECHNOLOGIE POUZDŘENÍ [1]	16
OBR. 5.	ZATĚŽOVACÍ A VÝKONOVÁ CHARAKTERISTIKA FV ČLÁNKU [5].	17
OBR. 6.	Vliv zvýšení teploty na zatěžovací charakteristiku [5].	18
OBR. 7.	ÚPLNÝ SOLÁRNÍ SYSTÉM [3]	19
OBR. 8.	SOLÁRNÍ ČLÁNKY, MODULY, PANELE A POLE [3]	20
OBR. 9.	TYPOLOGIE GRID-ON [1]	20
OBR. 10.	TYPOLOGIE GRID-OFF [1].....	21
OBR. 11.	HYBRIDNÍ TYPOLOGIE GRID-OFF [1]	21
OBR. 12.	NEJEDNODUŠŠÍ PROPOJENÍ AKUMULÁTORU SE SOLÁRNÍM PANEMEM	23
OBR. 13.	ZAPOJENÍ REGULÁTORU NABÍJENÍ AKUMULÁTORU SE SOLÁRNÍM PANEMEM	24
OBR. 14.	ZATĚŽOVACÍ CHARAKTERISTIKA NELINEÁRNÍHO ZDROJE (OLOVĚNÉHO AKUMULÁTORU)	29
OBR. 15.	NÁHRADNÍ ZAPOJENÍ ZDROJE (OLOVĚNÉHO AKUMULÁTORU) S VNITŘNÍM ODPOREM	30
OBR. 16.	ZÁVISLOST NAPĚTÍ AKUMULÁTORU NA VNITŘNÍM ODPORU [2].....	31
OBR. 17.	ZAPOJENÍ SINGLE-ENDED (SPOLEČNÁ ZEM) ANALOGOVÉHO VSTUPU.....	33
OBR. 18.	PŘÍMÉ PŘIPOJENÍ AI (TOVÁRNÍ NASTAVENÍ) RAN = 0 Ω, RBN = NEZAPOJEN, CN = NEZAPOJEN	34
OBR. 19.	ZAPOJENÍ DOLNÍ PROPUSTI 1,6 kHz AI RAN = 10 kΩ, RBN = NEZAPOJEN, CN = 0,01 MF	34
OBR. 20.	ZAPOJENÍ DĚLIČE NAPĚTÍ 10:1 RAN = 9 kΩ, RBN = 1kΩ, CN = NEZAPOJEN	34
OBR. 21.	ZAPOJENÍ PŘEVODNÍKU I/U, 4 ~ 20 MA NA 1 ~ 5 V, RAN = 0 Ω, RBN = 250 Ω, CN = NEZAPOJEN.....	34
OBR. 22.	SCHÉMA ZAPOJENÍ PRO MĚŘENÍ ZATĚŽOVACÍ CHARAKTERISTIKY FOTOVOLTAICKÉHO PANELU	36
OBR. 23.	INTENZITA DOPADAJÍCÍHO SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ DNE 9. 4. 2008 V BRNĚ [5]	36
OBR. 24.	AV CHARAKTERISTIKY FOTOVOLTAICKÝCH PANELŮ	38
OBR. 25.	VÝKONOVÉ CHARAKTERISTIKY FOTOVOLTAICKÝCH PANELŮ.....	39
OBR. 26.	ZAPOJENÍ SOLÁRNÍHO SYSTÉMU A MONITOROVACÍHO ZAŘÍZENÍ.....	40
OBR. 27.	BLOKOVÉ SCHÉMA SYSTÉMU	41
OBR. 28.	SMYČKA WHILE S TLAČÍTKEM STOP A INKREMENTÁLNÍM ČÍTAČEM CYKLŮ.....	44
OBR. 29.	BLOK ROZHODOVÁNÍ O REŽIMU NABÍJENÍ / VYBÍJENÍ	44
OBR. 30.	BLOK ROZHODOVÁNÍ O REŽIMU NABÍJENÍ / VYBÍJENÍ NA FRONT PANELU APLIKACE.....	45
OBR. 31.	ČASOVÁNÍ PRODLEVY MEZI MĚŘENÍMI (PRODLEVA VYPNUTA, PRODLEVA ZAPNUTA)	46
OBR. 32.	ČASOVÁNÍ PRODLEVY MEZI MĚŘENÍMI NA FRONT PANELU APLIKACE	46

OBR. 33.	SMYČKA CASE STRUCTURE SE ZOBRAZENÍM ROZHODOVACÍ PODMÍNKY TRUE / FALSE	47
OBR. 34.	NULOVÁNÍ PROMĚNNÝCH ODEBRÁNO, NASTAVENÍ PROMĚNNÝCH VYBITO NA FALSE	48
OBR. 35.	PRVEK FLAT SEQUENCE STRUCTURE	48
OBR. 36.	OVLÁDÁNÍ MULTIPLEXU SPÍNACÍCH RELÉOVÝCH KARET V REŽIMU NABÍJENÍ	50
OBR. 37.	VYHODNOCOvacÍ BLOK PRŮBĚHU NABÍJENÍ	51
OBR. 38.	FUNKCE AND PRO VSTUPNÍ SIGNÁL NABÍJENÍ A PROMĚNNOU NABITO	51
OBR. 39.	MĚŘÍCÍ ČÁST VYHODNOCOvacÍHO BLOKU PRŮBĚHU NABÍJENÍ.....	52
OBR. 40.	ROZHODOVACÍ ČÁST VYHODNOCOvacÍHO BLOKU PRŮBĚHU NABÍJENÍ, UKONČENÍ NABÍJENÍ PŘI DOSAŽENÍ NASTAVENÉHO DODANÉHO NÁBOJE.....	53
OBR. 41.	ROZHODOVACÍ ČÁST VYHODNOCOvacÍHO BLOKU PRŮBĚHU NABÍJENÍ, NABÍJENÍ NA KONSTANTNÍ NAPĚTÍ.....	54
OBR. 42.	FRONT PANEL JEDNOHO NABÍJECÍHO SYSTÉMU.....	54
OBR. 43.	ULOŽENÍ DAT DO SOUBORU	55
OBR. 44.	ULOŽENÍ AKTUÁLNÍHO STAVU NABITÍ VŠECH AKUMULÁTORŮ, PO UKONČENÍ NABÍJENÍ.....	57
OBR. 45.	FRONT PANEL NASTAVENÍ VYBÍJECÍCH PROUDŮ	57
OBR. 47.	FRONT PANEL VYHODNOCOvacÍHO BLOKU.....	59
OBR. 48.	BLOK VYHODNOCOVÁNÍ PRŮBĚHU VYBÍJENÍ.....	59
OBR. 49.	VYHODNOCOVÁNÍ PRŮBĚHU VYBÍJENÍ PODLE ZŮSTATKOVÉHO NÁBOJE V AKUMULÁTORU.....	60
OBR. 50.	ZOBRAZENÍ AKTUÁLNÍCH ZŮSTATKŮ NÁBOJE V AKUMULÁTORECH	60
OBR. 51.	VYHODNOCOVÁNÍ PRŮBĚHU VYBÍJENÍ PODLE NAPĚTÍ AKUMULÁTORU	61
OBR. 52.	OCHRANA PROTI HLUBOKÉMU VYBITÍ.....	61
OBR. 53.	NASTAVENÍ VYBÍJECÍHO PROUDU	62

SEZNAM PŘÍLOH:

- PŘÍLOHA 1. FRONT PANEL PROGRAMU *FOTOVOLTAIKA*, ZÁLOŽKA NABÍJENÍ
- PŘÍLOHA 2. FRONT PANEL PROGRAMU *FOTOVOLTAIKA*, ZÁLOŽKA VYBÍJENÍ
- PŘÍLOHA 3. FRONT PANEL PROGRAMU *FOTOVOLTAIKA*, ZÁLOŽKA NASTAVENÍ
- PŘÍLOHA 4. NÁHLED NA DIAGRAM PROGRAMU *FOTOVOLTAIKA*, VYBÍJENÍ
- PŘÍLOHA 5. NÁHLED NA DIAGRAM PROGRAMU *FOTOVOLTAIKA*, NABÍJENÍ
- PŘÍLOHA 6. FRONT PANEL PROGRAMU *KAPACITA*
- PŘÍLOHA 7. GRAFICKÉ VYHODNOCENÍ DAT Z MĚŘENÍ 10. 5. 2009, REŽIM NABÍJENÍ
- PŘÍLOHA 8. GRAFICKÉ VYHODNOCENÍ DAT Z MĚŘENÍ 10. 5. 2009, REŽIM VYBÍJENÍ
- PŘÍLOHA 9. GRAFICKÉ VYHODNOCENÍ DAT Z MĚŘENÍ KAPACITY, REŽIM VYBÍJENÍ 2

Úvod

Sluneční záření je nejdůležitější obnovitelný a přitom naprosto čistý zdroj energie, proto se problematice využití solární energie věnuje tak velká pozornost. Jako nejefektivnější přeměna energie slunečního záření na energii elektrickou, je považována přímá přeměna pomocí polovodičových fotovoltaických článků.

Fotovoltaické články byly řadu let zdokonalovány do dnešní podoby. Kvalitní fotovoltaické panely sestavené z článků na bázi monokrystalického křemíku dnes běžně dosahují účinnosti přeměny energie kolem 15%, nejkvalitnější až do 20%. Fotovoltaické články jsou dnes nejvíce rozšířeny právě na bázi křemíku (monokrystalické, polykrystalické i amorfní), neboť křemík má řadu výhod. Je relativně levný, snadno dostupný, není jedovatý a je nejvíce používaným a nejlépe prozkoumaným polovodičem. Šířka zakázaného pásu 1,1 eV rovněž vyhovuje. Dále se používají např. tenkovrstvé články na bázi CuInSe, CdSe, CdTe.

Přehled fotovoltaických článků

Fotovoltaické články lze třídit podle mnoha různých kategorií např. podle materiálu, ze kterého je vyroben, typu krystalu, účinnosti, generace, ceny atd..

Podle typu krystalu lze články rozdělit na:

- **Monokrystalické**
- **Polykrystalické**
- **Amorfní (tenkovrstvé)**

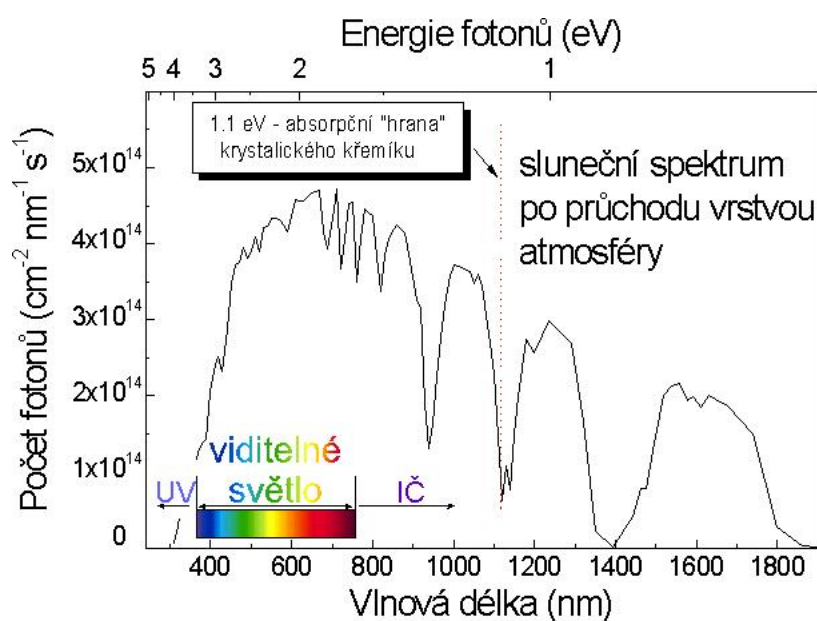
V poslední době lze pozorovat posun od monokrystalických solárních panelů k polykrystalickým. Patrně je tomu tak v důsledku nižší technologické i energetické náročnosti výroby polykrystalických fotovoltaických článků.

Tab. 1. Účinnosti různých typů solárních článků

Materiál a způsob zpracování	Účinnost v laboratorních podmínkách [%]	Účinnost v běžných podmínkách [%]
Monokrystalický křemík	~24	14-17
Polykrystalický křemík	~18	13-15
Amorfní křemík	~13	5-7

Princip fotovoltaických článků

Křemík není průhledný, absorbuje světlo o kratší vlnové délce než zhruba 1 μm (fotony o větší energii než zhruba 1,1 eV), to jest část infračerveného, celé viditelné a ultrafialové spektrum. Absorbuje tedy větší část celého slunečního spektra. To je znázorněno na obr. 1., kde vidíme spektrum slunečního záření po průchodu atmosférou, spolu s absorpční hranou křemíku.



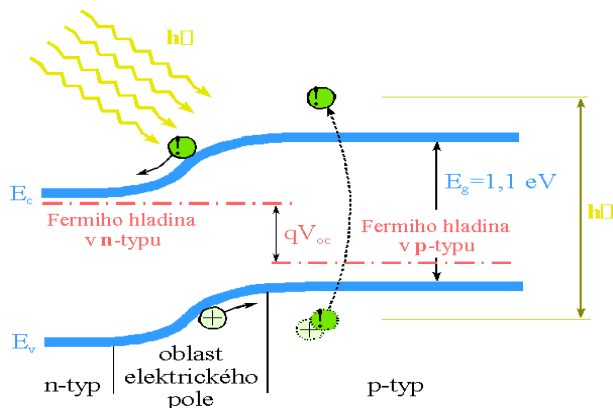
Obr. 1. Sluneční spektrum po průchodu atmosférou pod úhlem 48° od normály (tzv. spektrum AM1,5). Současně je vyznačena absorpční hrana krystalického křemíku.

Dopadá-li na křemík foton o energii menší než 1,1 eV, projde křemíkem a není absorbován. Když je jeho energie větší než 1,1 eV (tato energie odpovídá šířce zakázaného pásu a tedy absorpční hraně křemíku), pak je tento foton absorbován a v polovodiči vznikne jeden volný elektron a jedna volná díra. Energetický rozdíl mezi energií dopadajícího fotonu a šířkou zakázaného pásu se přeměňuje na teplo a je hlavním důvodem, proč teoretická účinnost jednoduchého článku v planární konfiguraci příliš nepřesáhne 30%.

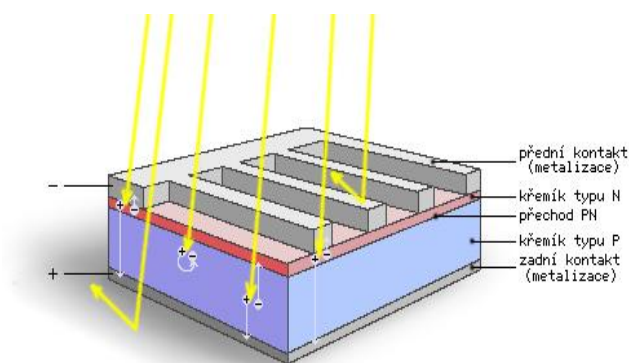
Aby sluneční článek sloužil jako zdroj proudu, musí v něm nastat rozdělení elektronů a děr. Sluneční článek není homogenní polovodič, ale skládá se z části mající elektronovou vodivost (materiál typu *n*, například křemík s příměsí fosforu) a části mající děrovou vodivost (materiál typu *p*, například křemík s příměsí boru). Vše je znázorněno na obr. 2. a 3. Pásové schéma *p-n* přechodu krystalického křemíku za osvětlení (energie fotonů $h\nu$) s vyznačením hran vodivostního (E_c) a valenčního (E_v) pásu, šířky zakázaného pásu ($E_g = E_c - E_v$), Fermiho hladin v polovodiči typu *n* i *p* a oblasti existence vnitřního elektrického pole (prostorového náboje).

Na přechodu *p-n* dojde k oddělení díry a elektronu a na přírodních kontaktech vznikne napětí U_0 (v případě křemíku 0,5-0,6 V) a připojíme-li ke kontaktům spotřebič, protéká jím elektrický proud. Ten je přímo úměrný počtu absorbovaných fotonů a tedy i ploše celého slunečního článku.

Fotovoltaický sluneční článek je tedy polovodičová dioda (přechod *p-n*) mající velkou plochu (řádově dm^2), spodní celoplošný kovový kontakt (reflektor) a vrchní kovový kontakt (mřížku, hřeben) zabírající velmi malou plochu (4-8% plochy článku), aby nestínil.



Obr. 2. Pásové schéma p-n přechodu krystalického křemíku za osvětlení

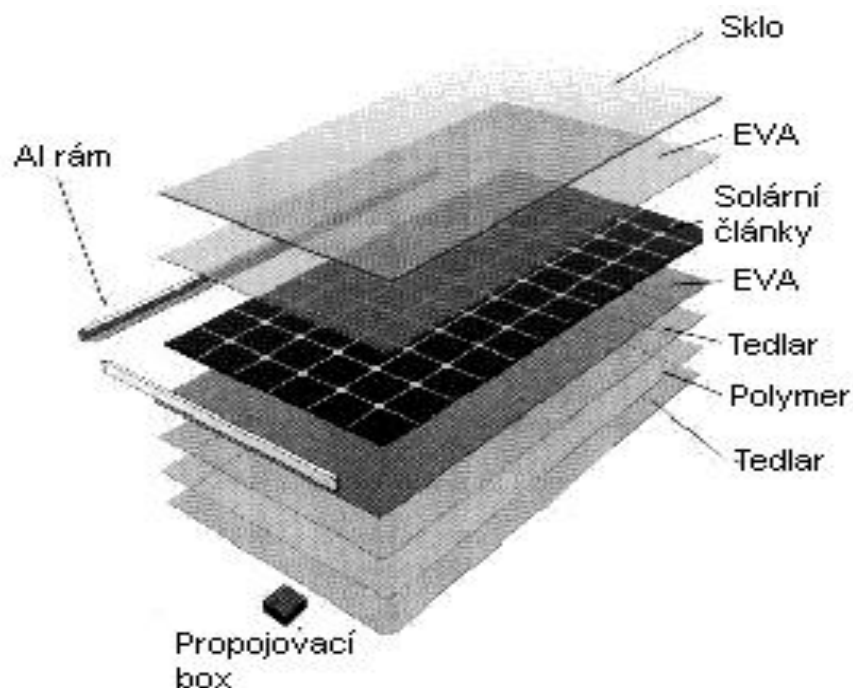


Obr. 3. Schematické znázornění principu fotovoltaického článku

Zapouzdření solárního článku

Svrchní vrstvy křemíkových desek se po výpalu očistí, popř. se provede jejich dodatečná povrchová úprava a řezání destiček na požadované rozměry. Konečnou fází výroby solárního článku je „zapouzdření“, které je chrání proti působení vnějších vlivů (mechanických a atmosférických) a měření elektrických a rozměrových parametrů. Tento způsob výroby solárních článků zaručuje konečnou životnost až 20 let.

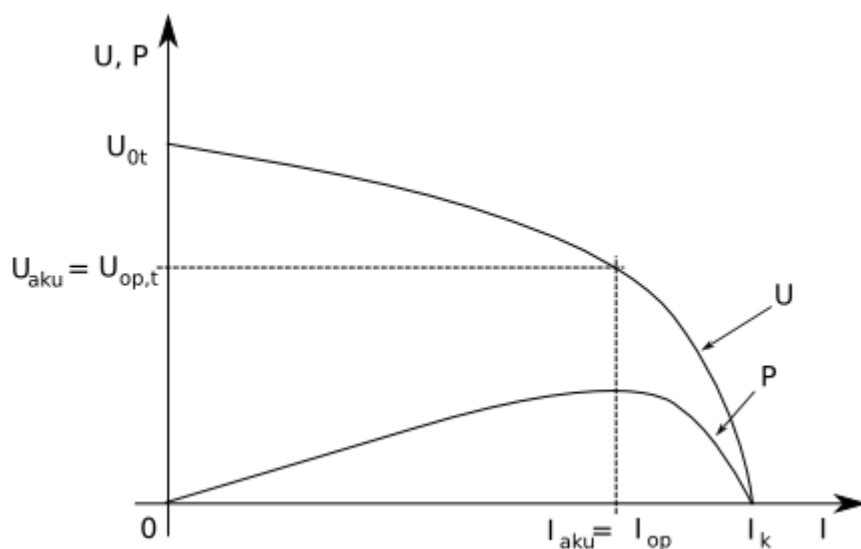
Technologie pouzdření - vysoce propustné tvrzené sklo s velmi nízkým obsahem železa/EVA-fólie/tedlar, s propojovacím boxem, s rámem nebo bez rámu. Jsou určeny pro nejnáročnější aplikace z hlediska dlouhodobého výkonu a jakosti [1].



Obr. 4. Technologie pouzření [1]

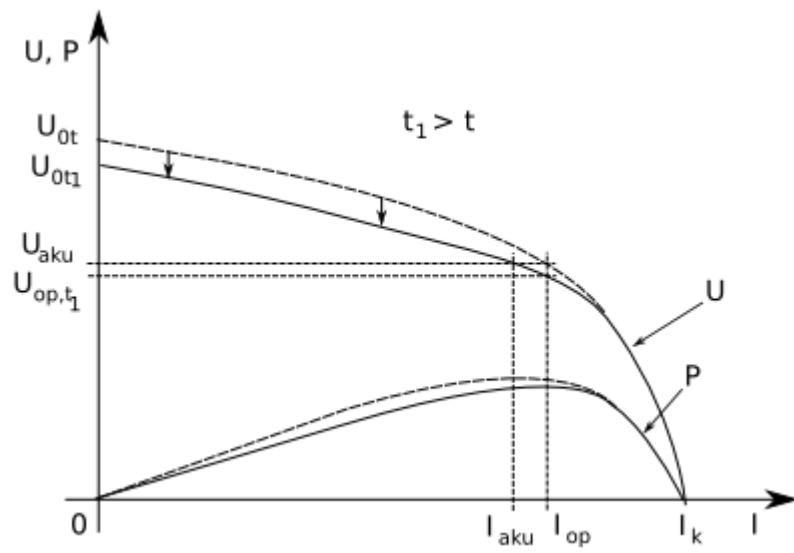
Zatěžovací a výkonová charakteristika fotovoltaického článku

Voltampérová charakteristika má mezní veličiny U_0 a I_k , které nám udávají velikost napětí naprázdno a hodnotu proudu nakrátko (viz Obr. 5.). Tyto veličiny se v závislosti na změně sluneční intenzity a teploty článku mění. K voltampérové charakteristice se také udává charakteristika výkonu, která vznikne násobením okamžitých hodnot napětí a proudu. Nejvyšší bod na této charakteristice představuje maximální hodnotu možného výkonu, který je fotovoltaický článek schopen dodat do zátěže. Chceme-li tohoto maximálního výkonu dosáhnout musí být napětí na spotřebiči rovno právě napětí U_{op} .



Obr. 5. Zatěžovací a výkonová charakteristika FV článku [5].

Je-li spotřebičem nabíjený akumulátor, je jeho okamžitým napětím jednoznačně určen pracovní bod fotovoltaického článku. Generátory jsou průmyslově vyráběny tak, že při teplotě článku okolo $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ hodnota napětí U_{op} odpovídá přibližně středně nabitému 12 V akumulátoru a je tedy dodáván nejvyšší výkon. Při déle trvající sluneční intenzitě nebo zhoršených podmínkách chlazení článku (bezvětrí), kdy teplota vzduchu dosahuje $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ dochází ke zvýšení povrchové teploty až na $80\text{ }^{\circ}\text{C}$. Při takto vysokých teplotách dochází ke změně elektrických vlastností článku, která vede ke snížení zatěžovací charakteristiky směrem k nižšímu napětí (viz Obr. 65.). Pokles optimálního napětí způsobí snížení dodávaného výkonu do akumulátoru. Jelikož k tomuto jevu dochází právě při největší sluneční intenzitě, můžeme ztratit až 75% z dosažitelné denní výroby fotovoltaického článku (v závislosti na stupni nabití akumulátoru) [5]. Ke kompenzaci tohoto jevu může sloužit optimalizační zařízení, které pracuje na principu DC/DC měniče.

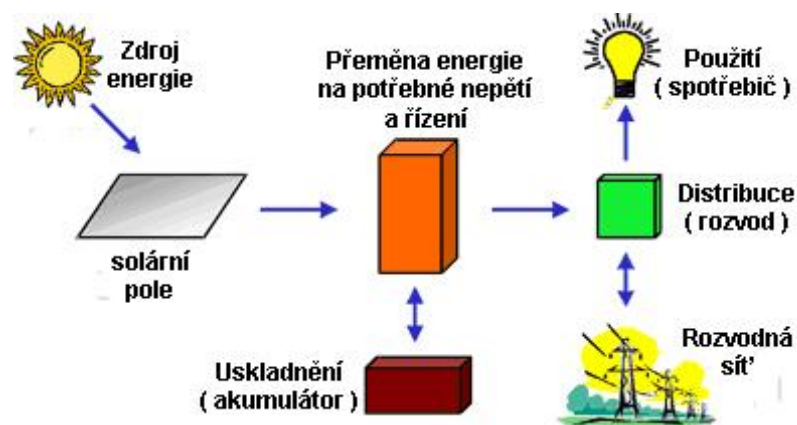


Obr. 6. Vliv zvýšení teploty na zatěžovací charakteristiku [5].

Připojení solárních článků

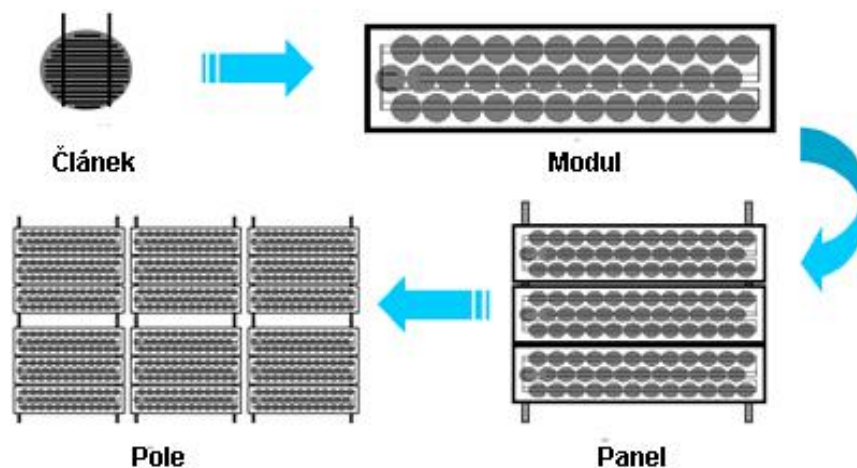
Solární systém

Solární systém má zajišťovat přeměnu sluneční energie na elektrickou, a tu dále zpracovávat k co největšímu využití, tzn., zajišťuje rozvod elektrické energie, její přeměnu na takovou jakou potřebujeme (změna napětí), uchování (akumulátory), distribuci (např. do rozvodné sítě) a konečné využití (spotřebič).



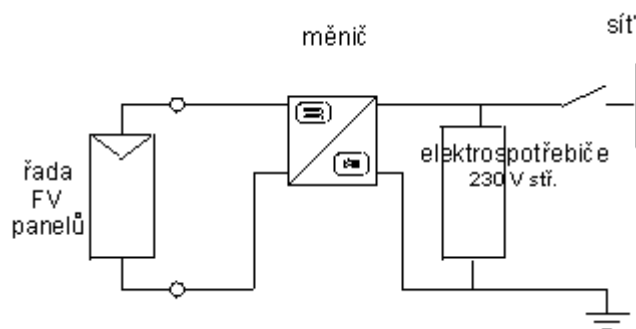
Obr. 7. Úplný solární systém [3]

Podle uvažovaného odebíraného výkonu se musí solární články spojovat do modulů, panelů a solárních polí (viz. obrázek 8).

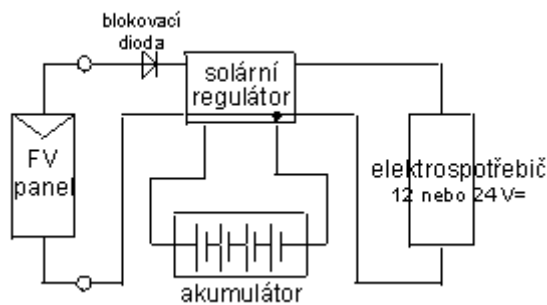


Obr. 8. Solární články, moduly, panely a pole [3]

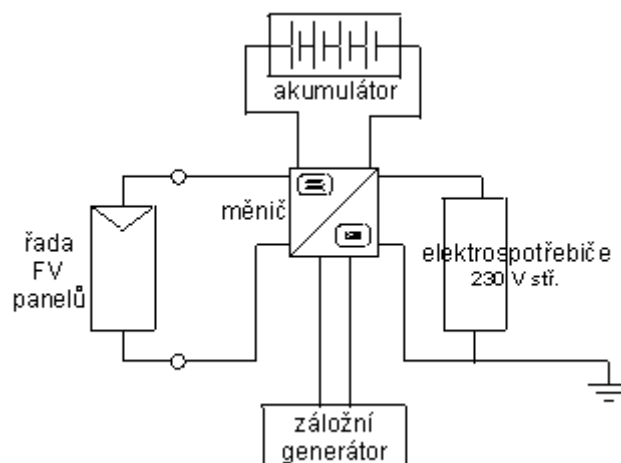
Obecně se dá použít několik typologií připojení solárních článků. Hlavní rozdíl mezi jednotlivými typologiemi připojení do systému je, jestli je daný systém připojený i do rozvodné sítě, pak vznikají typologie buď typu GRID-OFF (ostrovní provoz), kdy systém není napojen na rozvodnou síť, nebo typologie typu GRID-ON, kde je systém připojen i na rozvodnou síť elektrického proudu. Základní typologie jsou na obr. 9. – 11. tyto typologie se dají samozřejmě různým způsobem modifikovat.



Obr. 9. Typologie GRID-ON [1]



Obr. 10. Typologie GRID-OFF [1]



Obr. 11. Hybridní typologie GRID-OFF [1]

Měniče napětí

Z typologií je zřejmé použití měničů. Chceme-li solární články využívat také k napájení spotřebičů, konstruovaných na napájecí napětí veřejné sítě, musíme použít měniče napětí na 230 V AC. Důvody pro toto řešení jsou zřejmé. Na trhu je podstatně více spotřebičů na napětí 230 V AC než na 12 V DC nebo 24 V DC. Další výhodou spotřebičů na 230 V AC je jejich nižší cena.

Měniče jsou řízeny mikroprocesorem, který zabezpečuje veškeré ochrany spojené s provozem. Výstupní napětí měničů má tvar modifikované sinusovky. Tento průběh napětí se nejvíce přibližuje tvaru síťového napětí, proto lze tyto měniče použít pro většinu síťových přístrojů.

Tab. 1. Porovnání systémů [1]

system =12/24 V	system ~230V
» menší ztráty	» větší výběr elektrospotřebičů
» vyšší cena vnitřních elektrorozvodů	» nižší cena vnitřních elektrorozvodů
» nižší cena fotovoltaického systému	» nižší cena elektrospotřebičů

Regulátory nabíjení

Solární regulátory nabíjení mají za úkol udržovat optimální napětí akumulátoru a tím zajistit jeho dlouhou životnost. Z nejdůležitějších funkcí regulátoru je zajistit optimální nabíjení akumulátoru. Pro dosažení co nejvyšší životnosti akumulátoru, se musí akumulátor optimálně nabíjet. To znamená, že regulátor musí kontrolovat nejvyšší přípustné napětí na akumulátoru. Po dosažení koncového napětí regulátor odpojí solární panely, nebo sníží napětí ze solárních článků po dobu, než napětí klesne, nebo přejde, podle typu regulátoru, do pulzního režimu nabíjení. V pulzním režimu je baterie nabíjena impulsy na maximální povolené napětí baterie.

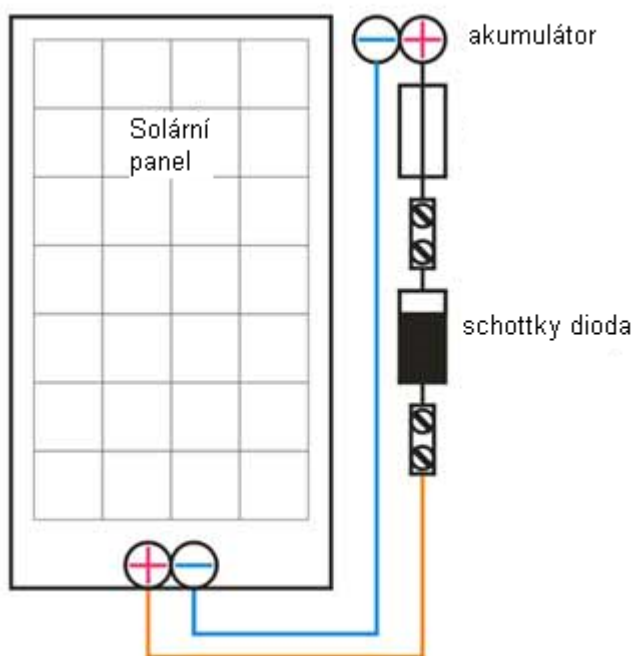
Další funkcí je zabránit vybíjení akumulátoru přes solární panel. Při nízké intenzitě osvětlení se napětí solárního panelu sníží pod napětí baterie a může dojít ke zpětnému vybíjení proudu z baterie do panelu. Regulátor proto musí být na vstupu panelu vybaven zpětnou diodou, která znemožní průchodu proudu z baterie do panelu. Dioda musí být v provedení s malým úbytkem napětí (schottky dioda), aby se zabránilo ztrátám vzniklým úbytkem napětí na diodě. Modernější typy regulátoru používají namísto oddělovací diody tranzistor MOSFET.

Dále ochrana akumulátoru před hlubokým vybitím. Při snížení napětí na akumulátoru pod hodnotu koncového vybíjecího napětí musí regulátor odpojit zátěž a opět ji připojit po zvýšení napětí na baterii na hodnotu danou hysterezí použitého regulátoru.

Dále pak ochrana proti přetížení a zkratu na výstupu. Výstup regulátoru musí být jištěn podle typu systému tavnou pojistkou a vnitřní elektronickou pojistkou regulátoru.

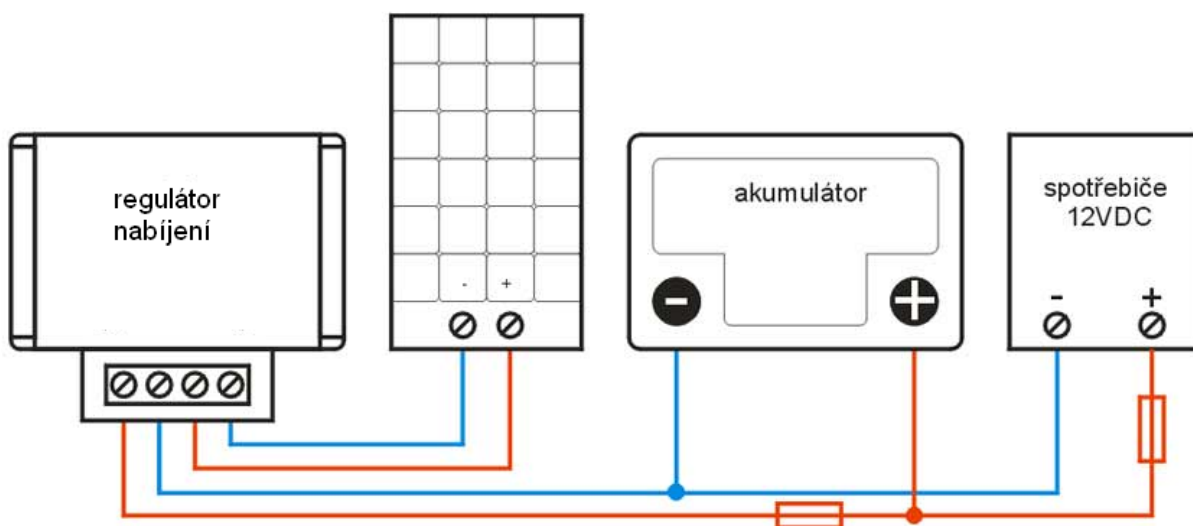
Příklady zapojení regulátorů:

Nejjednodušší propojení akumulátoru se solárním panelem je použitelné pouze pro panely s malým výkonem a akumulátory od 50 Ah. Při použití tohoto zapojení s výkonnějším panelem může docházet k přebíjení akumulátoru. Dioda zabraňuje zpětnému toku proudu z akumulátoru do solárního panelu. Bez této diody by se panel v noci choval jako spotřebič a odebíral proud z akumulátoru. Všechny elektronické regulátory jsou touto ochranou samozřejmě vybaveny.



Obr. 12. Nejjednodušší propojení akumulátoru se solárním panelem

Další příklad zapojení regulátoru je na obrázku 13. Toto zapojení je ideální pro automatický bezúdržbový chod a dlouhou životnost celého zařízení. Regulátor řídí správné nabíjení akumulátoru i připojené spotřebiče. Celé zařízení je chráněno elektronickými pojistkami. Svorky zařízení jsou chráněny proti atmosférickému přepětí výkonovými varistory.



Obr. 13. Zapojení regulátoru nabíjení akumulátoru se solárním panelem

Akumulátory

Elektřinu generovanou solárními panely je v ostrovních solárních systémech nutno skladovat, aby ji poté bylo možno využít v noci nebo v období s méně příznivým osvětlením. Solární olověné akumulátory jsou v současnosti nejvhodnějším a nejvíce osvědčeným řešením. Používají se rovněž v záložních fotovoltaických systémech.

Jejich konstrukce zajišťuje dlouhou životnost, nízké procento samovybití, bezúdržbové provedení. Jsou vyráběny v trakčním provedení pro menší vybíjecí proudy na rozdíl od klasických startovacích akumulátorů. Tím je zajištěna delší provozní doba - minimálně 5 let od uvedení do provozu. Ve spojení s regulátorem nabíjení dosahují životnosti až 10 let.

Při pravidelném denním zatěžování je výhodné použít baterie s dlouhou životností. Tomu nejlépe vyhovují staniční akumulátory s kladnými trubkovými elektrodami, které dosahují životnosti kolem 1200 cyklů nabití – vybití, než jejich kapacita poklesne na 80 %. Někteří výrobci dodávají baterie konstruované speciálně pro fotovoltaické aplikace, ale s vyšší pořizovací cenou.

Přednosti solárních akumulátorů:

- vyšší odolnost proti hlubokému vybíjení,
- nízký minimální nabíjecí proud,
- nízké samovybíjení (1-3% za měsíc),
- dlouhá životnost (vysoký počet pracovních cyklů),
- vysoká akumulace elektrické energie (disponibilní povrch elektrod),
- dobré ekologické vlastnosti (nízké emise nabíjecího plynu),
- minimální nároky na údržbu (doplnění elektrolytu 1x ročně).

Monitorování stavu akumulátorových baterií

Zajištění optimálního stavu akumulátorových baterií v průběhu jejich provozu lze posuzovat z několika hledisek. Jeden pohled souvisí s dodržováním provozních podmínek baterií podle doporučení výrobce i z důvodu dodržení záručních podmínek, údržbou baterií s cílem zajistit maximální životnost baterií, tedy obecně z důvodů ekonomických. Druhý pohled souvisí se zajištěním maximální doby činnosti zařízení napájeného akumulátorovými bateriemi. Zajistit v provozu optimální stav akumulátoru baterií však znamená kromě jiného znát stav a vlastnosti těchto baterií v každém okamžiku jejich činnosti. Tato znalost okamžitého stavu baterií může, mimo uvedené důvody, přispět ke stanovení doby činnosti systému v jednom cyklu nabití – vybití, ke zvolení optimálního nabíjecího, ale i vybíjecího režimu, odhadu životnosti systému apod. Ukazuje se tedy, že je užitečné monitorovat stav akumulátorových baterií při jejich provozu.

V současné době existují různé systémy pro sledování stavu akumulátorových baterií, které nejčastěji využívají snadno zjistitelné napětí baterie. Pod pojmem „monitorovací zařízení“ budeme v dalším textu rozumět elektronické zařízení, které měří, zpracovává a uschovává, resp. předává informace o akumulátorové baterii v širším slova smyslu (napětí baterie, nabíjecí nebo vybíjecí proud, teplotu, časové údaje, nevhodné pracovní podmínky apod.), komunikuje s okolím za účelem informovat obsluhu, zamezuje nevhodným režimům činnosti baterie, optimalizuje nabíjení, informuje nadřazený informační systém uživatele. Monitorovací zařízení je tedy určeno ke sledování stavu akumulátorů, k informování obsluhy o stavu a režimu činnosti příslušných zařízení, k řízení činnosti systémů využívající akumulátorové baterie s cílem optimalizovat provoz zařízení, zvýšit komfort obsluhy, zjednodušit údržbu a v neposlední řadě prodloužit životnost baterií.

Monitorované veličiny

Monitorovací zařízení by mělo umožnit měřit, vypočítávat, zaznamenávat a předávat dalším zařízením k zobrazení nebo k následnému zpracování tyto veličiny:

Napětí [V]:

- celé baterie použité v systému.

Proud [A]:

- tekoucí do baterie z nabíječe při nabíjení, z hlediska posouzení nabíjecího režimu,
- odebíraný z baterie do příslušné zátěže, resp. spotřebiče.

Výkon [W]:

- dodávaný z nabíječe do baterie, z hlediska posouzení nabíjecího režimu,
- odebíraný z baterie do příslušné zátěže, resp. spotřebiče.

Čas [h]:

- aktuální (pro informování obsluhy, popř. k zaznamenání nevhodného režimu),
- nabíjení, nebo vybíjení, resp. doba trvání nabíjecího nebo vybíjecího režimu,
- provozu příslušného zařízení

Náboj [Ah]:

- dodaný do baterie v režimu nabíjení, s možností určit účinnost nabíjení,
- odebraný z baterie s možností určit kapacitu baterie,
- zbytkový v baterii, pro možnost odhadnout dobu činnosti napájeného systému.

Energie [kWh]:

- dodaná do baterie v režimu nabíjení, s možností určit účinnost nabíjení,
- odebíraná z baterie v průběhu provozu,
- zbytková v baterii, pro možnost odhadnout dobu činnosti napájeného systému.

Jak plyne z předcházejících informací, je při optimalizaci činnosti akumulátorových baterií velmi důležité sledovat oblast systémů zajišťujících vlastní provoz baterií i nabíjecích systémů. Nové poznatky z oblasti akumulátorů a odpovídající technické vybavení umožňují i nové principiální přístupy k provozu a nabíjení akumulátorů.

Nejčastěji se stav akumulátorové baterie vyhodnocuje měřením její kapacity. Stanovení kapacity akumulátoru pomocí měření elektrických veličin, a to zejména:

- a) měřením prošlého náboje,
- b) měřením napětí baterie s korekcí vnitřního odporu.

Stanovení kapacity měřením prošlého náboje

Princip metody spočívá v měření náboje přeneseného z baterie do zátěže (spotřebiče) až do dosažení konečných znaků vybití akumulátoru. Pro zlepšení přesnosti je třeba brát v úvahu významné jevy, kterými se vlastnosti skutečné baterie liší od ideálního zdroje (vnitřní odpor, úbytek napětí na vnitřním odporu), resp. jevy, které by mohly výrazně ovlivnit přesnost měření dané veličiny.

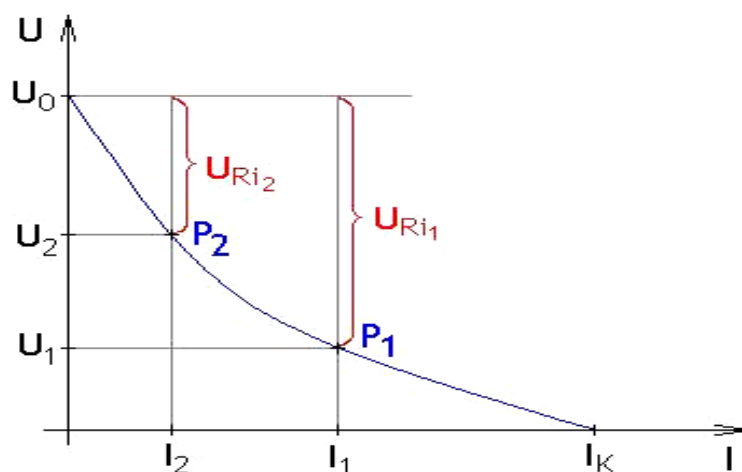
Prošlý náboj se stanovuje podle vzorce:

$$Q = I \cdot t \quad [\text{Ah}; \text{A}, \text{h}]$$

Stanovení kapacity měřením napětí a korekcí vnitřního odporu

Velmi významným ukazatelem stavu akumulátoru je jeho napětí. Z naměřené hodnoty napětí akumulátoru lze usuzovat na velikost jeho kapacity. To znamená, že se sleduje okamžité napětí akumulátoru a tomuto napětí odpovídá určitý stupeň jeho nabití.

V nejjednodušším případě může být stav akumulátoru indikován např. voltmetrem. Tímto způsobem však lze měřit stav vybití akumulátoru jen velmi přibližně, protože při změnách odběru proudu se mění i napětí akumulátoru v závislosti na velikosti jeho vnitřního odporu. Největší chyba při stanovení využitelné kapacity akumulátoru měřením napětí vzniká vlivem úbytku napětí na vnitřním odporu akumulátoru při jeho zatížení (Obr. 14.). Na vnitřním odporu R_i vzniká při průchodu proudu úbytek napětí U_{R_i} . Naměřené údaje je třeba korigovat korekčním členem, pro jehož návrh je nutné použít údaje získané měřením na vzorcích konkrétních baterií při různých zatíženích. Napěťový korekční člen upravuje napětí tak, aby jeho výstupní hodnota korigovala pokles výstupního napětí akumulátoru na jeho vnitřním odporu. Nastavení příslušných korekcí je vázáno vždy na konkrétní akumulátor.



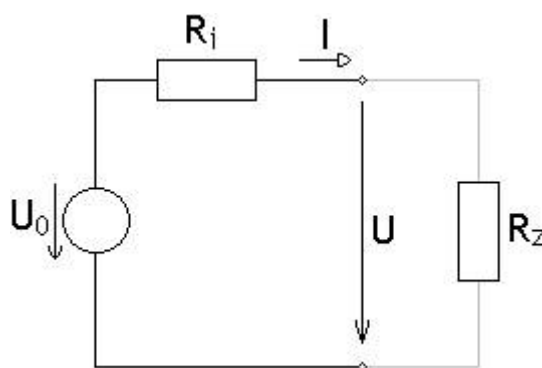
Obr. 14. Zatěžovací charakteristika nelineárního zdroje (olověného akumulátoru)

Při jednotlivých zátěžích měříme příslušné proudy obvodem a odpovídající svorková napětí na akumulátoru. Pracovní body vhodně propojíme a získáme zatěžovací charakteristiku nelineárního zdroje (akumulátoru). Vnitřní statický a dynamický odpor akumulátoru vypočítáme podle vzorců:

$$R_{ss} = \frac{U_0 - U_1}{I_1} \quad [\Omega; V, A]$$

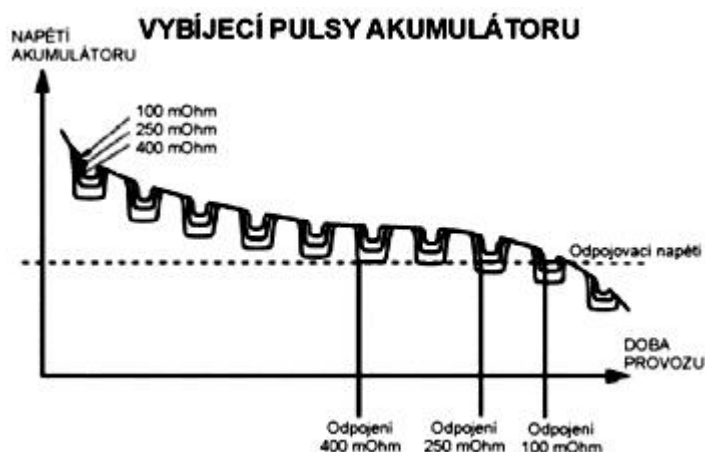
$$R_D = -\frac{\Delta U}{\Delta I} \quad [\Omega; V, A]$$

Vnitřní statický odpor je málo vypovídající veličina a v praxi se nepoužívá, protože svorkové napětí naprázdno U_0 je hodnota, která je prakticky konstantní a se stupněm vybití se liší jen nepatrně.



Obr. 15. Náhradní zapojení zdroje (olověného akumulátoru) s vnitřním odporem

Na obrázku 16. je srovnání průběhu napětí a odpovídající aktivní doby vybití akumulátoru s vnitřním odporem $100 \text{ m}\Omega$, $250 \text{ m}\Omega$ a $400 \text{ m}\Omega$, při připojení na impulsní zátěž. Pulsy proudu snižují napětí akumulátoru dolů, což má za následek neschopnost akumulátoru dodávat potřebný proud, i když v akumulátoru je stále energie. Pokud po odpojení zátěže akumulátor změříme voltmetrem, napětí na kontaktech se běžně zvýší a voltmetr zobrazí normální hodnotu.



Obr. 16. Závislost napětí akumulátoru na vnitřním odporu [2]

Monitorovací zařízení

Monitorovací zařízení použité v našem případě je běžné PC vybavené multifunkční měřicí kartou PCI-1711 od firmy Advantech, s tímto příslušenstvím: šroubovací připojovací terminál PCLD-8710 a dvě šestnácti kanálové výkonové spínací reléové karty PCLD-885. PC je vybaveno patřičným softwarem (ovladače multifunkční karty, program LabVIEW 8.5).

Měřicí karty neboli karty pro sběr dat (anglicky Data Acquisition – DAQ) slouží pro přímé měření, popř. generování signálu počítačem. Tím se liší např. od karet realizujících rozhraní GPIB (General Purpose Instrumentation Bus, IEEE 488), které pouze komunikují se specializovaným měřicím přístrojem.

Měřicí karty většinou obsahují jeden či několik z těchto typů funkcí:

- analogové vstupy,
- analogové výstupy,
- digitální vstupy / výstupy,
- čítače anebo časovače.

Karty s více než jedním z uvedených typů funkcí se označují jako multifunkční. Nebezpečí komplikací může být skryto i v údajích o maximální vzorkovací frekvenci. Často se uvádí maximální rychlost A/D převodníku, ale zejména levnější karty přepínají do jednoho převodníku všechny své vstupy. Má-li taková karta převodník s maximální vzorkovací frekvencí 200 kHz, získá se při měření deseti kanálů pouze 20 000 vzorků za sekundu na

každém z nich. Navíc mezi měřeními v jednotlivých kanálech bude zpoždění nejméně 5 sec. Těmito nedostatky netrpí karty s plnohodnotným měřicím řetězcem (vstupní zesilovač a A/D převodník) pro každý kanál. Ty ale bývají podstatně dražší. Některé karty mívají na vstupu filtr typu dolní propust, který zabraňuje porušení vzorkovacího teorému a brání zkreslení frekvenčního spektra signálu (anti-aliasing).

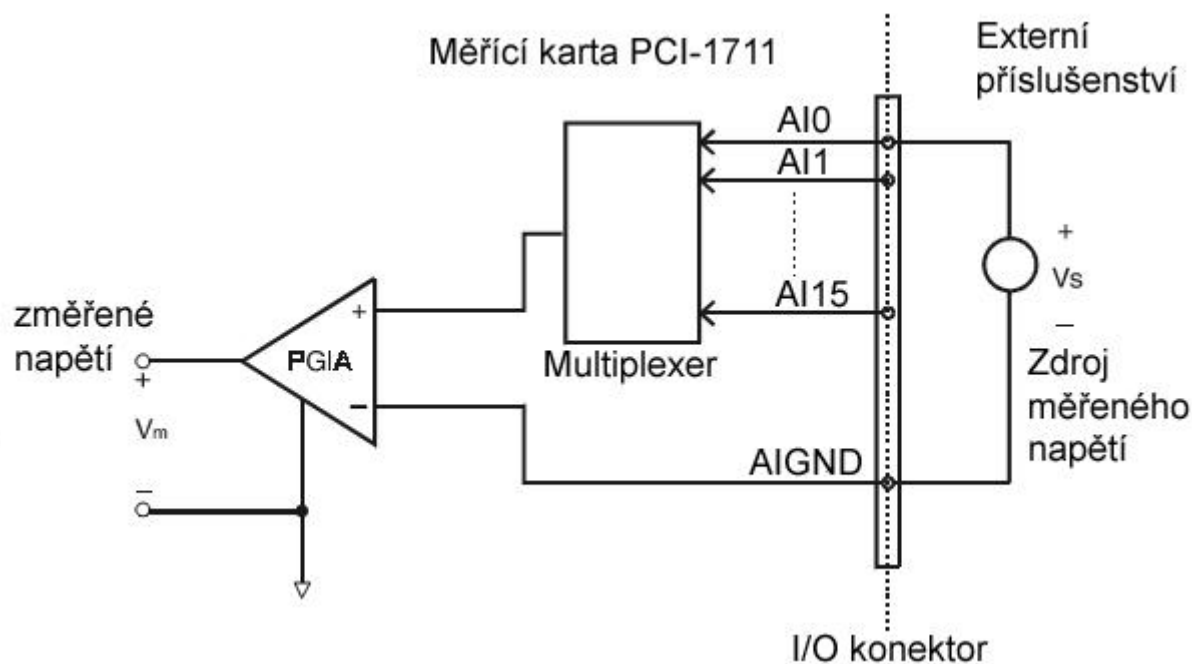
Ovladač a software

I karta s nejdokonalejším hardwarem je nepotřebná, není-li pro ni k dispozici kvalitní ovládací program (ovladač, driver). Zatímco před několika lety stačil popis registrů karty, současné ovladače nabízejí podstatně víc. Kromě toho hlavního – programovacího rozhraní pro ovládání karty v různých jazycích (LabVIEW, C, C++, C#, Visual Basic atd.) a pod různými operačními systémy (Windows, Linux) – často obsahují i programové nástroje pro nastavení a otestování karty a její kalibraci.

Parametry multifunkční měřicí karty PCI-1711

Základní technické parametry:

- datová sběrnice PCI,
- 16 single-ended (společná zem) analogových vstupů,
- 12bit A/D převodník se 100 kHz vzorkovací frekvencí,
- programovatelné zesílení pro každý analogový vstup,
- 1 KB FIFO buffer,
- 2 kanály analogový výstup,
- 16 digitálních vstupů,
- 16 digitálních výstupů,
- programovatelný čítač/časovač.

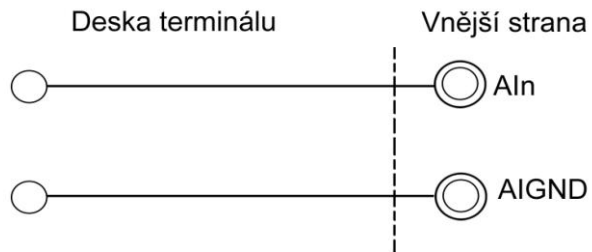


Obr. 17. Zapojení single-ended (společná zem) analogového vstupu

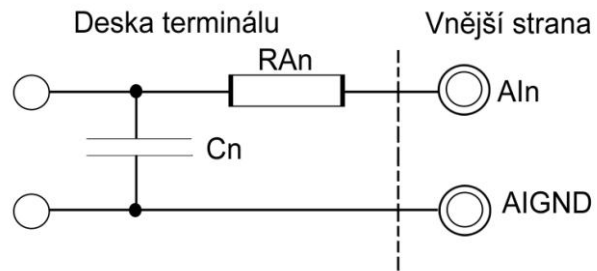
Připojovací terminál PCLD-8710

PCLD-8710 je připojovací terminál, který nabízí vhodné a spolehlivé připojení signálních vodičů k multifunkční měřicí kartě PCI-1711 pomocí šroubovacích svorkovnic. Propojení terminálu PCLD-8710 s kartou je zajištěno pomocí kabelu se zakončením 68pinovým SCSI-II plochým konektorem. Analogové vstupy a výstupy jsou vyvedeny na šroubové svorky. Digitální vstupy a výstupy jsou vyvedeny na 20pinové samořezné konektory. Pomocí digitálních výstupů jsou multiplexně ovládány dvě výkonové spínací reléové karty. Obvody multiplexního řízení reléových karet jsou k terminálu připojeny pomocí 20žilového plochého kabelu se samořezným konektorem.

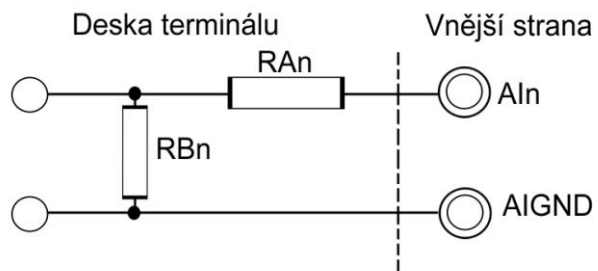
Na desce terminálu je připraveno místo pro zapájení pasivních součástek. Použití těchto míst slouží k vytvoření vlastních obvodů k úpravě vstupních signálů. Uživatel může snadno vytvořit dolní propust, útlumový článek, dělič napětí a převodník proudu na napětí zapojením rezistorů a kondenzátorů do připravených pozic na desce šroubovacího terminálu.



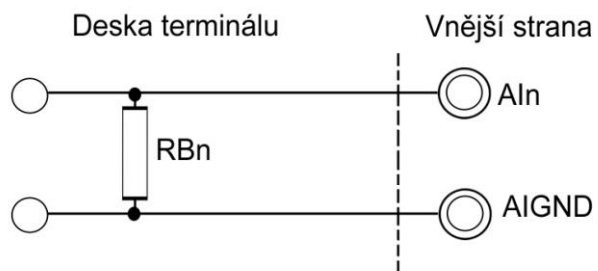
Obr. 18. Přímé připojení AI (tovární nastavení) $R_{An} = 0 \Omega$, R_{Bn} = nezapojen, C_n = nezapojen



Obr. 19. Zapojení dolní propusti 1,6 kHz AI $R_{An} = 10 \text{ k}\Omega$, R_{Bn} = nezapojen, $C_n = 0,01 \mu\text{F}$



Obr. 20. Zapojení děliče napětí 10:1 $R_{An} = 9 \text{ k}\Omega$, $R_{Bn} = 1 \text{ k}\Omega$, C_n = nezapojen



Obr. 21. Zapojení převodníku I/U, 4 ~ 20 mA na 1 ~ 5 V, $R_{An} = 0 \Omega$, $R_{Bn} = 250 \Omega$, C_n = nezapojen

Experimentální část

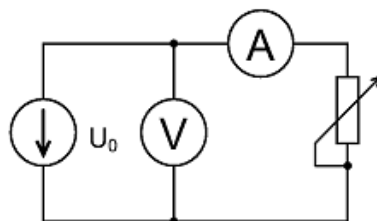
Výkonové zatěžovací charakteristiky použitých fotovoltaických panelů

Měření probíhalo 9. 4. 2008 v době 12:30 až 13:30 letního času, tudíž v době největší intenzity slunečního záření. V této době byla zcela jasná obloha a výkyvy intenzity slunečního záření byly minimální. Za těchto podmínek nebylo měření ovlivňováno atmosférickými vlivy (oblačnost, smog apod.).

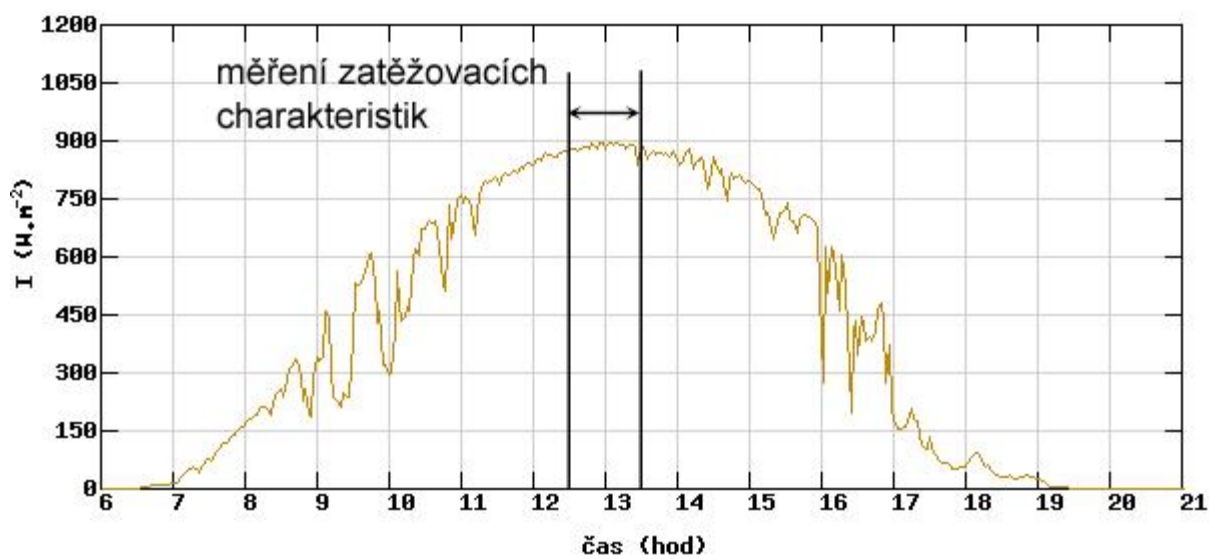
Měření intenzity dopadajícího slunečního záření probíhá v reálném čase v laboratoři nekonvenčních přeměn, ústavu elektroenergetiky FEKT VUT v Brně. Tato měření jsou online zobrazena na stránkách solární laboratoře tohoto ústavu. Pyranometry snímající intenzitu dopadajícího slunečního záření jsou umístěny na terase budovy U2 v školním areálu FEKT VUT v Brně. Umístění pyranometrů je v blízkosti fotovoltaických článků. Díky tomu nevniká do měření chyba vznikající vzdálenějším umístěním pyranometrů. Pro další měření intenzity dopadajícího záření bude použit pyranometr SG420, umístěný přímo na upevňovací konstrukci fotovoltaických panelů.

V tabulce 2. je základní přehled fotovoltaických panelů, které budou dále v práci použity a na kterých probíhala veškerá měření. Změřené AV charakteristiky všech panelů jsou vyneseny do grafu na obrázku 24. Na obr. 22. je schéma zapojení určené pro měření AV a zatěžovací charakteristiky fotovoltaického panelu. Reostat (posuvný odpor) volíme tak, aby snesl maximální proud. Čím vyšší bude jeho jmenovitý odpor, tím nižší proud bude možno měřit. Pokud reostat nesnese maximální proud dodávaný fotovoltaickým panelem, je nutno měření ukončit při dosažení úplného zatížení reostatu.

Intenzita dopadajícího slunečního záření v den měření je zobrazena na obr. 23. Při měření VA charakteristik byla zjištěna chyba panelu 6, kdy napětí naprázdno dosahovalo pouze $U_0 = 13,2$ V.



Obr. 22. Schéma zapojení pro měření zatěžovací charakteristiky fotovoltaického panelu



Obr. 23. Intenzita dopadajícího slunečního záření dne 9. 4. 2008 v Brně [5]

Tab. 2. Přehled fotovoltaických panelů

Nejvyšší naměřené a spočítané parametry fotovoltaických panelů

Panel	U_0 [V]	I_k [A]	P_{MAX} [W]	η_{max} [%]	Aktivní plocha S [m ²]	FF [%]
1	19,8	2,70	36,75	11,60	0,36	68,7
2	19,7	2,65	36,43	11,43	0,36	69,8
3	20,4	2,15	31,20	12,52	0,28	71,1
4	20,0	2,20	31,20	12,38	0,28	70,9
5	19,5	2,70	32,20	9,94	0,36	61,2
6	13,2	2,90	23,50	7,25	0,36	61,4

Panel:

- 1 36 článků, 0,36 m², monokrystalický křemík
- 2 36 článků, 0,36 m², monokrystalický křemík
- 3 36 článků, 0,28 m², monokrystalický křemík, výrobce – Trimex Tesla s.r.o.
- 4 36 článků, 0,28 m², monokrystalický křemík, výrobce - Trimex Tesla s.r.o.
- 5 36 článků, 0,36 m², polykrystalický křemík
- 6 36 článků, 0,36 m², monokrystalický křemík, typ – M55L, výrobce ISOFOTON

Vzorce a příklady výpočtů:

$$P_{MAX} = I_{OPT} \cdot U_{OPT} = 2,45 \cdot 15 = 36,75 \text{ W} \quad [\text{W}; \text{A}, \text{V}]$$

$$P_{TEO} = \frac{FI}{S} = \frac{880}{0,36} = 316,8 \text{ W} \quad [\text{W}; \text{W} \cdot \text{m}^{-2}, \text{m}^2]$$

$$\eta_{MAX} = \frac{P_{MAX}}{P_{TEO}} \cdot 100 = \frac{36,75}{316,7} \cdot 100 = 11,60 \% \quad [\% ; \text{W}, \text{W}]$$

$$FF = \frac{U_{OPT} \cdot I_{OPT}}{U_0 \cdot I_K} = \frac{15 \cdot 2,45}{19,8 \cdot 2,7} = 68,7 \% \quad [\% ; \text{V}, \text{A}]$$

kde:

I_{OPT} - elektrický proud článku při maximálním výkonu panelu P_{MAX}

U_{OPT} – elektrické napětí při maximálním výkonu panelu P_{MAX}

P_{MAX} – maximální výkon panelu

P_{TEO} – teoretický maximální výkon panelu při účinnosti $\eta = 100\%$

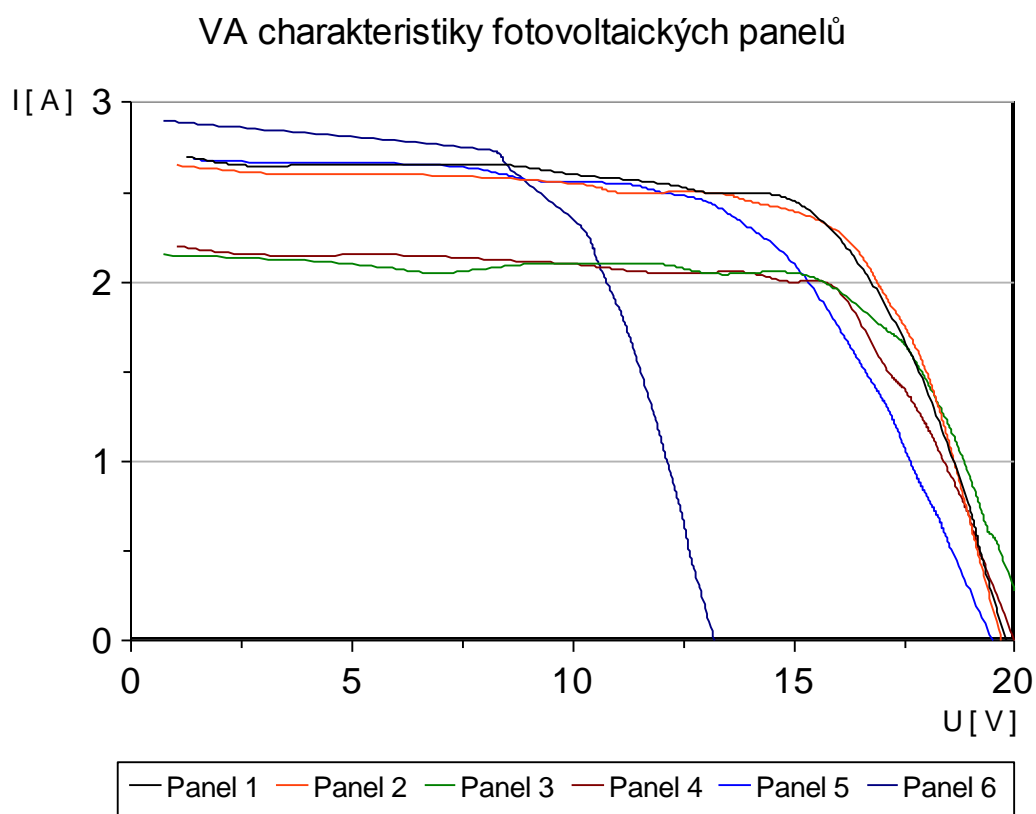
FI – intenzita slunečního záření

S – aktivní plocha fotovoltaických článků v panelu

U_0 – elektrické napětí naprázdno (bez zátěže)

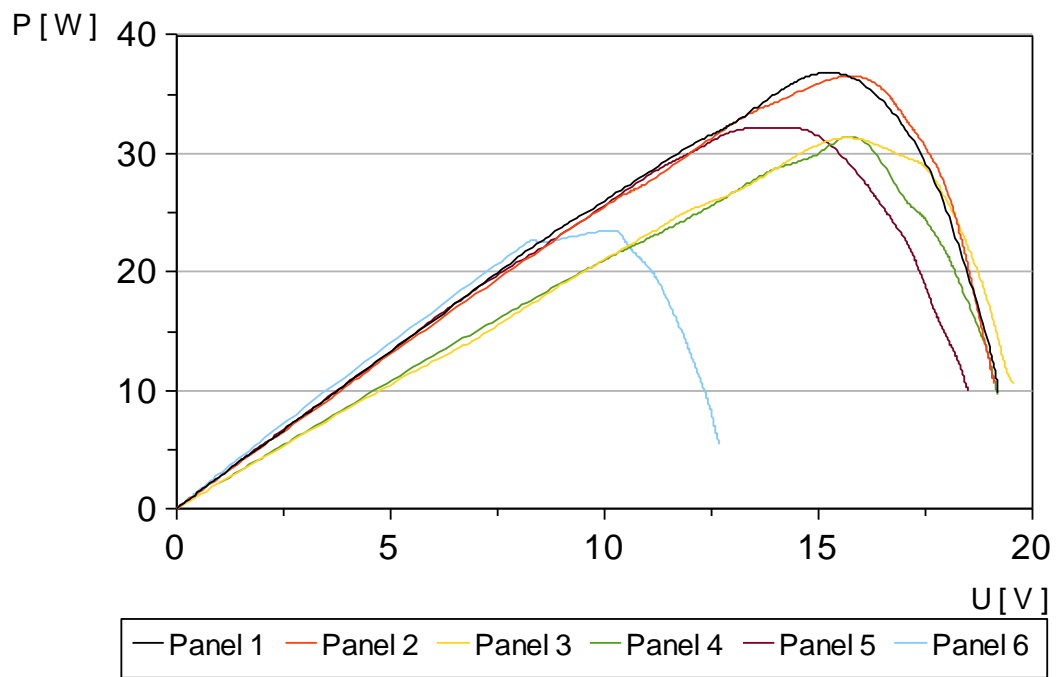
I_K – elektrický proud nakrátko (zátěž je zkrat)

FF – fill factor (poměr aktuálního, maximálního a teoretického maximálního výkonu)



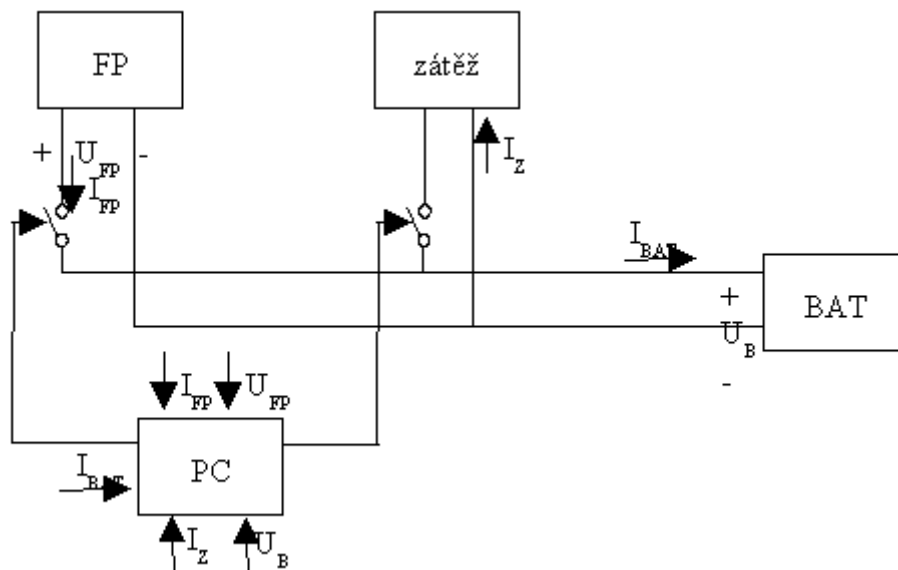
Obr. 24. AV charakteristiky fotovoltaických panelů

Výkonové charakteristiky fotovoltaických panelů



Obr. 25. Výkonové charakteristiky fotovoltaických panelů

Zapojení autonomního solárního systému



Obr. 26. Zapojení solárního systému a monitorovacího zařízení

Na obrázku 26. je blokové zapojení autonomního solárního systému použitého pro tuto práci, kde jednotlivé zkratky a značky znamenají:

FP – fotovoltaický panel,

zátěž – umělá zátěž vytvořená pomocí vybíječe,

BAT – olověný akumulátor,

PC – běžné PC vybavené multifunkční měřicí kartou, ovládacím a měřícím softwarem,

U_{FP} - okamžité napětí fotovoltaického panelu,

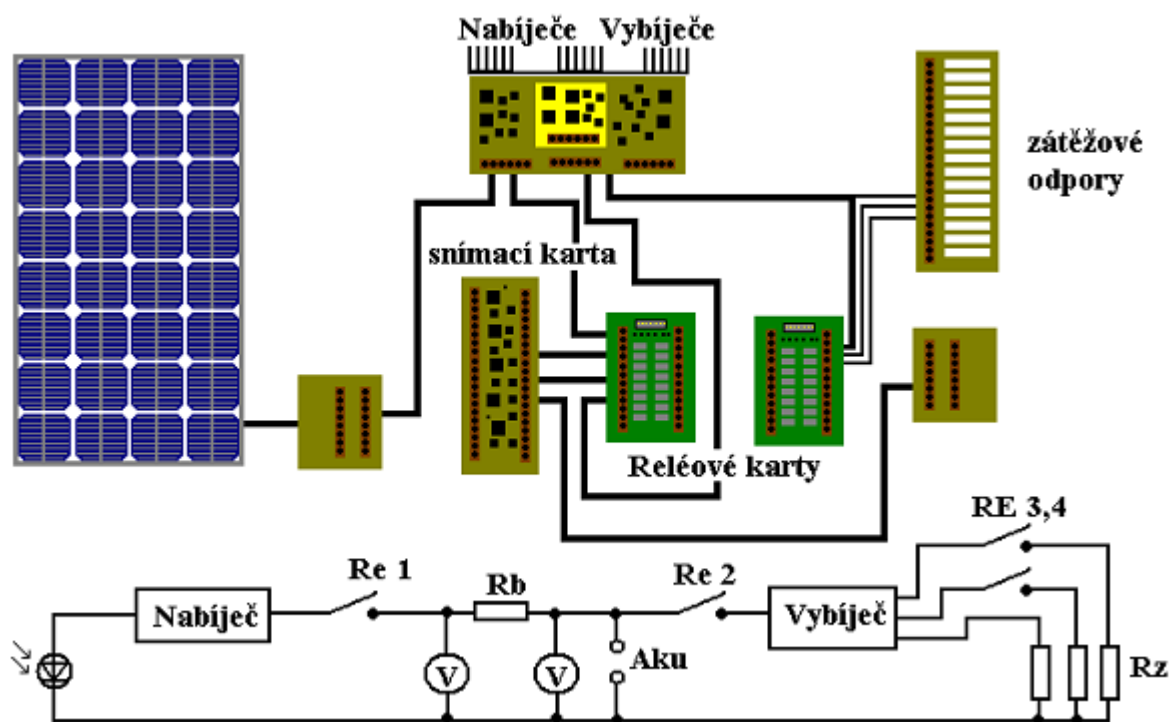
I_{FP} – okamžitý proud dodaný fotovoltaickým panelem,

I_Z – elektrický proud do zátěže,

I_{BAT} – okamžitý elektrický proud tekoucí do akumulátoru (nabíjecí proud),

U_B – okamžité elektrické napětí na akumulátoru

Šest takto zapojených solárních systémů bude simulovat různé, předem nastavené, režimy provozu. V každém režimu bude akumulátor podroben jiným provozním podmínkám a bude sledována a vyhodnocována kapacita akumulátoru. Po porovnání těchto měření zjistíme optimální režim provozu akumulátoru v reálném prostředí autonomního solárního systému. Budeme také dlouhodobě sledovat celkový náboj, výkon a energii dodávanou do akumulátorů ze solárních panelů a odebíranou z akumulátorů do zátěže. Přestože pro FV aplikace jsou z hlediska délky životnosti vhodnější staniční, případně trakční akumulátory, v našem případě použijeme startovací akumulátory. Použití startovacích akumulátorů má dva významy. Jako první důvod k použití startovacích akumulátorů je jejich kratší životnost a menší počet cyklů nabití – vybití, z tohoto důvodu se nám daný režim provozu promítne do životnosti akumulátoru daleko dříve a vliv provozních podmínek bude viditelnější. Druhý důvod je ekonomický – cena startovacích akumulátorů je nižší, než cena akumulátorů staničních resp. trakčních. Akumulátory jsou nové, startovací, se jmenovitým napětím 12 V a kapacitou 12 Ah.



Obr. 27. Blokové schéma systému

Režimy provozu

Režimy provozu, ve kterých budou články pracovat:

- vybíjení do 60% DOD, nabíjení s napětovým omezením na 2,45 V/článek,
- vybíjení do 60% DOD, nabíjení s napětovým omezením na 2,30 V/článek,
- vybíjení do 60% DOD, nabíjení s omezením celkového prošlého náboje na 105 % C,
- vybíjení do 60% DOD, nabíjení bez omezení,
- vybíjení do 100% DOD, nabíjení s napětovým omezením na 2,30 V/článek,
- vybíjení do 100% DOD, nabíjení s omezením celkového prošlého náboje na 105 % C,

Znamená to, že nabíječe akumulátorů budou nastaveny následovně:

- 2 ks začnou omezovat proud při dosažení napětí 2,30 V/článek tj. 13,80 V/akumulátor
- 1 ks začne omezovat proud při dosažení napětí 2,45 V/článek tj. 14,70 V/akumulátor
- 3 ks nebudou omezovat proud vůbec.

Odpojení akumulátoru od nabíječe bude řešit program ovládající měřící kartu. Vybíječe (zátěž) budou nastaveny na konstantní vybíjecí proud v rozmezí 1-3 A, nastavitelný v ovládacím programu po kroku 1 A.

Konec vybíjení bude řešen programem:

- pro 100 % DOD bude odpojení akumulátoru dáno napětím 1,6 V/článek, tj. 9,6 V/akumulátor,
- pro 60 % DOD bude program monitorovat vybíjecí proud a čas. Při odebrání 60 % kapacity akumulátoru (v akumulátoru stále zůstává 40 % náboje) dojde k odpojení akumulátoru od vybíječe,
- pro zamezení vybíjení při poruše akumulátoru (např. při zkratu článku) je zařazena pojistka v podobě ukončení vybíjení vždy při dosažení limitního napětí 9,6 V/akumulátor.

Do programu je potřeba zařadit ještě začátek a konec vybíjení (např. začátek vybíjení 21:00 hodin, konec 04:00 hodin - ukončení vybíjení bude tedy dáno buď dosažením 04:00 hodin nebo dosažením podmínky vybití na hodnotu % DOD, resp. ukončení vybíjení při

poklesu napětí na akumulátoru). Začátek a konec vybíjení musí být nastaven tak, aby za danou dobu a při nastaveném vybíjecím proudu 1 A, 2 A, nebo 3 A bylo možné odebrat (vybít) požadovaný náboj (akumulátor o kapacitě 10 Ah, se vybíjecím proudem 1 A bude vybit na 100 % DOD po dobu 10 hodin). Zároveň se s touto podmínkou musí časy nastavit tak, aby vybíjecí režim nezasahoval do času, kdy svítí slunce, a tím nebylo omezeno nabíjení.

Ovládací program – Fotovoltaika

Ovládací program *Fotovoltaika* je vytvořen v programovacím prostředí LabVIEW 8.5. Toto prostředí je pro programátory vysoce intuitivní a přehledné. Pracuje se s grafickými ikonami, které se mezi sebou propojují pomyslnými vodiči podobně jako v elektrotechnických schématech. Prostředí je doplněno ovladači multifunkční karty, vydané výrobcem karty.

Programy v LabVIEW se nazývají virtuální přístroje nebo VI, protože svým vzhledem a činností jsou obdobou skutečných přístrojů, jako jsou např. osciloskopy a multimetry. Termín VI je tedy obdobou termínu program nebo funkce v jiných programovacích jazycích. K vytváření takových programů obsahuje LabVIEW širokou sadu nástrojů pro čtení, analýzu, zobrazení a ukládání dat a také nástroje pro hledání a odstraňování chyb v programu.

V LabVIEW vytváříme uživatelské rozhraní programu pomocí ovládacích prvků a indikátorů, které se umísťují na tzv. čelní panel (Front Panel). Ovládací prvky (Controls) jsou otočné knoflíky, tlačítka, stupnice a další vstupní zařízení. Indikátory (Indicators) se rozumí grafy, LED diody a jiné zobrazovače. Po vytvoření čelního panelu přidáme programový kód, který čelní panel řídí. Programový kód se zapisuje (resp. kreslí) do okna blokového diagramu.

Popis ovládacího programu Fotovoltaika:

Ovládací program je rozdělen do několika funkčních částí. Mezi tyto části patří:

- rozhodování o režimu nabíjení / vybíjení podle aktuálního času,
- časování prodlevy mezi jednotlivými měřeními,

- blok nabíjení, který se dále dělí na další podbloky,
- blok vybíjení, který se dále dělí na další podbloky,
- měření pyranometru.

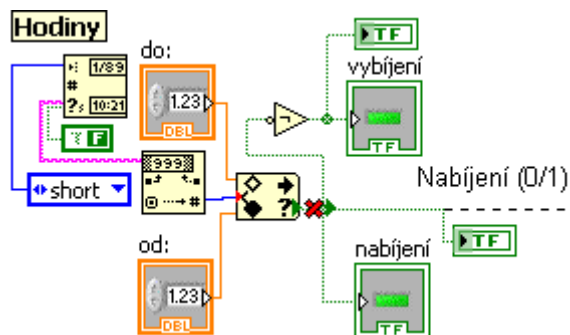
Celý program je umístěn ve smyčce While, kde kód uvnitř smyčky While se bude opakovat až do splnění určité podmínky. Tato podmínka je stisk tlačítka Stop, které ukončí běh programu. Tato smyčka obsahuje inkrementální čítač, který se inkrementuje po každém proběhnutém cyklu. Tento čítač je zobrazen na front panelu programu a ukazuje číslo měření.



Obr. 28. Smyčka While s tlačítkem Stop a inkrementálním čítačem cyklů

Rozhodování o režimu nabíjení / vybíjení:

Tento funkční blok sleduje aktuální čas, který je nastaven v systému PC a podle něj vyhodnocuje, zda jsou fotovoltaické systémy v režimu nabíjení nebo vybíjení. Funkční blok je na obrázku 29.



Obr. 29. Blok rozhodování o režimu nabíjení / vybíjení

 - získání aktuálního systémového času



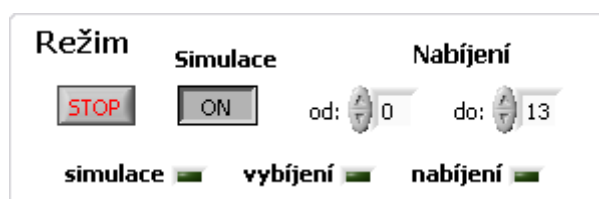
- nastavení času kdy má probíhat nabíjení, od – do, hodin



- vyšetření zda je aktuální systémový čas v rozsahu od - do. Z tohoto bloku vystupuje signál True (logická 1) pokud je systémový čas v rozmezí od – do, jinak je výstupní signál v hodnotě False (logická 0).

Další ikony v tomto bloku signalizují právě probíhající režim. Signál True / False je rozveden do dalších bloků v programu.

Na obrázku 30. je zobrazeno, jak vypadá blok režimu na front panelu. Svítící LED ukazatelé označují právě probíhající režim. V tomto rámečku je také tlačítko stop, které zastavuje chod aplikace. Od aktivace tlačítka stop do zastavení aplikace musí doběhnout právě probíhající cyklus. Tlačítko Simulace umožňuje chod programu na počítačích, které nejsou vybaveny multifunkční měřicí kartou (neprovádí se měření). V tomto režimu simulace se měřené hodnoty (U aku, I nab) dají nastavit a měnit během chodu programu v záložce nastavení. Po spuštění programu je defaultně zapnut režim simulace. Je to z důvodu zamezení nefunkčnosti programu, pokud není přítomen požadovaný hardware.

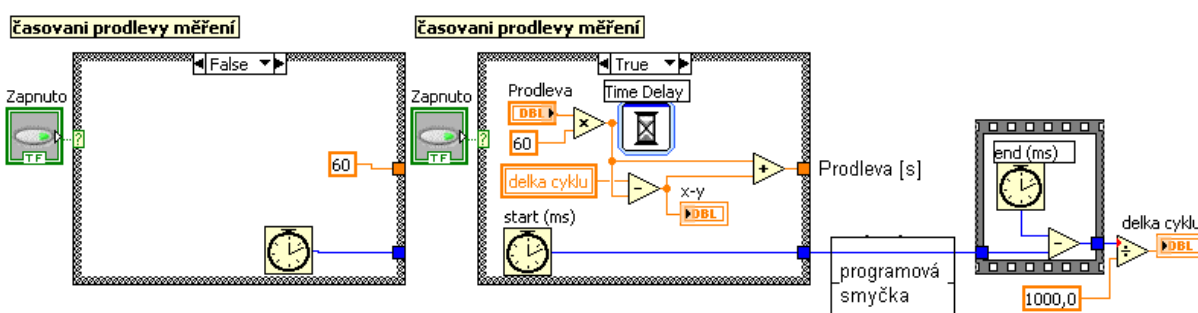


Obr. 30. Blok rozhodování o režimu nabíjení / vybíjení na front panelu aplikace



Časování prodlevy mezi měřeními

Tento blok určuje, jak dlouhá má být prodleva mezi získáním dalších vzorků měření. Znamená to, že mezi dvěma měřeními bude zadaná prodleva. Tuto prodlevu lze zapnout



tlačítkem Zapnuto. Pokud je prodleva zapnuta rozsvítí se tlačítko Zapnuto. Tento blok je na obrázku 31. Signál z tohoto bloku udává prodlevu mezi cykly měření v sekundách a je dále rozveden v programu. Z této časové prodlevy se vypočítává odebraný a dodaný náboj do akumulátoru v Ah. V případě, že je prodleva vypnuta, je signál nahrazen konstantou 60 sec. Prodleva se dá vypnout, aby bylo možné sledovat chod programu ve zrychleném režimu (proběhnutí celého cyklu bez zapnuté prodlevy trvá cca 6 sec). V tomto režimu nevycházejí reálné výsledky, protože chod programu je mnohem rychlejší než časová konstanta, ze které se vypočítávají potřebné hodnoty náboje. Prodleva je korigována skutečnou délkou celého měřicího cyklu tak, aby ve výpočtech byla uvažována skutečná prodleva mezi měřeními, která je mírně odlišná od prodlevy nastavené (rozdíl je cca 6 sec).



Obr. 31. Časování prodlevy mezi měřeními (prodleva vypnuta, prodleva zapnuta)

- Zapnuto
-  - ovládání prodlevy zapnuto / vypnuto
-  - zpoždění programu v sekundách

Prodleva mezi měřeními:

Zapnuto	Prodleva	Číslo měř.
	 0,1 min.	<input type="text" value="0"/>

Obr. 32. Časování prodlevy mezi měřeními na front panelu aplikace

Blok nabíjení

Blok nabíjení bude aktivní v době kdy je výstupní signál z bloku rozhodování o režimu nabíjení / vybíjení true (logická 1). Tento signál, který se připojuje na zelený otazník, ovlivňuje smyčku typu Case Structure, která reaguje na hodnoty true / false tak, že v každém případě se provádí kód, který je umístěn ve smyčce pro danou hodnotu rozhodovacího signálu. Zobrazení smyčky Case Structure je na obrázku 33.



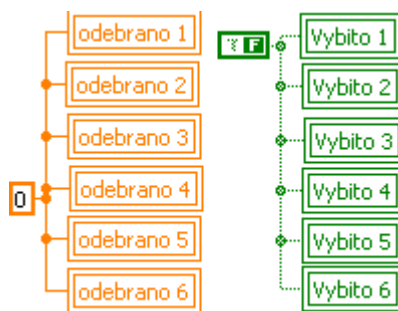
Obr. 33. Smyčka Case Structure se zobrazením rozhodovací podmínky true / false

To znamená, že pokud je výstupní signál z bloku rozhodování o režimu true, vykonává se kód nabíjení. Pokud je signál false, vykonává se kód vybíjení.

Blok nabíjení lze rozdělit na tyto funkční části:

- ovládání multiplexu spínacích reléových karet,
- vyhodnocování průběhu nabíjení jednotlivých akumulátorů,
- nulování proměnných Odebráno,
- nastavení proměnných Vybito na hodnotu false.

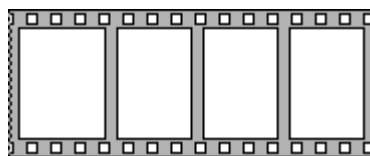
V prvním kroku, kdy se program přepne do režimu nabíjení, se provede nulování proměnných odebráno a nastavení proměnných vybito na hodnotu false. Tímto krokem se vynulují hodnoty odebraného náboje z předchozího vybíjení. Při nastavení proměnných vybito na hodnotu false zhasnou LED indikátory v záložce Vybíjení. Podle proměnných vybito jsou ovládány relé pro vybíječe. Tímto krokem budou všechny vybíječe odpojeny. Toto je znázorněno na obrázku 34.



Obr. 34. Nulování proměnných odebráno, nastavení proměnných vybito na false

Ovládání multiplexu spínacích reléových karet v režimu nabíjení

Ovládání multiplexu spínacích reléových karet je vytvořeno pomocí prvku Flat Sequence Structure (obrázek 35.), který zajišťuje časovou posloupnost vykonávání programového kódu. Tento prvek vypadá jako kinofilm, kde v jednotlivých políčkách je umístěn kód v takovém sledu (z leva doprava), jak se má postupně vykonávat.



Obr. 35. Prvek Flat Sequence Structure

V ovládacím programu je multiplex dvou spínacích reléových karet. Tyto karty obsahují každá dvě řady osmi výkonových relé, která se spínají podle dat zaslaných na dva výstupní 8bitové digitální porty multifunkční karty. Osmi bitový Port 0 jsou samotná data, podle nichž jsou spínána jednotlivá relé. Port 1 je využit pro adresování jednotlivých řad reléových karet a to pomocí adresovacích bitů 0, 1, 2, 3, ostatní bity z portu 1 multifunkční karty jsou nevyužity. Každý z těchto bitů označuje jednu řadu relé. Pokud jsou adresovací bity nastaveny do hodnoty logická 1, pak je odpovídající řada relé vybrána tzn. aktivní.

Význam adresovacích bitů:

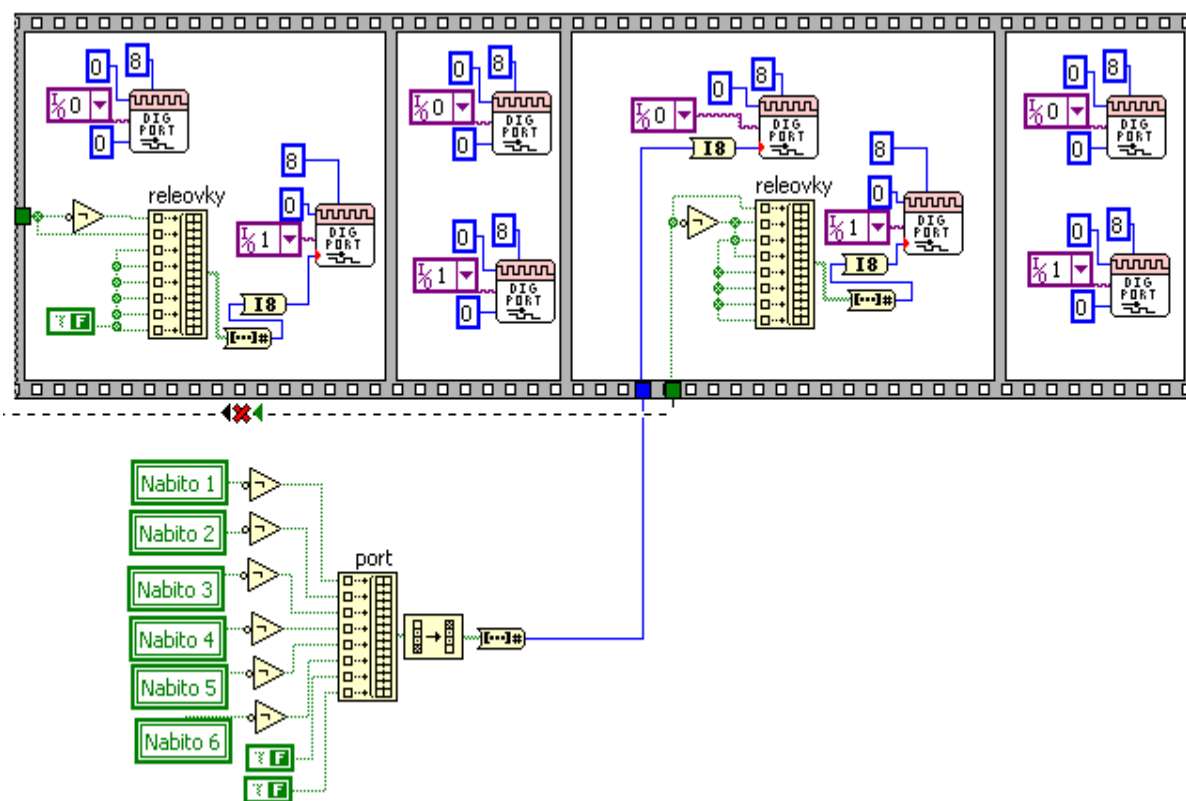
Bit 0 – reléová řada pro ovládání nabíječů.

Bit 1 – reléová řada pro ovládání vybíječů.

Bit 2 – reléová řada pro nastavení vybíjecího proudu na hodnotu 2 A nebo 3 A.

Bit 3 – reléová řada pro nastavení vybíjecího proudu na hodnotu 2 A nebo 3 A.

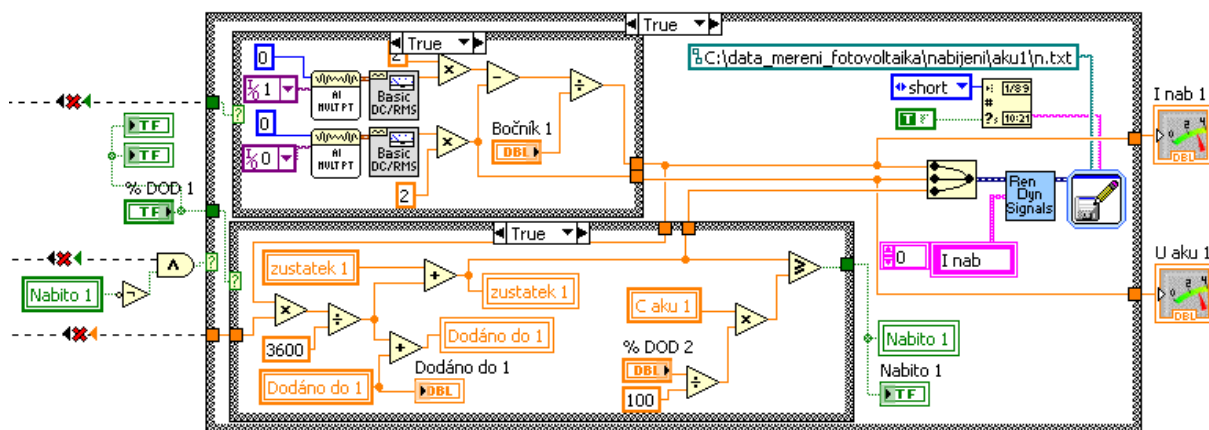
V režimu nabíjení je v každém měřicím cyklu provedena časová posloupnost těchto kroků: v prvním kroku je vybrána řada ovládající vybíječe (port 1, bit 1 nastaven na logickou 1, ostatní na logickou 0), a ty jsou odpojeny. V dalším kroku jsou kvůli zajištění spolehlivosti programu vynulovány oba digitální porty, aby se předchozí hodnoty nastavené na portech nemohly přepsat na další nově vybranou řadu relé. Ve třetím kroku je vybrána řada relé, která připojuje nabíječe k akumulátoru (port 1, bit 0 nastaven na logickou 1, ostatní na logickou 0). Na tuto řadu jsou poté poslány požadované signály, podle aktuálního stavu nabití akumulátorů (podle hodnot proměnných nabito). V posledním kroku této časové posloupnosti jsou opět vynulovány oba digitální porty. Provedení této časové posloupnosti je zobrazeno na obrázku 36. Vstupní zelený signál je přiveden z bloku rozhodování o režimu, kvůli zvýšení spolehlivosti programu.



Obr. 36. Ovládání multiplexu spínacích reléových karet v režimu nabíjení

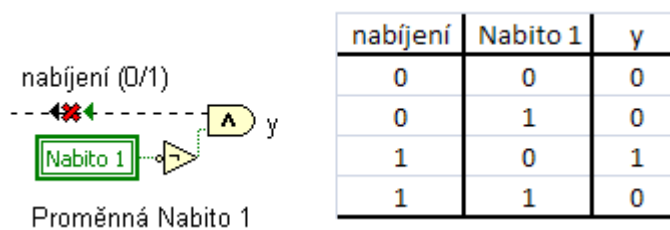
Vyhodnocování průběhu nabíjení jednotlivých akumulátorů

V práci je použito šest systémů, které nabíjejí šest akumulátorů. Všechny systémy jsou programově shodné, proto dále budu popisovat pouze jeden systém. Ostatní se liší pouze číslem u označení jednotlivých veličin, indikátorů a podobně. Na obrázku 37. je zobrazen jeden z šesti vyhodnocovacích bloků průběhu nabíjení.



Obr. 37. Vyhodnocovací blok průběhu nabíjení

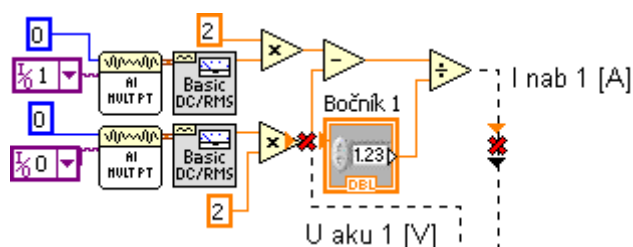
Vyhodnocovací blok průběhu nabíjení je aktivní pouze tehdy, pokud má signál z bloku rozhodování režimu nabíjení / vybíjení hodnotu true (logická 1) a zároveň je proměnná nabito rovna hodnotě false (logická 0). V momentě kdy vyhodnocovací blok průběhu nabíjení vyhodnotí, že je akumulátor nabit na požadovanou úroveň, nastaví proměnnou nabito na true (logická 1) a v dalším měřicím cyklu je nabíjení ukončeno tím, že je na reléovou kartu této pozice poslána logická 0 a relé připojující akumulátor k nabíječi je rozpojeno. Tuto funkci zajišťuje logická funkce AND (obrázek 38.).



Obr. 38. Funkce AND pro vstupní signál nabíjení a proměnnou nabito

Měření napětí akumulátoru a nabíjecího proudu je vytvořeno měřicí částí vyhodnocovacího bloku průběhu nabíjení (obrázek 39.). Naměřená data jsou nejprve vynásobena dvěma, to je z důvodu malého napěťového rozsahu (10 V), který má multifunkční měřicí karta na svých analogových vstupech. Skutečné měřené napětí je větší než 10 V, a toto

napětí není měřicí karta schopna zpracovat. Proto jsou na měřicí vstupy dány děliče napětí se stejnými rezistory (dělicí poměr 0,5) a poté v programu změřená hodnota vynásobena dvěma. Protože jsou analogové vstupy zapojeny jako single-ended (se společnou zemí) musí se pro měření nabíjecího proudu (vypočítává se z úbytku napětí na odporovém bočníku v kladné větvi) použít tzv. diferenční měření. Tato metoda měření spočívá ve výpočtu rozdílového napětí (napětí na bočníku). Musíme změřit napětí před bočníkem a druhé napětí za bočníkem ve směru procházejícího, nabíjecího proudu. Tato napětí se poté od sebe odečtou a vyjde nám úbytek napětí na bočníku (rozdílové napětí), ze kterého jednoduše zjistíme nabíjecí proud podělením hodnotou snímacího bočníku (v našem případě 0,095 Ω). Tím jsme získali hodnotu nabíjecího proudu. Zjištěné přepočítané hodnoty napětí akumulátoru a nabíjecího proudu jsou zobrazeny indikátory I nab, U aku, na front panelu. Tento blok měření je v režimu simulace odpojen a místo skutečného měření se dále v programu uvažují pouze uživateli nastavené konstanty ze záložky nastavení.



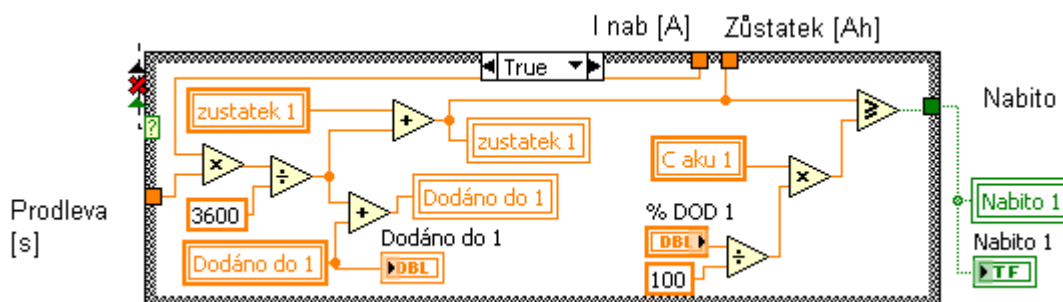
Obr. 39. Měřicí část vyhodnocovacího bloku průběhu nabíjení

Pomocí přepínače na front panelu, který je umístěn mezi indikátory U aku a I nab se ovládá, zda se bude ukončovat nabíjení po dodání určitého náboje, nebo se nabíjení nebude ukončovat a pouze je na nabíječi nastaveno konstantní napětí, které omezuje napětí akumulátoru (nabíjení se ukončí, až skončí doba režimu nabíjení např. 21 hodin). Podle polohy přepínače je poté v programu zvolen blok, který vyhodnocuje požadované veličiny. Při vyhodnocování podle náboje dodaného do akumulátoru je rozhodovací část vyhodnocovacího bloku na obrázku 40. Jinak je pouze počítán dodaný náboj, viz obrázek 41. Nastavení nabíjecího napětí (U nab) nemá na chod programu žádný vliv. Tento indikátor je pouze pro informaci obsluhy, jaké je ručně nastavené napětí nabíječe.

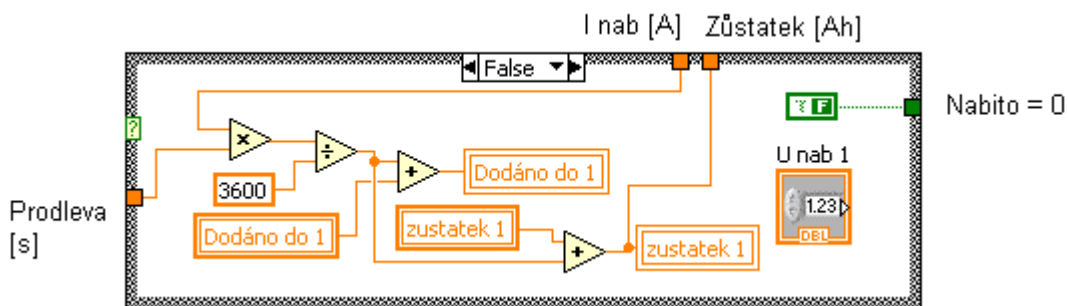
Ukončení nabíjení podle náboje dodaného do akumulátoru

Do tohoto bloku jsou přivedeny tyto signály: délka jednoho měřicího cyklu, nabíjecí proud. Podle těchto signálů je vypočítán náboj dodaný do akumulátoru za aktuální měřicí cyklus v Ah. Ten je poté přičten k celkovému náboji, který byl do akumulátoru již dodán a tento celkový dodaný náboj v Ah je zobrazen na front panelu v poli Dodáno do:.

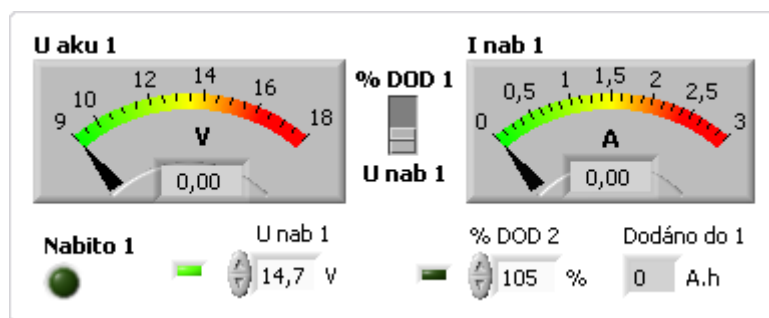
Pro zjištění celkového náboje, který se má do akumulátoru dodat se provádí výpočet podle zadané kapacity akumulátoru (např. kapacita akumulátoru je 12 Ah. Akumulátor se má nabít na 105 % DOD. Celkový náboj, který má být v akumulátoru je tedy $12 \cdot 1,05 = 12,6$ Ah). Protože ne ve všech systémech se vybíjí akumulátor na 100 % DOD, musí být zbytkový náboj, který zůstal v akumulátoru, zohledněn při nabíjení. K proměnné zůstatek, ve které je uložena hodnota aktuálního náboje v akumulátoru, se v každém měřicím cyklu přičte náboj dodaný v aktuálním cyklu. Jakmile aktuální náboj v akumulátoru dosáhne požadované hodnoty (popř. je dodaný náboj větší), je nabíjení ukončeno (proměnná nabito se nastaví na logickou 1, rozsvítí se LED indikátor nabito na front panelu, ovládání multiplexu reléových karet odpojí nabíječ od akumulátoru). Do tohoto bloku jsou přivedeny signály: délka jednoho cyklu měření, aktuální nabíjecí proud. Výstup z bloku je signál, který nabývá hodnot true (logická 1 - nabito), nebo false (logická 0).



Obr. 40. Rozhodovací část vyhodnocovacího bloku průběhu nabíjení, ukončení nabíjení při dosažení nastaveného dodaného náboje



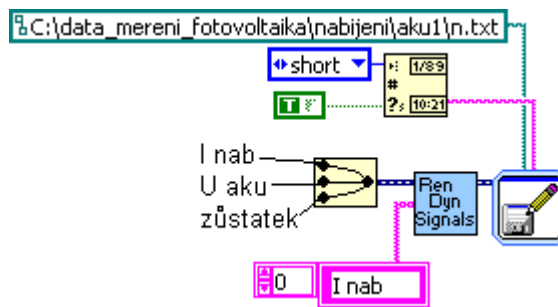
Obr. 41. Rozhodovací část vyhodnocovacího bloku průběhu nabíjení, nabíjení na konstantní napětí



Obr. 42. Front panel jednoho nabíjecího systému

Poslední část vyhodnocovacího bloku průběhu nabíjení má na starost uložení dat, naměřených během nabíjecího cyklu, do souboru. Tato část je zobrazena na obrázku 43. Naměřená data se ukládají do textových souborů. V každém měřicím cyklu se do souboru přidá jeden řádek. Vytváří se jeden soubor pro každý akumulátor a jeden cyklus nabíjení. Soubory jsou pojmenovány podle kalendářního data a času, kdy byly vytvořeny.

Formát názvu souboru je následovný: n_rr-mm-dd_hhmm_č.txt kde n značí, že se jedná o nabíjení, rr - aktuální kalendářní rok, mm – kalendářní měsíc, dd – den v měsíci, hhmm je čas, kdy byl soubor vytvořen a č je číslo souboru (Například: n_09-04-16_1741_1.txt označuje soubor, který byl vytvořen v 17:41 hodin, 16. dubna 2009, jsou v něm data o nabíjení a je to první datový soubor.).



Obr. 43. Uložení dat do souboru

`C:\data_mereni_fotovoltaika\nabijeni\aku1\n.txt` - název souboru

`short` - časový komentář pro každý nový řádek měření přidaný do souboru

`Pien Dyn Signals` - Sloučení tří ukládaných signálů a přiřazení názvů jednotlivým signálům (I nab [A], U aku [V], zůstatek [Ah])

`File Write` - uložení dat do souboru

Všechna data pořízená během procesu nabíjení jsou ukládána do této složky: C:\data_mereni_fotovoltaika\nabijeni\. Dále jsou vytvořeny pro každý akumulátor zvláštní složky (pojmenované aku 1 – aku 6).

Blok vybíjení

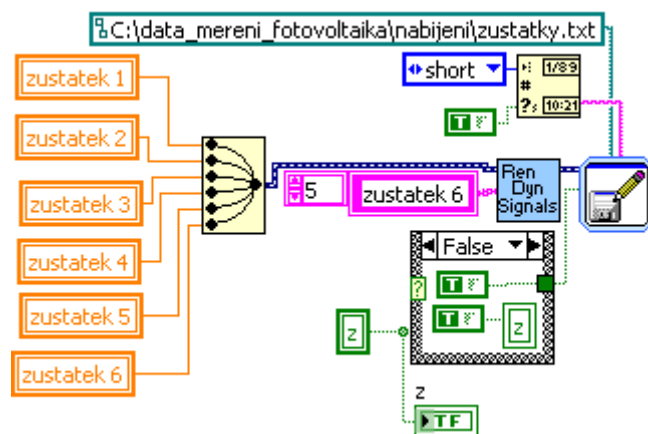
Blok vybíjení bude aktivní v době, kdy je výstupní signál, z bloku rozhodování o režimu nabíjení / vybíjení, false (logická 0). Tento signál, který se připojuje na zelený otazník, ovlivňuje smyčku typu Case Structure, která reaguje na hodnoty true / false tak, že v každém případě se provádí kód, který je umístěn ve smyčce pro danou hodnotu rozhodovacího signálu. Zobrazení smyčky typu Case Structure je na obrázku 34.

To znamená, že pokud je výstupní signál z bloku rozhodování o režimu false vykonává se programový kód vybíjení. Pokud je signál true, vykonává se programový kód nabíjení.

Blok vybíjení lze rozdělit na tyto funkční části:

- Ovládání multiplexu spínacích reléových karet.
- Vyhodnocování průběhu vybíjení jednotlivých akumulátorů.
- Nulování proměnných Dodáno.
- Nastavení proměnných Nabito na hodnotu false.
- Uložení stavu aktuálního nabití akumulátorů.

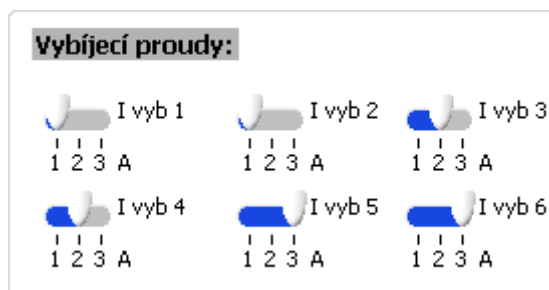
V prvním kroku, kdy se program přepne do režimu vybíjení, se provede nulování proměnných dodáno a nastavení proměnných nabito na hodnotu false. Ve stejnou dobu se provede uložení aktuálního stavu nabití akumulátorů do jednoho souboru, aby měl uživatel přehled, v jakém stavu se akumulátory nacházejí po nabíjení (viz. Obrázek 44.). Tento soubor je pojmenován: `zustatky_rr-mm-dd_hhmm_č.txt`, kde `rr` - aktuální kalendářní rok, `mm` – kalendářní měsíc, `dd` – den v měsíci, `hhmm` je čas, kdy byl soubor vytvořen a `č` je číslo souboru (Například: `zustatky_09-04-16_1741_1.txt` označuje soubor, který byl vytvořen v 17:41 hodin, 16. dubna 2009). Soubor je umístěn ve složce nabíjení. Při nastavení proměnných nabito na hodnotu false zhasnou LED indikátory v záložce Nabíjení. Podle proměnných nabito jsou ovládány relé pro nabíječe. Tímto krokem budou všechny nabíječe odpojeny.



Obr. 44. Uložení aktuálního stavu nabití všech akumulátorů, po ukončení nabíjení

Ovládání multiplexu spínacích reléových karet v režimu vybíjení

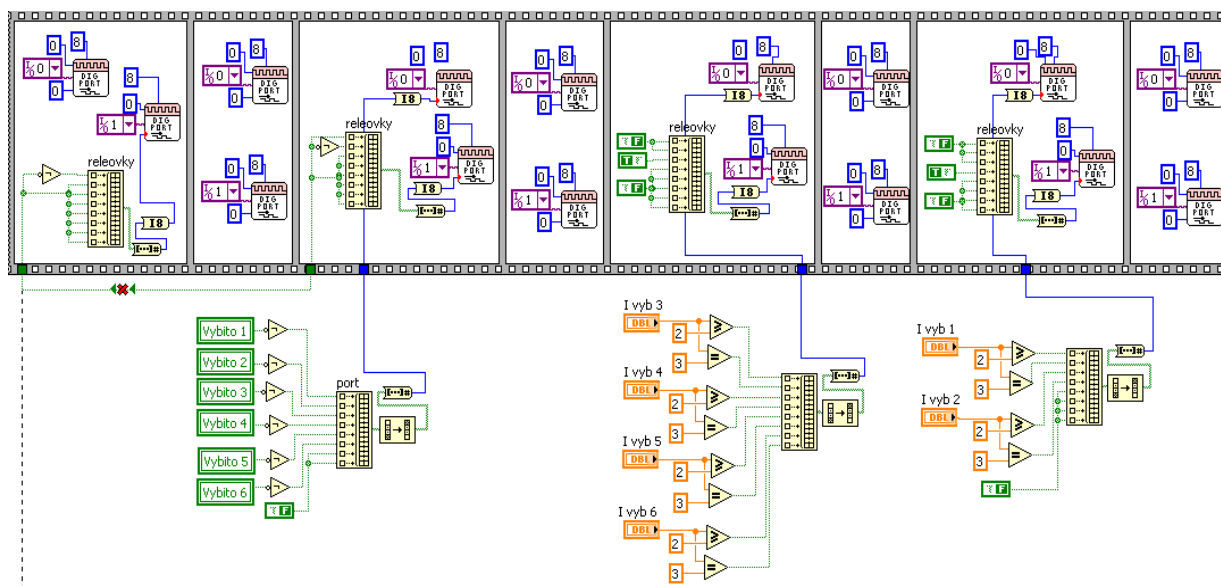
Stejně jako v režimu nabíjení je ovládání multiplexu spínacích reléových karet vytvořeno pomocí prvku Flat Sequence Structure (obrázek 35.). V tomto případě je samotné ovládání multiplexu o něco složitější než v režimu nabíjení. Je potřeba ovládat velikost vybíjecího proudu ve třech krocích 1, 2 nebo 3 A. Tento vybíjecí proud je nastaven pro každý akumulátor kontrolérem v záložce nastavení (viz. obrázek 45.).



Obr. 45. Front panel nastavení vybíjecích proudů

Na obrázku 46. je zobrazen diagram celého řízení multiplexu v režimu vybíjení. Celkem se skládá z těchto osmi po sobě vykonávaných kroků:

1. odpojení nabíječů,
2. nulování portů,
3. odpojení vybíječů podle aktuálního stavu vybití akumulátoru,
4. nulování portů,
5. nastavení vybíjecích proudů pro akumulátory 3 až 6,
6. nulování portů,
7. nastavení vybíjecích proudů pro akumulátory 1 a 2,
8. nulování portů.

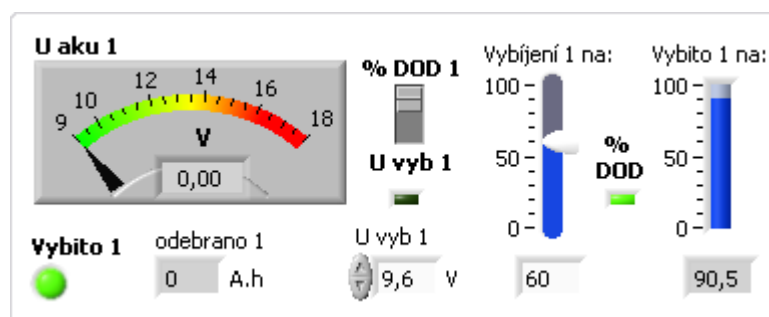


Obr. 46. Ovládání multiplexu spínacích reléových karet v režimu vybíjení

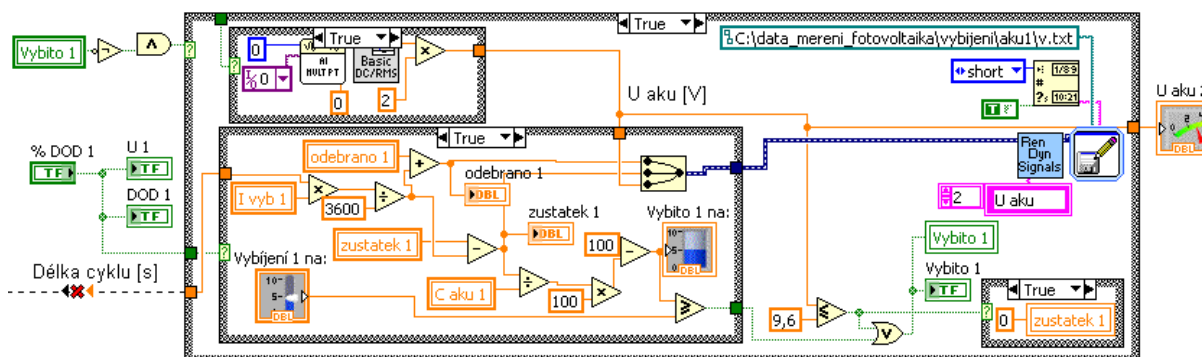
Kroky 1 až 4 jsou analogické k multiplexu nabíjení, místo nabíječů jsou použity vybíječe a místo proměnných nabitů, proměnné vybití. Další kroky slouží k nastavení vybíjecího proudu. V režimu simulace programu jsou multiplexy vypnuty.

Vyhodnocování průběhu vybíjení jednotlivých akumulátorů

Tento blok vyhodnocuje, do jaké míry jsou akumulátory vybity, a podle stavu vybití odpojuje vybíječe. Front panel bloku je na obrázku 47. Diagram bloku je zobrazen na obrázku 48. Na front panelu jsou vidět ke každému akumulátoru tyto informace: napětí akumulátoru [V], náboj odebraný během probíhajícího vybíjecího cyklu [Ah] (položka odebráno), přepínač pro vyhodnocování ukončení nabíjení (přepnuto na: % DOD – vyhodnocuje se zůstatkový náboj, U vyb – vyhodnocuje se úroveň napětí akumulátoru), kontrolér pro nastavení úrovně vybíjení [% DOD], indikátor aktuální úrovně vybití [% DOD], LED indikátory režimu vyhodnocování (U vyb - % DOD) a vybití akumulátoru na požadovanou úroveň.



Obr. 47. Front panel vyhodnocovacího bloku

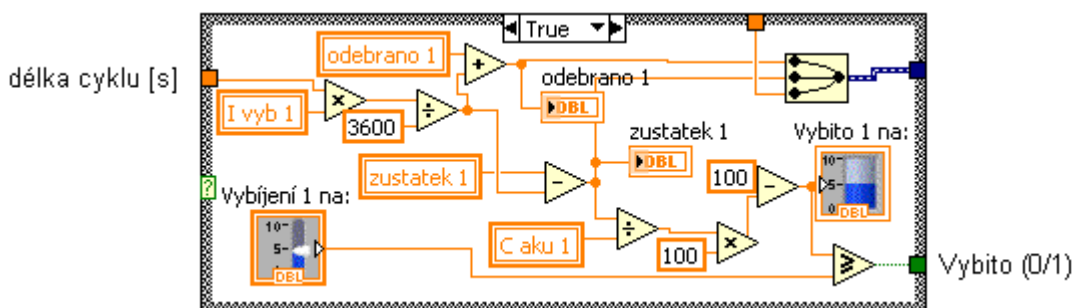


Obr. 48. Blok vyhodnocování průběhu vybíjení

V režimu vybíjení sledujeme úroveň vybití akumulátoru podle jeho napětí, nebo zůstatkového náboje v akumulátoru. V každém případě se vybíječe odpojí (zastaví se vybíjení) v momentě, kdy napětí akumulátoru klesne na 9,6 V. Tato hodnota napětí je brána jako referenční a při jejím dosažení je nastaven zůstatek náboje v akumulátoru na 0 Ah. Odpojení akumulátoru při poklesu jeho napětí na 9,6 V slouží také jako ochrana proti hlubokému vybíjení.

Vyhodnocování průběhu vybíjení podle zůstatkového náboje v akumulátoru

Tato část (obrázek 49.), sleduje aktuální zůstatek náboje v akumulátoru. Tuto hodnotu srovnává s nastavenou úrovní vybíjení a při dosažení shody odpojí vybíječ a ukončí vybíjení. Pro informaci o aktuální hodnotě náboje v akumulátoru je nutné znát náboj v akumulátoru po celou dobu cyklování a hodnoty si předávat mezi režimy nabíjení a vybíjení. Hodnota aktuálního náboje v akumulátoru je neustále v proměnné zůstatek a je zobrazována v záložce nastavení pro každý akumulátor (obrázek 50.). Uživatel má tak stále aktuální informaci o stavu akumulátoru.



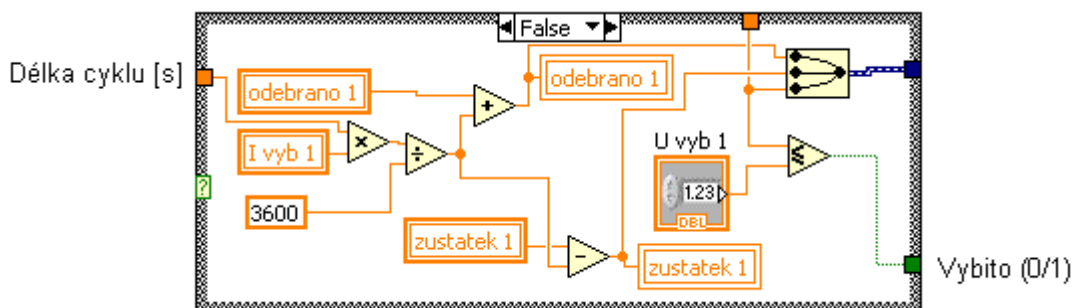
Obr. 49. Vyhodnocování průběhu vybíjení podle zůstatkového náboje v akumulátoru

Energie v akumulátoru:		
zustatek 1	zustatek 2	zustatek 3
0 A.h	0 A.h	0 A.h
zustatek 4	zustatek 5	zustatek 6
0 A.h	0 A.h	0 A.h

Obr. 50. Zobrazení aktuálních zůstatků náboje v akumulátorech

Vyhodnocování průběhu vybíjení podle napětí akumulátoru

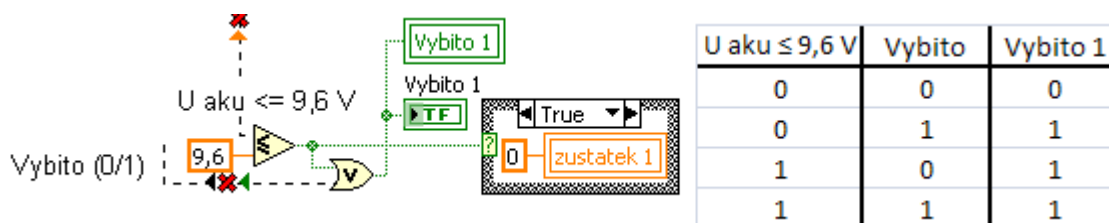
Tento blok ukončuje vybíjení podle aktuálního napětí na akumulátoru. Při dosažení nastavené hodnoty odpojí vybíječ, a tím ukončí vybíjení. Také v tomto režimu je sledován aktuální náboj uložený v akumulátoru a zobrazen pomocí proměnné zůstatek (obrázek 51.).



Obr. 51. Vyhodnocování průběhu vybíjení podle napětí akumulátoru

Ochrana proti hlubokému vybití

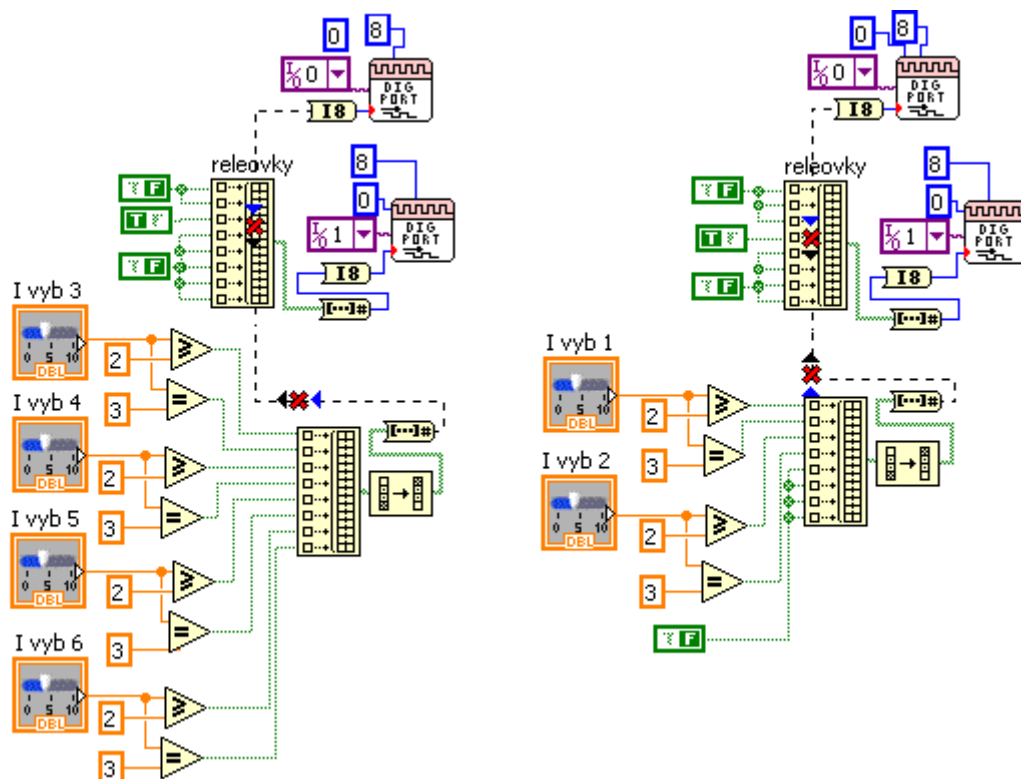
Při poklesu napětí na akumulátoru na 9,6 V a méně, se odpojí akumulátor od vybíječe a vybíjení se zastaví. Tím je zajištěna ochrana proti hlubokému vybití akumulátoru. Vzhledem k tomu, že k poklesu napětí může z různých důvodů (např. pokles kapacity akumulátoru, mezičlánkový zkrat...) dojít dříve, než je počítáno, je při dosažení napětí akumulátoru 9,6 V vynulován aktuální zůstatek v akumulátoru.



Obr. 52. Ochrana proti hlubokému vybití

Nastavení vybíjecího proudu

Vybíjecí proud se dá nastavit ve třech krocích 1, 2 a 3 A, pro každý akumulátor zvlášť. Nejprve se zjistí hodnota nastavená kontrolérem v záložce nastavení a podle ní se nastaví jednotlivá relé na reléové kartě (viz. obrázek 53.).



Obr. 53. Nastavení vybíjecího proudu

Režim simulace programu

Pro odladění programu v domácích podmínkách (bez měřicí karty a hardwaru), jsem do programu zařadil režim simulace. V tomto režimu jsou vstupy měřicí karty nahrazeny kontroléry v záložce nastavení, kterými se dá napětí akumulátoru a nabíjecí proud plynule měnit. Jsou odpojeny všechny vstupy a výstupy měřicí karty. Tento režim je také z důvodu předvedení programu na počítačích bez příslušného hardwaru a pro zamezení chybové hlášky, pokud program nenalezne požadovaný hardware. Po spuštění programu je defaultně nastaven režim simulace, ten je potřeba vypnout tlačítkem simulace.

Měřicí program - Kapacita

Program slouží k automatizovanému měření kapacity akumulátorů. Vždy po nějaké době běhu cyklování nabíjení – vybíjení akumulátorů zapojených v systémech je potřebné změřit jejich kapacitu a vyhodnotit vliv režimu na změnu kapacity akumulátoru.

Měření kapacity akumulátoru obstarává program *Kapacita*. Pro funkčnost je nutné nahradit fotovoltaické panely laboratorním zdrojem. Ostatní zapojení systému zůstává shodné.

Program nejdříve provede vybití všech akumulátorů na 100 % DOD, tj. 9,6 V. Tímto prvním vybitím se zjistí zůstatky náboje po předchozím cyklování a můžou se porovnat se zůstatky náboje z programu *Fotovoltaika*. Poté začne nabíjení. Nabíjí se na konstantní napětí 14,7 V po předem nastavenou dobu (např. 20 hodin). Po tomto nabití se akumulátory vybíjejí na 9,6 V (100 % DOD). Po skončení druhého vybíjení na 9,6 V je známa kapacita akumulátoru.

Závěr

Vypracováním této práce jsem se dozvěděl dostatek informací k vytvoření šesti autonomních solárních systémů, u kterých bude v každém systému simulován jiný provozní režim olověného akumulátoru.

Ze změřených AV zatěžovacích charakteristik jsem se dozvěděl základní technické parametry použitých fotovoltaických článků. Vzhledem k tomu, že technické parametry od výrobce fotovoltaických panelů nemám k dispozici a k výborným slunečním podmínkám při samotném měření, budou změřené parametry brány jako referenční.

Při měření AV charakteristik byla zjištěna porucha panelu 6. Tento panel měl během měření napětí nakrátko pouze 13,2 V. Jeho účinnost je 7,25 % a je nejmenší ze všech ostatních panelů. Také dodávaný výkon 23,5 W byl výrazně menší v porovnání s ostatními panely. Z toho lze usuzovat na zkrat mezi fotovoltaickými články tohoto panelu. Nemožnost rozdělení panelu a případné opravy nás nutí k vynechání tohoto panelu z celého experimentu. Také nízké elektrické napětí dodávané tímto panelem je téměř nepoužitelné k nabíjení 12 V akumulátoru, navíc s přihlédnutím na úbytek napětí na nabíječi.

Během práce byly některé solární panely vyměněny. Panel, který byl zřejmě zkratován, byl vyměněn za panel z amorfního křemíku, který má napětí naprázdno cca 60 V. Tento panel nebyl dále v práci použit, protože vyrobený hardware nebyl navržen na tak vysoké napětí. Panel 1 byl vyměněn za nový od firmy Solartec (typ: STR 36-50, monokrystalický křemík, $P_{max} = 50 \text{ Wp}$, $U_{nom} = 12 \text{ V}$, $U_{mpp} = 17,4 \text{ V}$, $I_{mpp} = 2,98 \text{ A}$, $U_{oc} = 21,5 \text{ V}$, $I_{sc} = 3,27 \text{ A}$). Panel od firmy Solartec vykazuje lepší parametry, než udávají katalogové údaje od výrobce. Měření AV charakteristik u tohoto panelu nebylo provedeno.

Další fází této práce bylo vytvoření ovládacího a měřicího programu ve vývojovém prostředí LabVIEW 8.5, zkompletování solárních systémů (zapojení nabíječů, vybíječů, akumulátorů) a celkové zprovoznění těchto systémů. Byly vytvořeny dva programy (*Fotovoltaika a Kapacita*).

Program *Fotovoltaika* zabezpečuje cyklování nabíjení / vybíjení v reálných podmínkách autonomního solárního systému a zaznamenává naměřené hodnoty do souborů. Program ovládá připojování a odpojování nabíječů a vybíječů podle nastavených parametrů, vyhodnocuje jednotlivé režimy a vypočítává aktuální náboj v akumulátoru.

Program *Kapacita* zajišťuje automatizované měření kapacity akumulátorů připojených do systémů. Programem *Kapacita* jsou zjištěny zůstatky náboje v akumulátorech po cyklování pro srovnání s výstupy z programu *Fotovoltaika*. Poté program vypočítá kapacity akumulátorů pro vyhodnocení vlivu nastavených režimů na kapacitu akumulátoru. Program *Kapacita* byl vyzkoušen ve dnech 12. – 14. 5. 2009. Vzhledem k odladování programu, kdy se akumulátory částečně vybíjely během práce, nejsou brány zůstatky jako vhodné pro porovnání s programem *Fotovoltaika*. Byly změřeny kapacity akumulátorů (Aku 1 = 11,64 Ah, Aku 3 = 12,12 Ah, Aku 4 = 11,42 Ah, Aku 5 = 11,58 Ah, Aku 6 = 12,02 Ah). Tím byla ověřena funkčnost programu *Kapacita*.

Přínos práce je v automatizaci měření, ovládání a nastavování autonomních solárních systémů s minimální nutností zásahu uživatele do procesu. Nutné uživatelské zásahy jsou minimalizovány na občasnou kontrolu správné funkčnosti, dolití elektrolytu u akumulátorů, zvláště v případě akumulátoru 4, který je nabíjen bez omezení a zpracování naměřených výsledků. V akumulátoru 4 po několika slunečných dnech výrazně klesla hladina elektrolytu. Tento akumulátor je nejvíce zatěžován – nabíjení bez omezení, vybíjení na 100 % DOD – tento stav akumulátoru nevyhovuje v případě dlouhodobého použití. Na druhou stranu je do něj dodáno a z něj odebráno nejvíce energie.

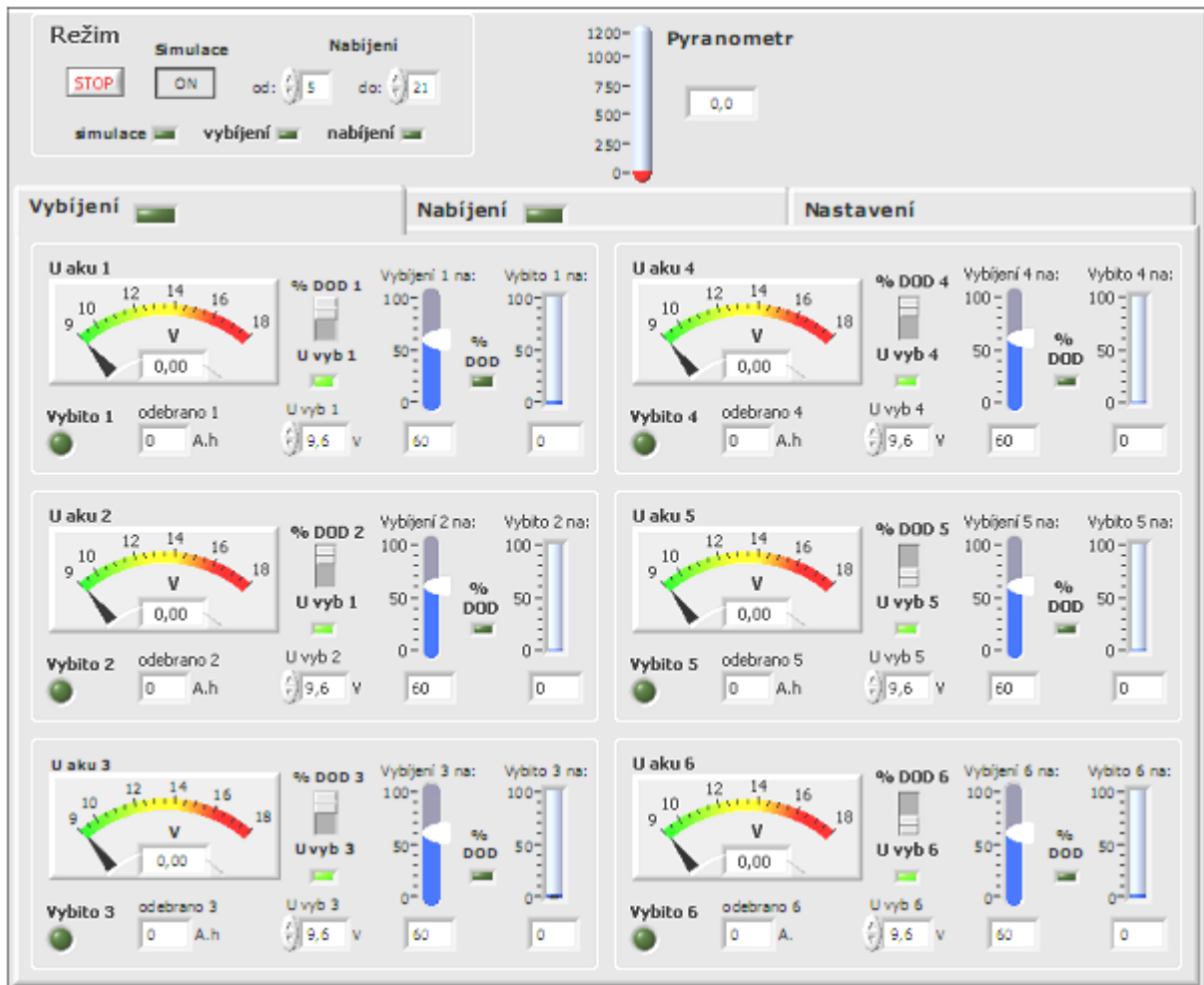
Použitá literatura

- [1] *Solartec : výroba solárních článků a fotovoltaické aplikace* [online]. 1993-2009 [cit. 2009-04-10]. Dostupný z WWW: <<http://www.solartec.cz/cs.html>>.
- [2] Jak se starat o naše akumulátory?. *Airsoftové recenze* [online]. 2003 [cit. 2009-04-10]. Dostupný z WWW: <<http://www.airsoftguns.cz/article.php?&id=74>>.
- [3] ALDOUS, Scott. How Solar Cells Work. *How Stuff Works: Physical science* [online]. 2006 [cit. 2009-04-10]. Dostupný z WWW: <<http://science.howstuffworks.com/solar-cell6.htm>>.
- [4] CENEK, Miroslav, et al. *Akumulátory: od principu k praxi*. 1. vyd. Praha 8 : FCC PUBLIC s.r.o, 2003. 248 s. ISBN 80-86534-03-0.
- [5] ÚEEN FEKT VUT. *Laboratoř nekonvenčních přeměn: Ústav elektroenergetiky FEKT VUT v Brně* [online]. 2006, 17. 07. 2007 [cit. 2008-04-09]. Dostupný z WWW: <<http://www.ueen.feec.vutbr.cz/laboratory-of-unconventional-energy-conversion/index.php>>.

Příloha 1. Front panel programu *Fotovoltaika*, záložka nabíjení



Příloha 2. Front panel programu *Fotovoltaika*, záložka vybíjení



Příloha 3. Front panel programu *Fotovoltaika*, záložka nastavení

Režim **Simulace** **Nabíjení**

STOP **ON** od: 5 do: 21

simulace vybití nabíjení

Pyranometr

1200-
1000-
750-
500-
250-
0-

0,0

Vybití **Nabíjení** **Nastavení**

Prodleva mezi měřeními:

Zapnuto Prodleva Číslo měř.

 1 min. 0

Bočníky pro měření nabíjecího proudu:

Bočník 1 Bočník 2 Bočník 3
0,095 Ohm 0,095 Ohm 0,095 Ohm

Bočník 4 Bočník 5 Bočník 6
0,095 Ohm 0,095 Ohm 0,095 Ohm

Vybití proudy:

I vyb 1 I vyb 2 I vyb 3
1 2 3 A 1 2 3 A 1 2 3 A

I vyb 4 I vyb 5 I vyb 6
1 2 3 A 1 2 3 A 1 2 3 A

Kapacity akumulátorů:

C aku 1 C aku 2 C aku 3
12 A.h 12 A.h 12 A.h

C aku 4 C aku 5 C aku 6
12 A.h 12 A.h 12 A.h

Energie v akumulátoru:

zůstatek 1 zůstatek 2 zůstatek 3
0 A.h 0 A.h 0 A.h

zůstatek 4 zůstatek 5 zůstatek 6
0 A.h 0 A.h 0 A.h

Simulace:

U aku 1 U aku 4
10 V 10 V

U aku 2 U aku 5
10 V 10 V

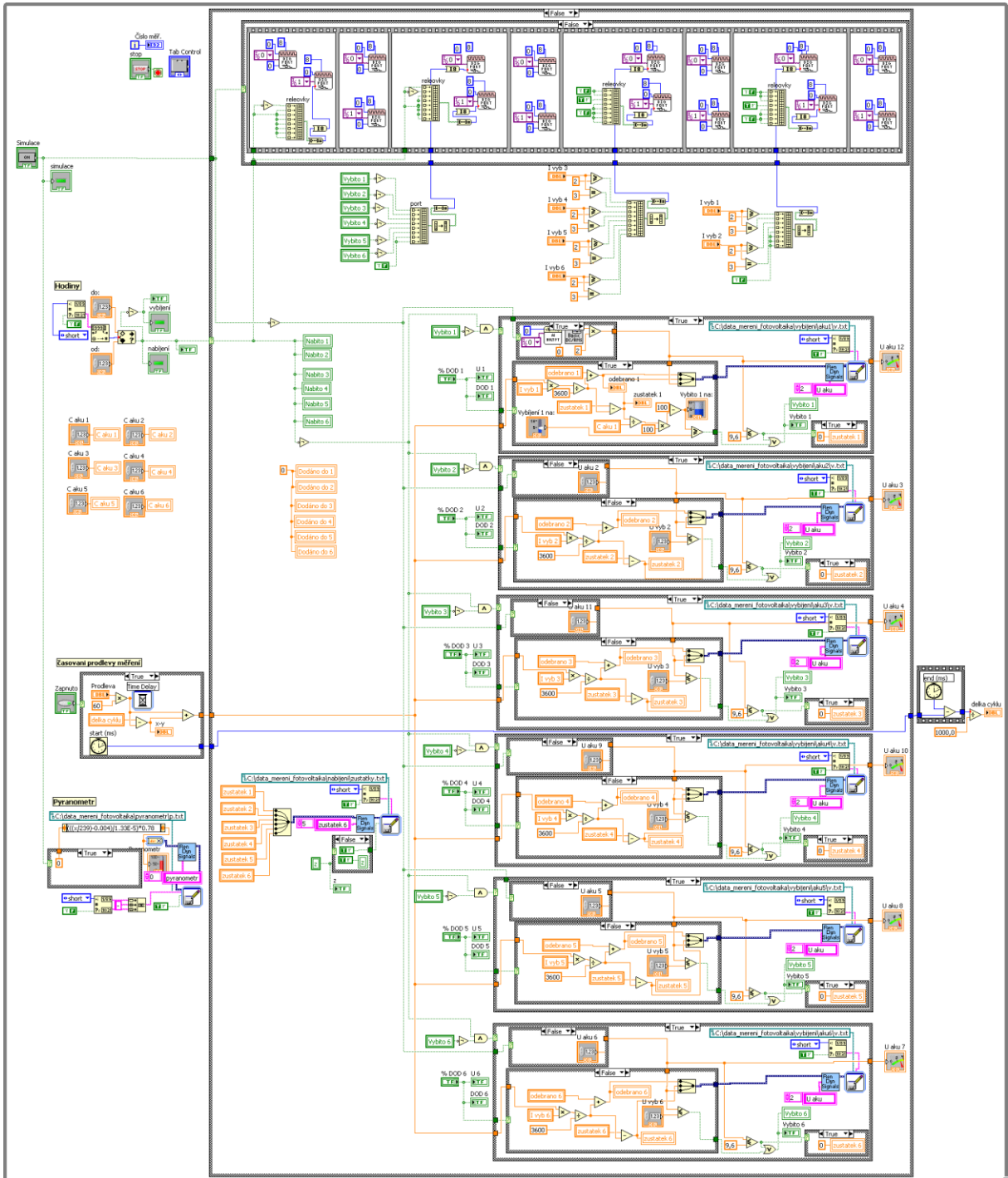
U aku 3 U aku 6
10 V 10 V

I nab 1 I nab 4
1 A 1 A

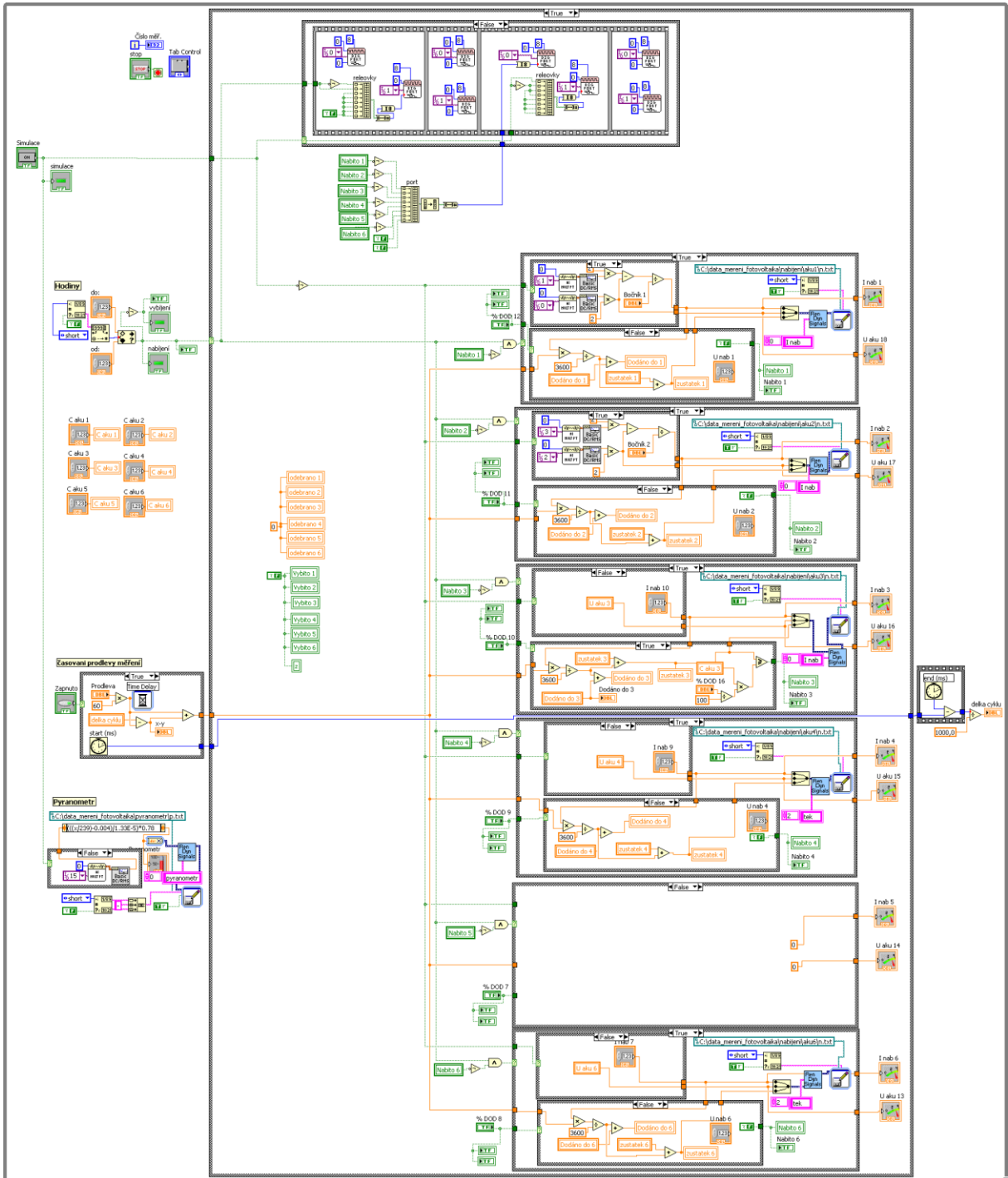
I nab 2 I nab 5
1 A 1 A

I nab 3 I nab 6
1 A 1 A

Příloha 4. Náhled na diagram programu *Fotovoltaika*, vybíjení



Příloha 5. Náhled na diagram programu *Fotovoltaika*, nabíjení

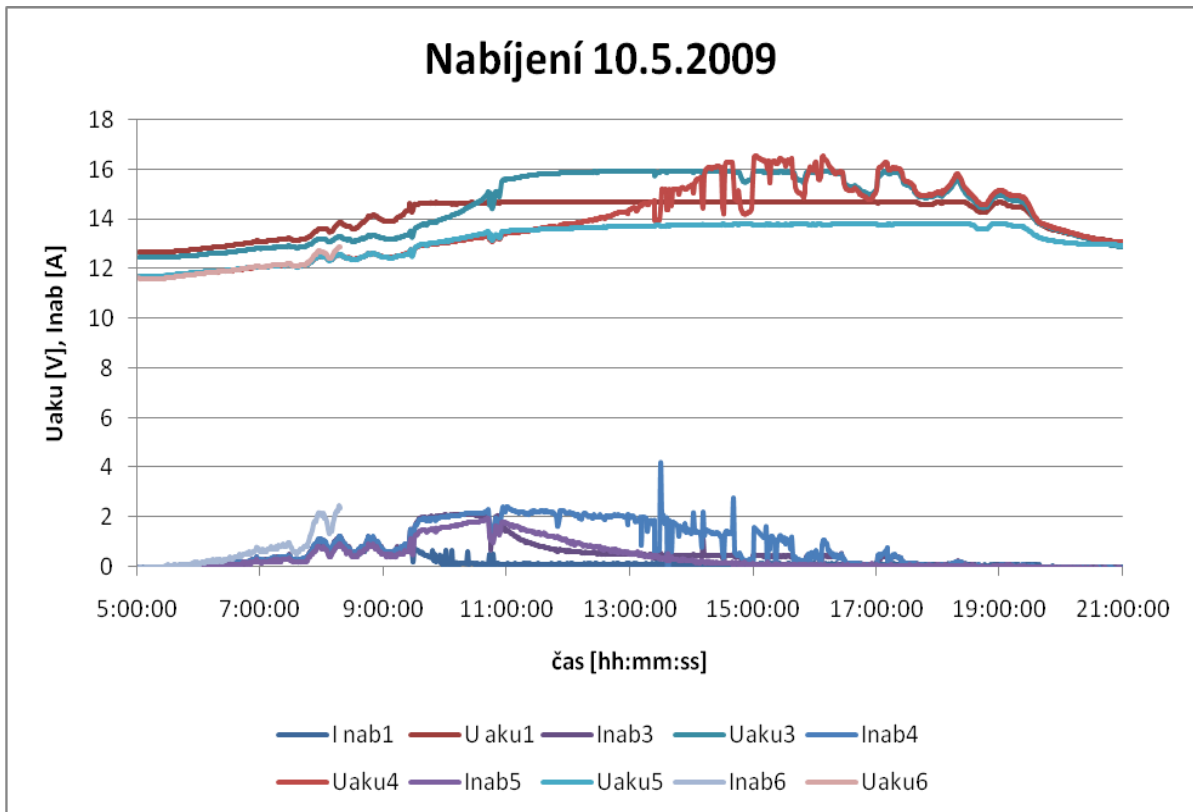


Příloha 6. Front panel programu *Kapacita*

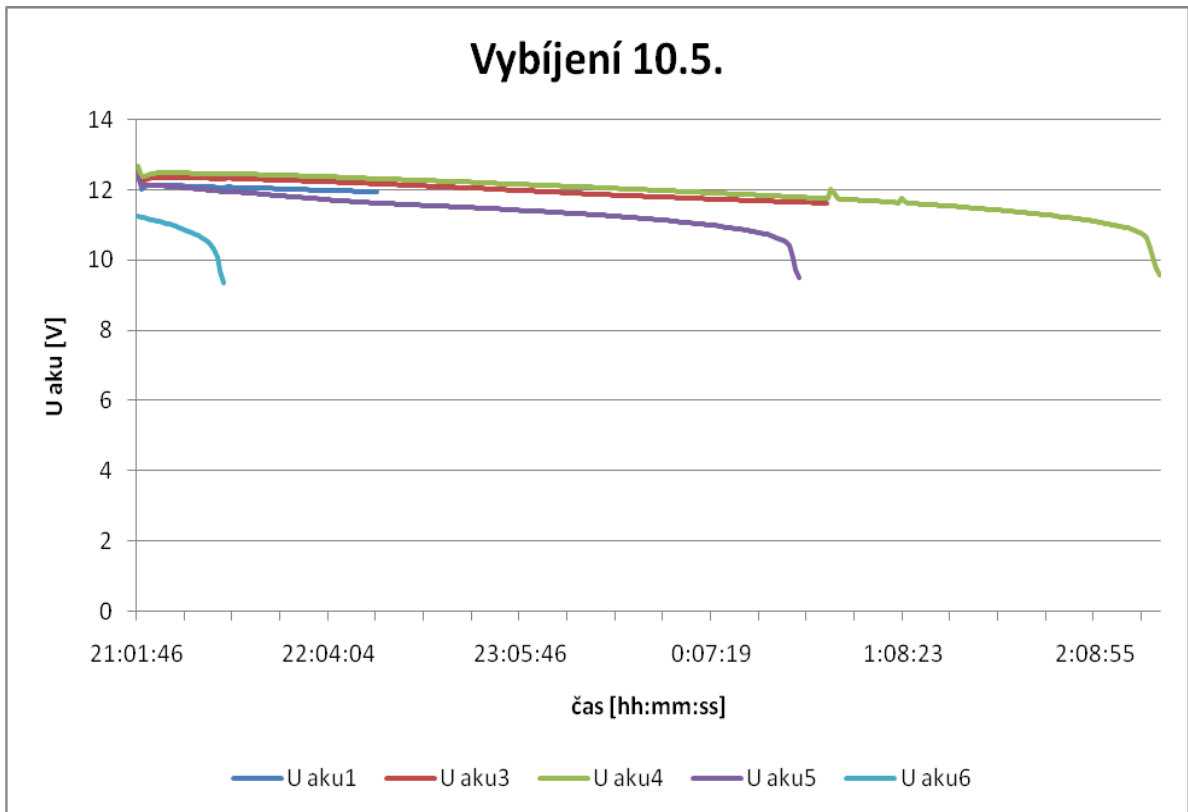
The screenshot displays the front panel of the 'Kapacita' program, which manages a sequence of operations for six battery units. The interface is organized into several sections:

- Sequence Control:** A vertical arrow on the left indicates the process flow from 'start' to 'konec' (end). Seven steps are listed:
 1. odpojení nabíječů (disconnect chargers)
 2. připojení vybíječů (connect dischargers)
 3. vybíjení 1 -> zůstatek (discharge 1 -> residual)
 4. nabíjení (charging)
 5. odpojení nabíječů 2. (disconnect chargers 2)
 6. připojení vybíječů 2. (connect dischargers 2)
 7. vybíjení 2, měření kapacity (discharge 2, capacity measurement)
- STOP Buttons:** Red buttons labeled 'STOP' are placed between steps 3-4, 4-5, and 6-7, with corresponding labels: 'stop 1. vybíjení', 'stop nabíjení', and 'stop vybíjení 2'.
- Time and Date Fields:**
 - 'aktuální čas' (current time): 00:00:00 DD.MM.YYYY
 - 'začátek vybíjení 1' (start of discharge 1): 00:00:00 DD.MM.YYYY
 - 'začátek nabíjení' (start of charging): 00:00:00 DD.MM.YYYY
 - 'začátek vybíjení 2' (start of discharge 2): 00:00:00 DD.MM.YYYY
- Duration Fields:**
 - 'délka vybíjení 1' (duration of discharge 1): 0 hodin
 - 'délka nabíjení' (duration of charging): 0 hodin
 - 'délka vybíjení 2' (duration of discharge 2): 0 hodin
- Current and Capacity Indicators:**
 - 'I vybíjení 1' (discharge current 1): 1 2 3 A
 - 'nabíjet' (charging): 0,1 hodin
 - 'I vybíjení 2' (discharge current 2): 1 2 3 A
- Measurement Data for 6 Units:** Each unit (1-6) has a set of controls:
 - U aku [n]:** Voltage gauge (0-18V) and 'zůstatek [n]' (residual) field (0 Ah).
 - Vybíto [n]:** Discharge indicator (green dot).
 - U vyb [n]:** Discharge voltage gauge (0-9.6V).
 - kapacita [n]:** Capacity field (0 Ah).

Příloha 7. Grafické vyhodnocení dat z měření 10. 5. 2009, režim nabíjení



Příloha 8. Grafické vyhodnocení dat z měření 10. 5. 2009, režim vybíjení



Příloha 9. Grafické vyhodnocení dat z měření kapacity, režim vybíjení 2

