

VYŠŠÍ ODBORNÁ ŠKOLA, STŘEDNÍ ŠKOLA,
CENTRUM ODBORNÉ PŘÍPRAVY



ABSOLVENTSKÁ PRÁCE

Vizualizace provozu sluneční elektrárny

Sezimovo Ústí, 2023

Autor: Martin Hrubý



ZADÁNÍ ABSOLVENTSKÉ PRÁCE

Student: **Martin Hrubý**
Obor studia: 26-41-N/01 Elektrotechnika – mechatronické systémy
Název práce: **Vizualizace provozu sluneční elektrárny**
Anglický název práce: **Visualization of Solar Power Plant Operation**

Zásady pro vypracování:

1. Popište stručně systém fotovoltaické elektrárny v Laboratoři aplikované informatiky a fyziky.
2. Navrhněte způsob, který umožní přenášet měřená data ze systému fotovoltaické elektrárny do počítače (online i offline).
3. Vytvořte vizualizaci těchto měřených dat, která umožní jejich zobrazení prostřednictvím webových stránek.
4. Absolventskou práci vypracujte problémově ve struktuře odpovídající vědecké práci.

Doporučená literatura:

- [1] PODOLÁK, S. Kompaktní řídicí systém s rozhraním Ethernet, Amit spol. s. r. o. – návod na obsluhu, Praha, 2009.
- [2] ŘÍHA, Z. Detstudio. Amit spol. s. r. o. – průvodce první aplikací, Praha, 2011.

Vedoucí práce: Ing. Jiří Roubal, Ph.D., VOŠ, SŠ, COP Sezimovo Ústí

Odborný konzultant práce: Mgr. Bc. Miroslav V. Hospodářský, VOŠ, SŠ, COP Sezimovo Ústí

Oponent práce: Ing. Antonín Juránek, VOŠ, SŠ, COP Sezimovo Ústí

Datum zadání absolventské práce: **2. 9. 2022**

Datum odevzdání absolventské práce: **12. 5. 2023**

Ing. Jiří Roubal, Ph.D.

(vedoucí práce)



V Sezimově Ústí dne 2. 9. 2022

doc. PhDr. Lenka Hrušková, Ph.D.

(ředitel školy)

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou absolventskou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, manuály, SW atd.) uvedené v příloženém seznamu.

V Sezimově Ústí dne

27.8.2023



podpis

Poděkování

Děkuji především vedoucímu absolventské práce Ing. Jiřímu Roubalovi, Ph.D. za vedení této absolventské práce, jeho ochotu, věnovaný čas, trpělivost a cenné rady. Poděkování dále patří mé rodině, za poskytnutí zázemí a finanční podpory v době studia. Nemohu opomenout ani své blízké přátele, jmenovitě Bc. Daniela Doktora za metodické rady a Mgr. Jana Trojáčka za motivaci a překlad části textu do anglického jazyka.

Anotace

Absolventská práce se zabývá laboratorním modelem fotovoltaické elektrárny, která je určena pro znázornění výroby bezemisní elektrické energie, její efektivitu a využití. Své využití dále nalézá především k výukovým účelům a jako manuál k užívání. Součástí práce je stručný popis jednotlivých komponent modelu elektrárny včetně jejich parametrů. Další částí práce je přenos měřených dat na webové rozhraní včetně popisu programování webové stránky. Tato stránka dále umožňuje dálkové ovládání elektrických spotřebičů, v tomto případě tří světelných zdrojů.

Klíčová slova: Energetika, fotovoltaická elektrárna, fotopanel, PLC, AWDet, AMiT.

Annotation

The graduation thesis deals with a laboratory model of a photovoltaic power plant, which is designed to illustrate the production of emission-free electricity, its efficiency and lastly utilization. It also finds its use for teaching purposes and also as a manual for use. This graduation thesis includes a brief description of the components of the power plant model with their parameters. Another part of this thesis talks about the transfer of the measured data to the web interface and the subsequent programming of the displayed web page. The web page also illustrates the possibility of remote control of electrical appliances, where 3 lighting devices are connected as an example.

Key words: Energy, photovoltaic power plant, photovoltaic panel, PLC, AWDet, AMiT.

Obsah

Seznam použitých symbolů	ix
Seznam použitých zkratek	ix
Seznam obrázků.....	xi
Seznam tabulek.....	xiii
1 Úvod	1
2 Školní model fotovoltaické elektrárny	3
2.1 Popis důležitých komponent fotovoltaické elektrárny.....	4
2.1.1 Fotovoltaický panel	4
2.1.2 Akumulátor.....	5
2.1.3 Regulátor nabíjení akumulátoru	7
2.1.4 Střídač ABB aurora Micro-0.25-I-OUTD-230.....	8
2.1.5 Střídač CarSpa P600-12	9
2.1.6 PLC AMiNi4DW2	10
2.2 Další důležité komponenty	11
2.2.1 Odpojovače.....	11
2.2.2 Vypínače.....	11
2.2.3 Ochrana jednotlivých větví pro napájení spotřebičů.....	12
2.2.4 Zásuvky a světelné spotřebiče	12
2.2.5 Chlazení rozvodné skříně	13
2.3 Použité měřicí přístroje	16
2.3.1 Značky na měřicích přístrojích.....	16
3 Přenos měřených dat na web a jeho programování	21
3.1 Přenos měřených dat na web	21
3.2 Softwarové programy pro vizualizaci dat na webovém rozhraní	22
3.3 Programování webu v editoru AWDet	23

3.4 Vizualizace webových oken.....	24
4 Závěr	27
Literatura.....	29
Zdroje použitých obrázků	31
A Obsah příloženého CD	I
B Použitý software	III
C Časový plán absolventské práce.....	V
D Silové schéma zapojení fotovoltaické elektrárny ve školní laboratoři.....	VII
E Tvorba modelu fotovoltaické elektrárny v čase	IX
F Rozpočet projektu	XXVII

Seznam použitých symbolů

Symbol	Význam	Jednotka
<i>I</i>	elektrický proud	A
<i>P</i>	elektrický výkon	W
<i>R</i>	elektrický odpor	Ω
<i>t</i>	čas	s
<i>U</i>	elektrické napětí	V

Seznam použitých zkratek

Zkratka	Význam
AMiNi4DW2	programovatelný PLC automat od výrobce AMiT s. r. o.
AMiT	výrobce řídicích systémů a elektroniky
AWDet	programově softwarové vybavení pro tvorbu webu
AWEB	komunikační převodník – webový server
MB	megabyte – jednotka množství binárních dat
PLC	programovatelný logický automat
Ss	stejnoseměrné napětí/proud
St	střídavé napětí/proud

Seznam obrázků

Obrázek 2.1: Fotovoltaický panel umístěný na střeše školy	4
Obrázek 2.2: VA charakteristika fotovoltaického panelu	6
Obrázek 2.3: Výkonová charakteristika fotovoltaického panelu.....	6
Obrázek 2.4: Olověný akumulátor.....	7
Obrázek 2.5: Regulátor nabíjení akumulátoru CXN 10 a zobrazovač CXM	8
Obrázek 2.6: Střídač ABB aurora Micro-0.25-I-OUTD-230 s CDD jednotkou	8
Obrázek 2.7: Střídač CarSpa P600-12.....	9
Obrázek 2.8: PLC AMiNi4DW2	10
Obrázek 2.9: Světelné spotřebiče napájené z elektrárny	13
Obrázek 2.10: Čelní pohled na rozvodnou skříň sluneční elektrárny.....	14
Obrázek 2.11: Zapojení modelu sluneční elektrárny v rozvodné skříni.....	15
Obrázek 2.12: Měřidlo pro měření stejnosměrného proudu na větvích před střídači	16
Obrázek 2.13: Princip magnetoelektrického přístroje	17
Obrázek 2.14: Měřidla proudu a napětí na větvích za střídači	18
Obrázek 2.15: Princip feromagnetického přístroje.....	19
Obrázek 3.1: Komunikační jednotka (převodník)	22
Obrázek 3.2: Editační prostředí AWDet.....	24
Obrázek 3.3: Vizualizace snímaných veličin na webu	25
Obrázek 3.4: Přehled snímaných veličin a ovládání světelných spotřebičů.....	26
Obrázek E.1: Fotografie převodníku pro měření napětí a proudů pomocí PLC.....	XVII
Obrázek E.2: Převodní charakteristiky snímačů stejnosměrných napětí.....	XXIV
Obrázek E.3: Převodní charakteristiky snímače ss. proudu z fotopanelu	XXIV
Obrázek E.4: Převodní charakteristiky snímače ss. proudu z akumulátoru	XXIV
Obrázek E.5: Převodní charakteristiky snímače stř. napětí (fotop. sekce)	XXV
Obrázek E.6: Převodní charakteristiky snímače stř. napětí (akum. sekce).....	XXV
Obrázek E.7: Převodní charakteristiky snímače stř. proudu (fotop. sekce)	XXV
Obrázek E.8: Převodní charakteristiky snímače stř. proudu (ak. sekce).....	XXVI

Seznam tabulek

Tabulka F.1: Finanční rozpočet projektu.....	XXVII
--	-------

Kapitola 1

Úvod

Zelená elektřina je neodmyslitelnou součástí rostoucího trendu v moderní energetice, kdy je kladen vysoký apel na ústup od výroby pomocí fosilních paliv. Odběr zelené elektřiny je známkou ekologického smýšlení a také vyjadřuje zodpovědný přístup k životnímu prostředí.¹ Jedním ze způsobů výroby takové elektřiny je využití formy slunečního záření. To lze efektivně zachytit pomocí fotovoltaických panelů.²



Fotovoltaický panel přeměňuje sluneční záření na stejnosměrný proud pomocí fotonů slunečního záření dopadajících na P-N přechod fotodiod, ze kterých je panel složený. Po tomto dopadu získávají elektrony energii, která se následně využívá k provozu elektrických zařízení nebo nabíjení akumulátorů apod.

Práce, na kterou autor této práce navazuje, viz příloha E, se nachází v následujícím stavu. V prostorách Vyšší odborné školy, Střední školy, Centra odborné přípravy v Sezimově Ústí se na střeše hlavní budovy pro teoretickou přípravu s označením C nachází fotovoltaický panel. Tento panel je propojen s rozvodnou skříní, která je umístěna v identické budově, přesněji v Laboratoři aplikované informatiky a fyziky. Celý komplex funguje jako studijní pomůcka pro žáky střední školy a studenty vyšší odborné školy.

Cílem této práce je popsat model fotovoltaické elektrárny. Práce popisuje jednotlivé komponenty elektrárny, uvádí zatěžovací a výkonovou charakteristiku fotovoltaického panelu a podrobně specifikuje použité měřicí přístroje. Dalším cílem této práce je zobrazení napětí a proudů ze zmíněných měřidel na internetové stránce, která byla pro tyto účely naprogramována.

¹ [3] ČEZ (2023), Zelená elektřina od ČEZ [online]. [cit. 2023-08-23], (<https://www.cez.cz>).

² Obrázek zelené elektřiny převzat z (<https://www.cezesco.cz>)

Struktura této absolventské práce je následující. V kapitole 2 je čtenáři představen školní model fotovoltaické elektrárny po popisné stránce komponent, měřicích přístrojů a dále jsou zde uvedeny charakteristiky fotovoltaického panelu. Tyto komponenty včetně měřidel již byly před zásahem autora této práce zapojeny. Kapitola 3 popisuje přenos měřených dat na web a jeho programování a zároveň slouží jako stručný manuál pro práci s webovým serverem AWEB. Příloha A uvádí obsah přiloženého CD, příloha B je zaměřena na použitý software, příloha C obsahuje časový plán této absolventské práce. Dále je v příloze D silové schéma zapojení modelu fotovoltaické elektrárny. Příloha E popisuje složitou tvorbu modelu elektrárny před započítáním této absolventské práce a příloha F znázorňuje finanční rozpočet projektu.

Kapitola 2

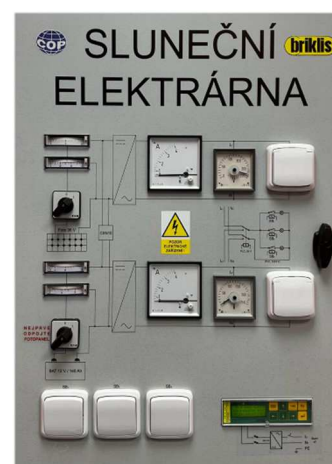
Školní model fotovoltaické elektrárny

V této kapitole bude čtenář seznámen s popisnou částí školního modelu fotovoltaické elektrárny, jejím účelem a způsobem využití. Budou zde popsány nejdůležitější komponenty modelu, charakteristiky výkonu fotovoltaického panelu a podrobný popis měřicích přístrojů, kterým je věnována zvláště podkapitola 2.3.

Fotovoltaický panel byl jakožto obnovitelný zdroj použit proto, aby studentům a návštěvníkům prostorů školní laboratoře znázornil potenciál ve snížení závislosti na konvenční elektřině. Je zapotřebí vzít na vědomí, že fotovoltaika bude do budoucna procházet dalším vývojem ve snaze posouvání jejich možností vytěžit ze slunce jeho maximální potenciál.

Elektrárna umožňuje dva způsoby využití. Jednak může simulovat reálné užití například v domácnostech a zároveň disponuje možností sběru dat o produktivitě takového hospodaření. Vyrobená elektrická energie je využívána pro napájení elektrospotřebičů a nevyužitá vyrobená energie slouží k nabíjení akumulátoru. Z akumulátoru je možno následně nastřádanou elektrickou energií dále napájet elektrospotřebiče i v době nízké efektivity fotovoltaického panelu (například vlivem nesvitu slunce nebo závady na panelu), a to až do vyčerpání zásoby v akumulátoru.

Elektrospotřebiče obsažené v této modelové distribuční síti jsou dvě zásuvky 230 V/50 Hz pro připojení libovolných elektrospotřebičů a tři světelné zdroje, kterými jsou dvě stropní LED svítidla umístěná v rozích laboratoře a pokojová stolní lampa, viz obr. 2.9. Všechna tato svítidla umožňuje školní model ovládat (zapínat/vypínat) odděleně a nezávisle. Děje se tak skrze tlačítka umístěná na víku rozvodné skříně nebo prostřednictvím webového rozhraní z dálkově ovládané aplikace.



Práce, na kterou autor této práce navazuje, se nachází v následujícím stavu. Model fotovoltaické elektrárny, připojení k fotovoltaickému panelu a komunikace s PLC automatem jsou zkompletovány.

Součástí této absolventské práce je i návaznost na započaté práce předchozích studentů, jež se podíleli společně se správcem Laboratoře aplikované informatiky a fyziky a školním kolektivem na hardwarovém zapojení modelu a jeho uvedení do chodu, viz příloha E. Pro přehlednou orientaci v modelu a možnost revize bylo zapotřebí vyhotovit i dokumentaci v podobě technického výkresu silového schématu zapojení rozvodné skříně. Tato dokumentace byla vyhotovena autorem této práce v programu ProfiCAD, která je přiložena jako příloha D.

2.1 Popis důležitých komponent fotovoltaické elektrárny

Níže jsou čtenáři představeny důležité komponenty modelu fotovoltaické elektrárny včetně jejich podrobnějšího popisu.

2.1.1 Fotovoltaický panel

Fotovoltaický panel je používán k přeměně sluneční energie na energii elektrickou. Následující odstavec čtenáře seznámí se základními charakteristickými rysy fotovoltaického panelu použitého na modelu fotovoltaické elektrárny v Laboratoři aplikované informatiky na Vyšší odborné škole v Sezimově Ústí.



Obrázek 2.1: Fotovoltaický panel umístěný na střeše školy

Výkon panelu činí 230 Wp (wattpíků). Jednotka Wp udává maximální hodnotu výkonu, který panel může generovat za optimálních slunečních podmínek – tedy 230 wattů elektrické energie. Hodnota 36,6 V určuje napětí na prázdko. Nominální napětí STC (za standardních testovacích podmínek) je 29,4 V. Nominální proud STC je 7,83 A a zkratový proud nastává od 8,28 A – tedy přibližně o 5% výše. Velikost panelu činí 1660 mm na výšku, 990 mm na šířku a 42 mm na hloubku a váží 22 kg. Výrobce panelu garantuje výkonnost panelu po dobu 12 let od uvedení do provozu nad 90 %, po dobu 25 let nad 80 %.

2.1.1.1 Zatěžovací charakteristika panelu

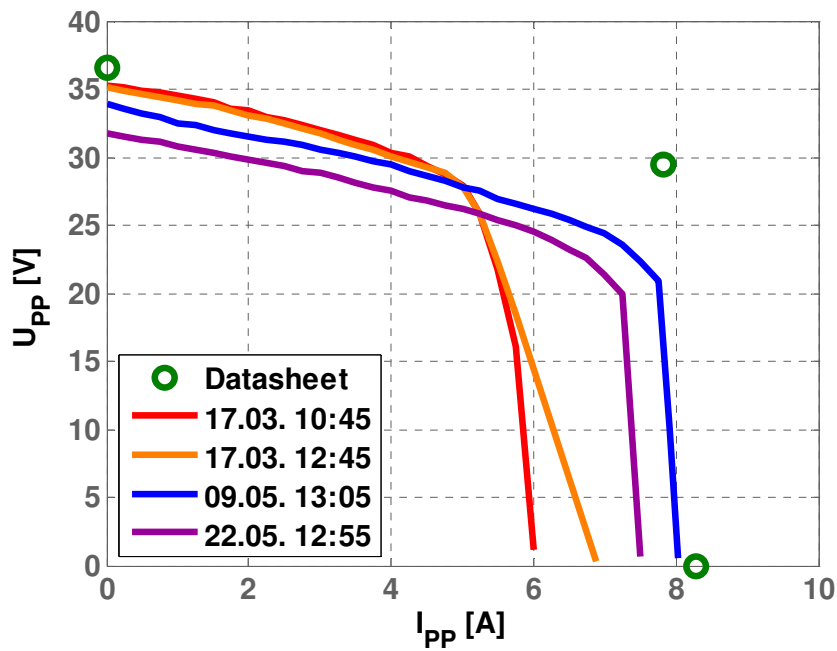
Volt-ampérová charakteristika (VA) je jeden z nejdůležitějších parametrů fotovoltaického panelu. Poskytuje informace o efektivitě fotovoltaického panelu, což je ovlivněno mnoha faktory, jako jsou počasí, čas, roční období či poloha panelu vůči slunečnímu záření. Charakteristika se mění v závislosti na intenzitě slunečního záření, viz obr. 2.2. Měření proběhlo během jarních měsíců v odlišné časy. Měření bylo provedeno vedoucím této práce J. Roubalem v softwarovém prostředí MATLAB.

Největším pozorovaným rozdílem při změně intenzity záření je změna generovaného proudu na krátko, zatímco napětí na prázdko zůstalo relativně konstantní. Zelené body na grafech znázorňují, při jakém zatížení bude panel dodávat maximální výkon (dle výrobce panelu). Na druhém grafu je zobrazena výkonová charakteristika panelu, viz obr. 2.3.³

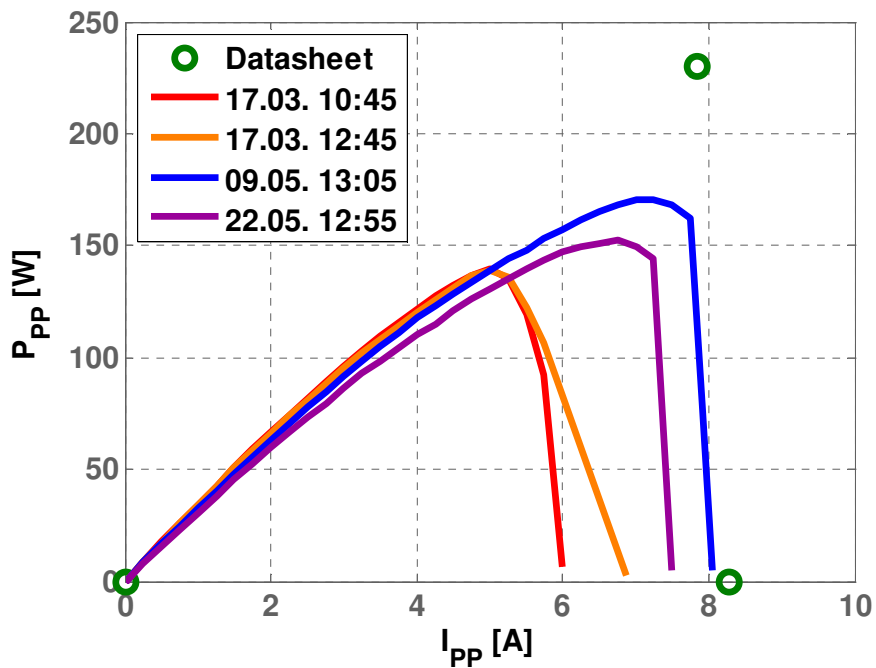
2.1.2 Akumulátor

V tomto odstavci bude čtenáři představen akumulátor, který je součástí tohoto modelu fotovoltaické elektrárny. Jak již bylo uvedeno v úvodu této práce, model fotovoltaické elektrárny má vedle účelu napájení elektrospotřebičů rovněž za úkol nabíjet akumulátor. To nastává v případě, kdy fotovoltaická elektrárna vyrábí více elektrické energie, než je její spotřeba. Dostává se tak vyšší efektivitě nakládání se slunečním zdrojem. Tato energie je využita v situacích, kdy je naopak vyšší spotřeba energie, než výroba – může tak nastat při nesvitu slunce nebo závadě na fotovoltaickém panelu. Jedná se tak o rezervní zdroj napájení.

³ [5] KLIMT, K. (2016), Měření VA charakteristik fotovoltaických článků, (Bakalářská práce), ČVUT v Praze, Praha.



Obrázek 2.2: VA charakteristika fotovoltaického panelu



Obrázek 2.3: Výkonová charakteristika fotovoltaického panelu

Použitý akumulátor je založen na olověném principu a disponuje se jmenovitým napětím 12 V, které je běžné pro mnoho spotřebičů a zařízení, jež jsou konstruovány pro provoz na

stejnoseměrné napájení. Skutečné naměřené napětí akumulátoru ve školní laboratoři však dosahuje 13,6 V a více. Hodnota 110 Ah (ampérhodin) udává kapacitu akumulátoru. V praxi to znamená, že akumulátor dokáže poskytovat proud o velikosti 110 A po dobu jedné hodiny, nebo naopak proud o 1 A po dobu 110 hodin.



Obrázek 2.4: Olovený akumulátor – převzato z <https://www.victronenergy.cz>

2.1.3 Regulátor nabíjení akumulátoru

Následující řádky tohoto odstavce pojednávají o regulátoru nabíjení CXN 10 a jeho zobrazovači CXM. Tento regulátor označený jako CXN plní úlohu řízení nabíjení akumulátoru ze solárního panelu a je připojen napřímo mezi touto dvojicí komponent, viz příloha D. Pomáhá zajišťovat optimalizaci nabíjecího procesu a zabraňuje nežádoucímu nadměrnému nabíjení akumulátoru. Cílem regulátoru jakožto ochranného prvku je prodloužit životnost akumulátoru. Regulátor disponuje tří číslným LCD displejem se symboly pod označením CXM. Je navržen pro zobrazování až sedmi údajů, a to v tomto pořadí za sebou: SOC (stav nabití v %), Vbat (napětí baterie), Iin (proud z panelu), Iout (výstupní proud do spotřebiče), Ahin (proud z panelu v Ah), Ahout (proud spotřebovaný zátěží v Ah) a Total Ahin (celková suma množství proudu z panelu od uvedení do chodu FV). Poté se všechny hodnoty znovu ve stejném pořadí opakují. Pro přepínání zobrazovaných hodnot slouží 2 tlačítka. Regulátor obsahuje paměť, pomocí které mohou být zpětně dohledána data za posledních 7 dní. Regulátor je umístěn v rozvodné skříni, díky čemuž plně postačuje jeho stupeň krytí IP 22. Jestliže CXM displej není používán déle jak 1 minutu, pak se samostatně přepne do spořicího módu a nezobrazuje žádná data. K uvedení do provozu dochází stisknutím levého tlačítka.



Obrázek 2.5: Regulátor nabíjení akumulátoru CXN 10 a zobrazovač CXM – převzato z (<https://www.ecodirect.com>) a (<https://www.profishop.com>)

2.1.4 Střídač ABB aurora Micro-0.25-I-OUTD-230

Solární panel generuje stejnosměrné (DC) elektrické napětí. Aby toto napětí bylo použitelné pro napájení školní sítě, je potřeba jej přeměnit na střídavé (AC). K tomu byl vybrán předchozím zájemcem o tuto práci Lukášem S. střídač Aurora Micro od výrobce ABB. Tento typ střídače je navržen tak, aby kladl důraz na vysokou účinnost přeměny solární energie na elektrickou energii, čímž se minimalizuje ztráta energie při převodu, což pomáhá zvýšit celkový výkon solárního systému.



Obrázek 2.6: Střídač ABB aurora Micro-0.25-I-OUTD-230 s CDD jednotkou – převzato z (<https://www.solaris-shop.com>)

Mezi přednosti střídače patří ochrana proti zkratu, přetížení, přepětí a jiným elektrickým vlivům. Střídač využívá ke svému chlazení pouze chladič (bez nutnosti ventilace), který má

současně využití i jako držák. Dalšími rozhodujícími faktory při koupi tohoto typu byla cena a velikost. Střídač byl zakoupen již před lety, ale vzhledem k faktu, že se na práci střídalo více autorů, bylo až po letech při testování zjištěno, že tento střídač není vhodný pro ostrovní režim. Postupem času bylo zjištěno, že pro funkčnost střídače je nutná i CDD jednotka, což původní řešitel opomněl, viz příloha E. CDD jednotka od výrobce ABB je zařízení použité k monitorování, řízení a komunikaci se střídačem.

2.1.5 Střídač CarSpa P600-12

V modelu fotovoltaické elektrárny je využit tzv. redundantní systém napájení, k čemuž slouží dvě napájecí větve, jak je možno vidět na silovém schématu v příloze D. Každá tato větev využívá svůj střídač. Aby bylo možné do určité míry předejít poruše ze stejné příčiny, je toto dvojí napájení dále tzv. diverzní, což nám zajišťují střídače od odlišných výrobců. Druhým střídačem, o kterém bude pojednáno je, jak již název uvádí střídač P600-12 od výrobce CarSpa. Střídač je zapojen na větvi přímo za akumulátorem, z čehož vyplývá, že na jeho vstupní svorky vstupuje stejnosměrné napětí o 12 V. Na výstupní straně generuje již střídavé 230 V napětí potřebné pro napájení spotřebičů o jmenovitém výkonu 600 W. Špička dosahuje hodnoty 1200 W. Vyhlazená výstupní sinusovka zajišťuje čistý výkon pro citlivé zátěže.

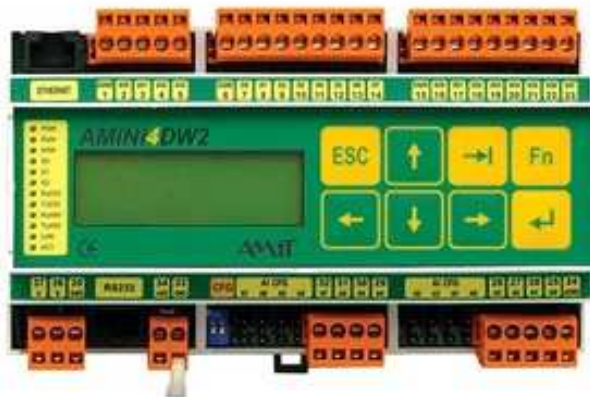


Obrázek 2.7: Střídač CarSpa P600-12 – převzato z (<https://www.4sun.cz>)

Střídač je vybaven dvěma LED pro indikaci pracovního a poruchového stavu. Jeho hlavní funkce obsahují ochranu proti přepětí (je-li vstupní napětí větší než 15 V), ochranu proti podpětí (je-li vstupní napětí menší než 11,2 V), ochranu proti přetížení (je-li trvale dodávaný vstupní výkon do zátěže větší o 5-10 %), ochranu proti zkratu na výstupních svorkách a ochranu proti prepólování na vstupu do střídače. Jako teplotní ochrana slouží vestavěný ventilátor, který je aktivován automaticky při vyšší teplotě střídače, než je žádoucí. Toto si střídač hlídá sám.

2.1.6 PLC AMiNi4DW2

Součástí modelu fotovoltaické elektrárny je malý programovatelný automat AMiNi4DW2 od českého výrobce AMiT Automation. PLC automat je využit zejména pro ovládání světelných okruhů a měření el. veličin, mezi které patří napětí na fotovoltaickém panelu, proud vycházející z fotovoltaického panelu, napětí za střídačem za fotovoltaickým panelem, proud vycházející ze střídače za fotovoltaickým panelem, napětí na akumulátoru, proud z akumulátoru, napětí za měničem za akumulátorem, proud vycházející z měniče za akumulátorem. PLC dále měří teplotu v rozvodné skříni, která může být využita pro zpětnovazební řízení chladicího ventilátoru. Pro tyto účely slouží zabudovaná SD karta, do které lze nahrávat programy a potřebné proměnné. SD karta dále poskytuje archiv k ukládání snímaných veličin. Tato data, včetně ovládání a stavu automatu lze sledovat přímo na čelní straně automatu, jelikož disponuje podsvětleným LCD displejem o rozměrech 122 x 32 mm.



Obrázek 2.8: PLC AMiNi4DW2 – převzato z <https://amitautomation.cz/en>

Mezi další klíčovou vlastnost zvoleného PLC automatu patří možnost připojení k webovému serveru, který je volně programovatelný v prostředí AWDet, jak bude uvedeno v kapitole 3, což je hlavní část této absolventské práce. Pro obsluhu automatu je na čelním panelu umístěno 8 kláves. S automatem je možné navázat komunikaci skrze komunikační rozhraní RS232, RS485 a Ethernet. V případě fotovoltaické elektrárny, o které je v této práci pojednáváno, byla volena komunikace prostřednictvím ethernetového připojení skrze školní síť. K napájení automatu AMiNi4DW2 je potřeba zdroj o 24 V stejnosměrného napětí, viz obr. 2.11.

Napětí pro automat je poskytováno ze školní sítě, která je nezávislá na modelu fotovoltaické elektrárny. Jelikož napětí ze školní sítě je střídavého charakteru o napěťových hodnotách

230 V/50 Hz, je toto napětí dále upraveno pro potřeby automatu usměrňovačem, který na svých výstupních svorkách poskytuje potřebných 24 V a stejnosměrný proud 1,2 A. PLC automat je dále osazen svorkovnicemi pro 8 analogových vstupů, 4 analogové výstupy, 8 digitálních vstupů, 8 digitálních výstupů, sériovou komunikaci a Ethernet. Pro účely umístění v rozvodné skříni plně postačuje jeho stupeň krytí IP 20.

2.2 Další důležité komponenty

V modelu fotovoltaické elektrárny jsou užity i další důležité komponenty, jak je možno vidět na silovém schématu zapojení v příloze D. Mezi ně patří bezpečnostní a ovládací prvky, které jsou popsány níže.

2.2.1 Odpojovače

Odpojovače se v modelu fotovoltaické elektrárny vyskytují ve třech dvojicích pro bezpečnostní nebo údržbové účely. Z bezpečnostního hlediska se jedná o ochranu před přetížením nebo zkratem, čímž se minimalizujeme riziko požáru nebo poškození zařízení. První dvojice se nachází za fotovoltaickým panelem a obsahuje tavné pojistky 16 A. Pro vysvětlení hodnota 16 A znamená, že odpojovač je navržen tak, aby udržel proud o hodnotě 16 A. Druhá dvojice odpojovačů je připojena přímo za akumulátorem o hodnotách 40 A. Třetí dvojice se nachází na lince ss napětí 24 V mezi usměrňovačem 24 V/1,2 A a PLC AMiNi4DW2. Zde jsou použity pojistky se jmenovitým proudem 1 ampér.⁴



2.2.2 Vypínače

Pro manuální odpojení fotovoltaického panelu a akumulátoru slouží vypínače umístěné na čelním panelu rozvodné skříňe od výrobce Eaton. Vypínače jsou připojeny v přímé návaznosti za odpojovači před měřicími přístroji.⁵ Vypínače by se měli rozpínat pouze v nezatíženém stavu.



⁴ Obrázek odpojovače převzat z (<https://www.ielektra.cz>)

⁵ Obrázek vypínače převzat z (<https://www.tme.eu>)

2.2.3 Ochrana jednotlivých větví pro napájení spotřebičů

Jako další důležité prvky ochrany slouží dvojice proudových chráničů 25 A/30 mA, které jsou umístěny na horní i spodní větvi, na schématu konkrétněji za oběma střídači. Chrániče zde slouží k ochraně obsluhy před úrazem elektrickým proudem a současně jako ochrana proti nežádoucímu styku cizího vodivého předmětu s živou částí fotovoltaické elektrárny. Chrániče jsou dimenzované na proud 25 A. Hodnota 30 mA značí citlivost proudových chráničů. Právě hodnota 30 mA a vyšší značí proud, který je životu nebezpečný. Při překročení této hodnoty, aktivuje proudový chránič svůj ochranný mechanismus.



Na proudové chrániče přímo navazují jističe, které jsou na fázových vodičích jednotlivých větví. Jističe zde slouží k ochraně elektrického obvodu před nebezpečnými situacemi, jako jsou přetížení nebo zkrat. Na větvi se střídačem ABB Aurora Micro je jistič s jmenovitým proudem 2 A, větev se střídačem CarSpa P600–12 chrání jistič 6 A. Vzhledem k ochrannému mechanismu střídače, který obsahuje ochranu proti přetížení, by nemělo k aktivaci 6A jističe dojít. Komponenty byly vybrány od výrobce Schneider Electric.⁶



2.2.4 Zásuvky a světelné spotřebiče

Konec obvodu fotovoltaické elektrárny tvoří připojení pro elektrické spotřebiče, které simuluje spotřebitelskou síť. K víceúčelovému využití elektrické soustavy jsou použity 2 zásuvky, které poskytují střídavé napětí 230 V/50 Hz pro připojení elektrospotřebičů. Dále jsou k fotovoltaické elektrárně připojena 3 svítidla. Jedná se o stolní lampu a 2 LED stropní osvětlení v učebně. Tato svítidla jsou ovládána přes trojici tlačítek umístěných na čelní straně rozvodné skříně a dálkově přes webové rozhraní skrze trojici relátek, viz kapitola 3. Tato osvětlení je možné ovládat i v případě odstavené fotovoltaické elektrárny, jelikož mají stabilní zálohované napájení ze školní sítě, stejně tak jako PLC automat.

⁶ Obrázky proudového chrániče s jističem převzaty z <https://www.se.com>



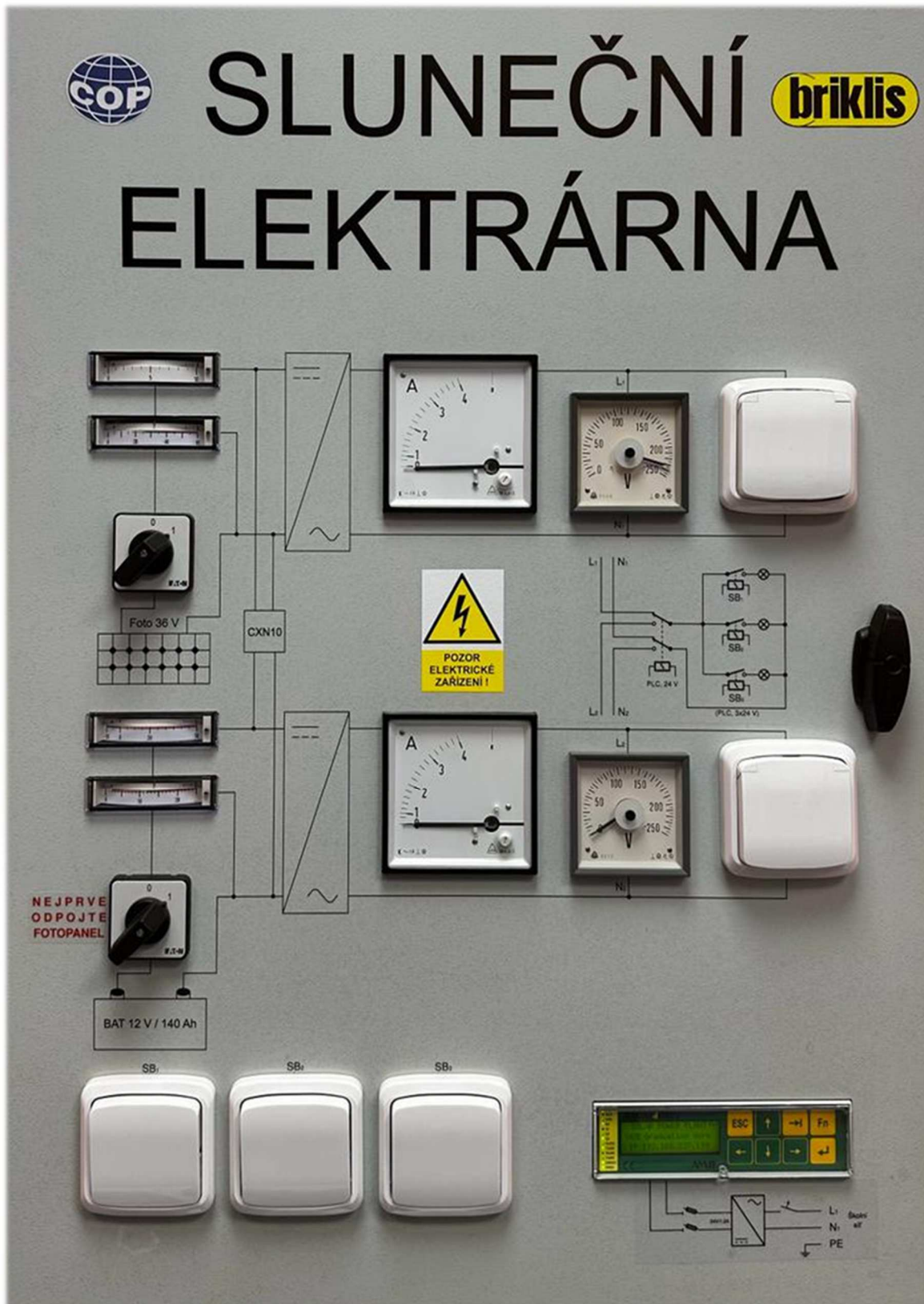
Obrázek 2.9: Světelné spotřebiče napájené z elektrárny

2.2.5 Chlazení rozvodné skříně

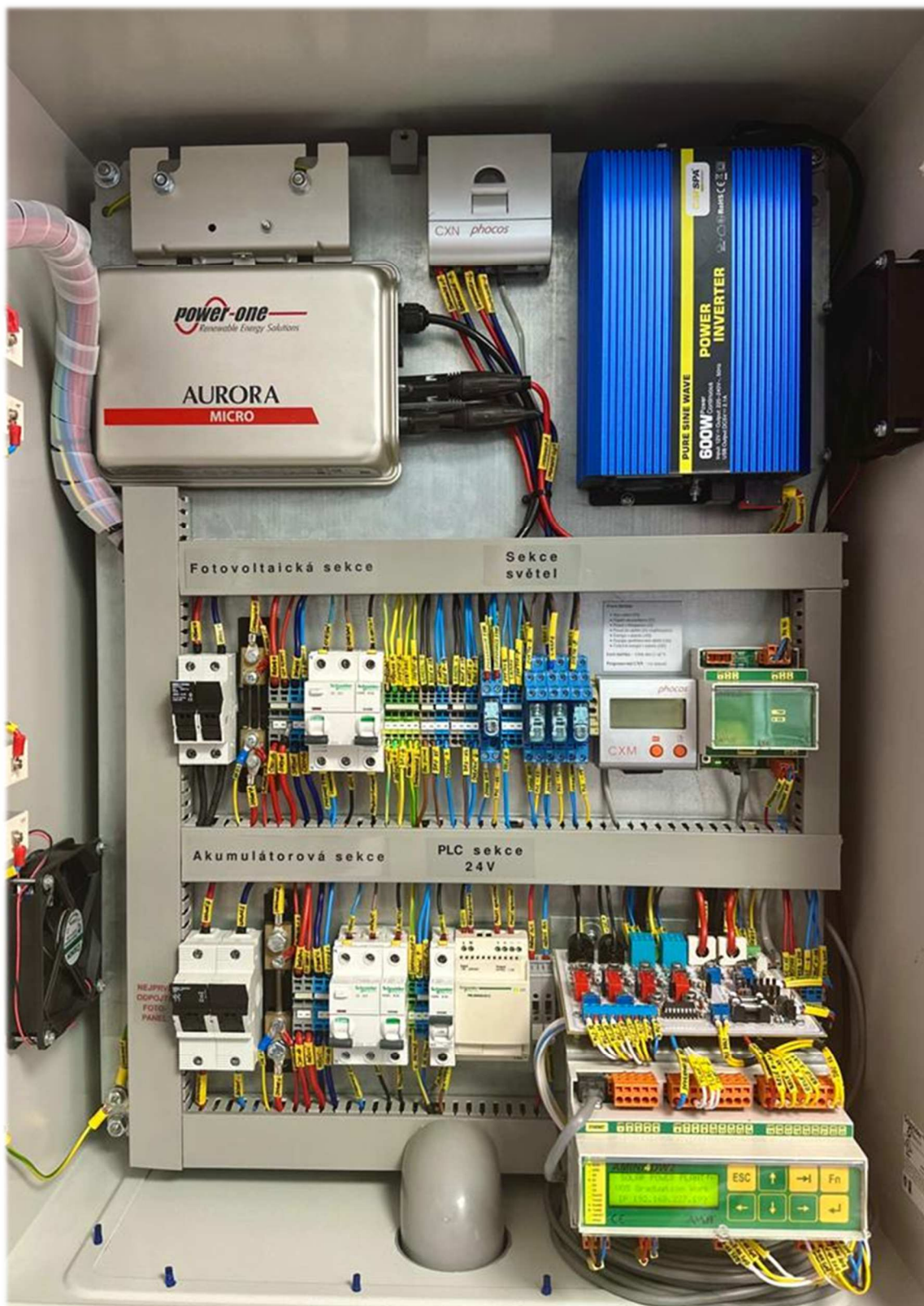
Jak je znázorněno na obrázku zapojení modelu fotovoltaické elektrárny 2.11, model obsahuje spoustu komponent generujících tepelnou energii. Aby nedocházelo k přehřátí rozvodné skříně, je skříň vybavena ventilátorem na cirkulaci vzduchu. Ventilátor od výrobce Sunon, je umístěn v pravém horním boku rozvodné skříně a je napájen 24 V stejnosměrného napětí o výkonu 5 wattů. K aktivaci ventilátoru dochází pomocí teplotního snímače Ni1000/100°C. Jedná se odporový snímač teploty, který při teplotě 0 °C má odpor 1000 Ω. Měřicí rozsah snímače je od -35 °C do 100 °C. Nepředpokládá se, že by v rozvodné skříně měla být někdy teplota mimo tento rozsah. Údaje o této teplotě je možné sledovat na displeji PLC automatu nebo dálkově skrze webovou aplikaci. Druhý ventilátor ve spodní levé části skříně, který je možné vidět též na obrázku 2.11, je nevyužit.⁷



⁷ Obrázek převzat z (<https://www.tme.eu>)



Obrázek 2.10: Čelní pohled na rozvodnou skříň fotovoltaické elektrárny



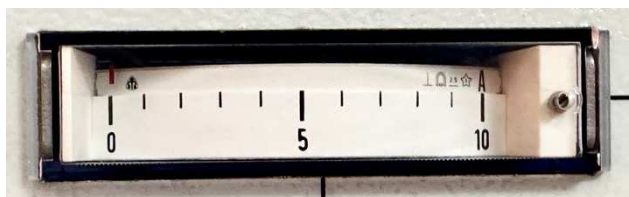
Obrázek 2.11: Zapojení modelu fotovoltaické elektrárny v rozvodné skříni

2.3 Použité měřicí přístroje

Pro měření proudových a napěťových veličin na školním modelu slouží elektrické analogové měřicí přístroje. Celkový počet měřicích přístrojů je 8 (shodně 4 ampérmetry a 4 voltmetry). Měřicí přístroje obdržela v minulosti škola darem a již nejsou ve výrobě. Ampérmetry, které měří proudy z fotovoltaického panelu a z akumulátoru, jsou zapojeny přes bočník – tedy připojení nízkohmového rezistoru paralelně k měřicímu přístroji. Díky tomu lze měřit větší proudy, než byl původní rozsah měřidla. Informace o převodníku pro měření stejnosměrných a střídavých napětí a proudů pomocí PLC jsou popsány v příloze E.

2.3.1 Značky na měřicích přístrojích

Na dvojicích ampérmetrů a voltmetrů od výrobce Metra Blansko, určených pro měření stejnosměrných veličin, viz obr. 2.10, je na čelní straně měřicích přístrojů pět informačních značek. Při pohledu zepředu je vysvětlení značek v pořadí zleva doprava následující:



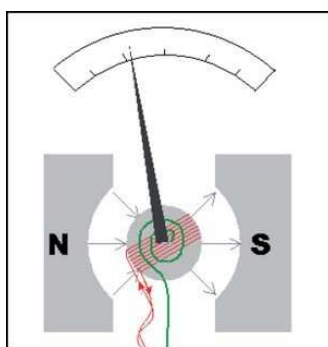
Obrázek 2.12: Měřidlo pro měření stejnosměrného proudu na větvích před střídači

1. Tato značka uvádí správnou pracovní polohu stupnice a tím i správnou polohu pro montáž, v tomto případě ve svislé poloze.
2. Druhá značka uvádí měřicí soustavu, tedy fyzikální princip, na kterém je měření založeno. V tomto případě se jedná o přístroj s magnetoelektrickou měřicí soustavou. Základním prvkem magnetoelektrického měřicího ústrojí je trvalý magnet, na který dosedají dva vhodně tvarované pólové nástavce. Uvnitř válcové dutiny těchto nástavců je umístěný feromagnetický váleček. Ve vzduchové mezeře, která se nachází mezi válečkem a pólovými nástavci, je otočně uložena měřicí cívka. Cívka je tvořena hliníkovým rámečkem, na kterém je navinut jemný měděný vodič. Neprochází-li měřicí cívkou žádný proud, drží ji v nulové poloze dvojice spirálových pružin, které současně fungují

pro přívod proudu. Ručka přístroje, pro znázornění měřených hodnot, je umístěna na ose cívky. Pohybový moment a výchylka přístroje jsou přímo úměrné velikosti proudu protékajícího cívku přístroje, viz obr. 2.13.⁸ Při jejich zapojování je nutné dbát pozornosti na polaritu (+ značící kladnou polaritu je vždy označeno u svorky), jelikož fungují pouze na stejnosměrné napětí.

3. Třetí značka udává druh proudu/napětí a třídu přesnosti. V tomto případě značka informuje, že uvedený měřicí přístroj je určen k měření stejnosměrného proudu. Číselný údaj nás informuje, že přístroj má třídu přesnosti 2,5; jedná se tedy o rozváděčový přístroj s menší přesností, ale vyšší mechanickou odolností. Třída přesnosti se udává v procentech a určuje maximální relativní chybu pro maximální hodnotu použitého měřicího rozsahu.
4. Čtvrtá značka značí velikost zkušebního napětí, tedy 2000 V. Vyjadřuje se tím elektrická pevnost měřidla mezi živou a neživou částí přístroje.
5. Poslední značkou je již samotná měřená veličina, tedy proud (A) v jednotkách ampér nebo napětí (V) uváděné v jednotkách volt.

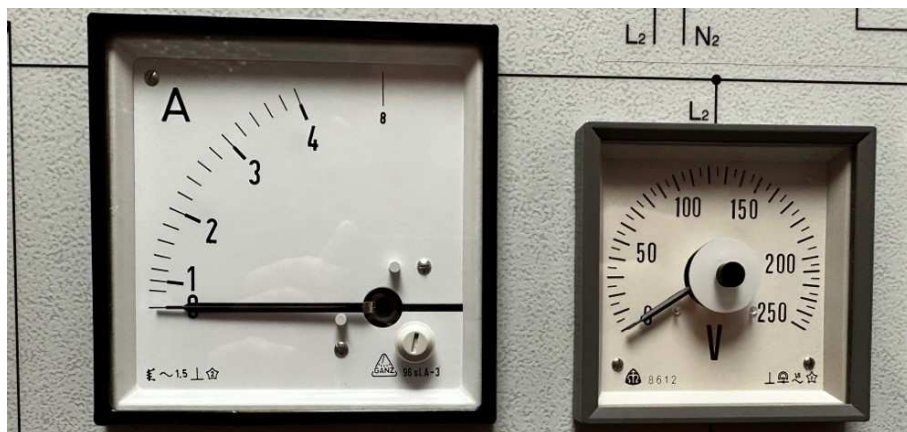
První ampérmetr má rozsah měření 0 – 10Ass s odporem 6,2 Ω a druhý ampérmetr má rozsah 0 – 60Ass s odporem 6,1 Ω . Oba ampérmetry mají takovýto rozsah díky přidanému bočníku. První voltmetr může měřit v rozsahu 0 – 60 Vss a jeho odpor činí 200 k Ω . Druhý voltmetr může měřit v rozsahu 0 – 25 Vss a jeho odpor činí 87,5 k Ω .



Obrázek 2.13: Princip magnetoelektrického přístroje – převzato z <http://www.odbornecasopisy.cz>

⁸ [4] HAVLÍČEK, M. (2020), Měření kolem nás (19. část) Měření elektrických veličin – 1: Základní princip elektrických měření, *Elektro* [online]. 2020(2), 56 [cit. 2023-08-23]. <http://www.odbornecasopisy.cz>.

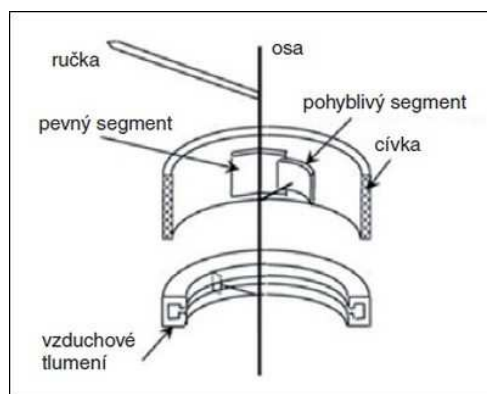
Další měřicí přístroje jsou umístěny za střídači, na jednotlivých větvích elektrárny opět po dvojicích – ampérmetr s voltmetrem viz obr. 2.10. Voltmetry byly vyrobeny výrobcem Metra Blansko, ampérmetry maďarskou firmou Ganz. Měřicí rozsah voltmetrů je 0 – 230 Vst s vnitřním odporem 490 k Ω . Rozsah měření ampérmetrů činní 0 – 8 Ast s vnitřním odporem 17 m Ω . I v tomto případě mají měřidla na čelním straně se stupnicí značky. Při pohledu zepředu je vysvětlení značek na ampérmetrech v pořadí zleva doprava následující.



Obrázek 2.14: Měřidla proudu a napětí na větvích za střídači

1. První značka definuje měřicí soustavu přístroje. Jedná se o feromagnetickou (elektromagnetickou) soustavu, která využívá magnetické účinky elektrického napětí. Měřené napětí je přivedeno na pevné a pohyblivé segmenty, viz obr. 2.15, které se tím zmagnetizují ve stejné polaritě a začnou se odpuzovat. Síly se vyrovnají pootočením osy, na níž je připojen pohyblivý segment a zároveň ručička, která na ciferníku ukáže hodnotu měřené veličiny.⁹
2. Druhá značka (vlnovka) značí druh měřeného proudu – tedy střídavý.
3. Třetí značka udává třídu přesnosti, která má úroveň 1,5. Třída přesnosti se udává v procentech a určuje maximální relativní chybu pro největší hodnotu měřicího rozsahu přístroje.
4. Čtvrtá značka uvádí správnou pracovní polohu stupnice. V tomto případě polohu svislou.
5. Poslední značka značí velikost zkušebního napětí, tedy 2 000 V.

⁹ [4] HAVLÍČEK, M. (2020), Měření kolem nás (19. část) Měření elektrických veličin – 1: Základní princip elektrických měření, *Elektro* [online]. 2020(2), 56 [cit. 2023-08-23]. (<http://www.odbornecasopisy.cz>).



Obrázek 2.15: Princip feromagnetického přístroje – převzato z <http://www.odbornecasopisy.cz>

Níže je uvedeno vysvětlení značek na voltmetrech za střídači v pořadí zleva doprava.

1. První značka udává správnou pracovní polohu stupnice – tedy svislou.
2. Druhá značka definuje magnetoelektrickou měřicí soustavu měřidla s usměrňovačem. O způsobu měření magnetoelektrické soustavy je pojednáno v této kapitole výše. Obohacení o můstkový usměrňovač umožňuje měřidlu měřit střídavé veličiny.
3. Třetí značka udává druh proudu/napětí a třídu přesnosti. V tomto případě značka informuje, že používané měřicí přístroje jsou k měření střídavých veličin. Třída přesnosti je na úrovni 1,5. Třída přesnosti se udává v procentech a určuje maximální relativní chybu pro nejvyšší měřenou hodnotu rozsahu přístroje.
4. Čtvrtá značka značí velikost zkušebního napětí, tedy 2 000 V.¹⁰

¹⁰ [2] Chyba měření - nejistota měření. ATM měřicí technika [online]. [cit. 2023-08-23]. Dostupné z: <https://www.amt.cz>

Kapitola 3

Přenos měřených dat na web a jeho programování

V následujících odstavcích je popsán přenos měřených dat na web společně s jeho programováním a zobrazením hodnot měřidel prostřednictvím tohoto webového serveru, což je hlavní částí této absolventské práce. Dále jsou v kapitole obsažené grafické snímky z vytvořeného webu a jejich popis.

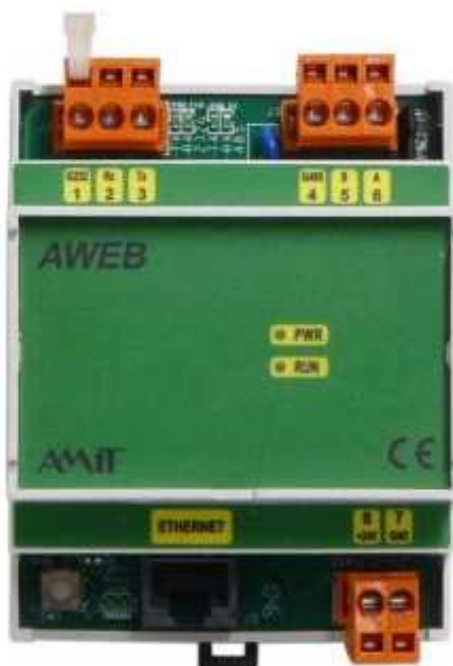


3.1 Přenos měřených dat na web

Pro sdílení dat na web byl použit převodník AWEB, který umožňuje přijímání dat z PLC za pomoci komunikačního rozhraní RS232 přes konektor WAGO231, nebo v našem případě RS485 přes konektor WAGO231. AWEB data následně odesílá do webu prostřednictvím Ethernetu přes svorkovnici RJ45, která je galvanicky oddělena od interní elektroniky. Čelní panel AWEBu obsahuje 2 LED. Dioda PWR při svitu značí zapnutý stav jednotky. Dioda RUN má 3 stavy, kdy při soustavném svitu po dobu 5 s jednotka přechází do továrního nastavení, při blikání s periodou 0,5 s signalizuje načtení aplikačního nebo servisního firmwaru a při blikání s periodou 1 s jednotka pracuje v servisním nebo aplikačním režimu.¹¹ Jednotka převodníku jako taková je napájena 24 V stejnosměrného napětí a v rozvodné skříni je uchycena na DIN lištu o šířce 35 mm. Díky umístění uvnitř rozvodné skříni v laboratoři plně dostačuje s krytím IP20.

¹¹ [1] AWEB web server, 2023. AMiT automation. Dostupné z: <<https://amitautomation.cz>> [cit. 2023-08-08].

AWEB disponuje teplotní odolností v rozmezí $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Dále jednotka obsahuje konfigurační tlačítko, díky kterému lze jednotku převést do servisního režimu (po držení 3 vteřin) či továrního nastavení (po držení 15 vteřin). Pokud se tlačítkem nijak nemanipuluje, jednotka se spouští v aplikačním režimu.



Obrázek 3.1: Komunikační jednotka (převodník) – převzato z <https://amitautomation.cz>

3.2 Softwarové programy pro vizualizaci dat na webovém rozhraní

Před začátkem samotného programování byla vedoucím této práce připojena měřidla a vytvořeny proměnné ve vývojovém prostředí DetStudio. Bez tohoto kroku by samotné připojení měřidel k převodníku dat vyšlo vniveč, jelikož výstupní hodnoty by se neměly kde zobrazit. Tento vytvořený program s proměnnými byl následně nahrán do prostředí AWDet.

K programování samotné webové prezentace byl použit editovací program AWDet, který je stejně jako PLC AMiNi4DW2 s převodníkem AWEB od výrobce AMiT Automation. Společnost AMiT poskytuje toto programové vybavení volně ke stažení. Pomocí návrhového prostředí AWDet lze snadno vytvářet webové prezentace (jednoduché vizualizace) řídicích systémů od

firmy AMiT. Je umožněno sestavovat webové stránky z předem připravených komponent systémem WYSIWYG (what you see is what you get – neboli „dostanu to, co vidím“).¹² V programu tak lze pracovat i offline bez nutnosti kompilace na webu. Tento program je možné použít pouze na systémech MS Windows.

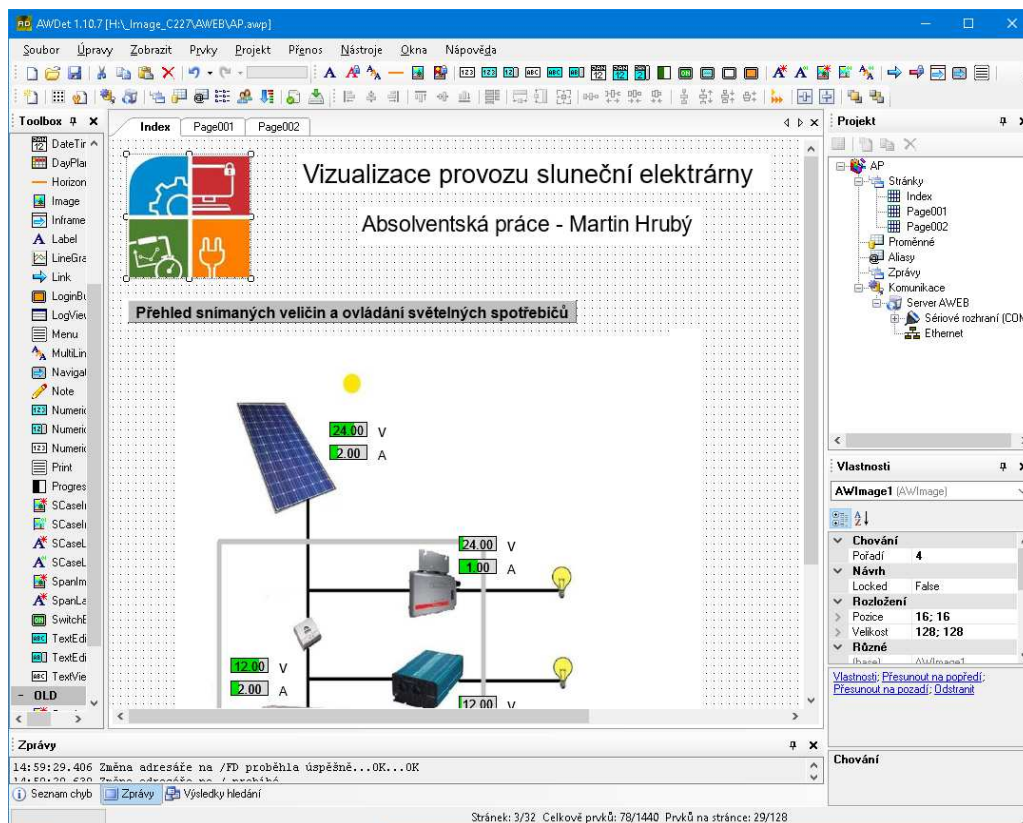
3.3 Programování webu v editoru AWDet

Jako první bylo zapotřebí nastavit komunikaci s web serverem v okně přenos → komunikační parametry. Zde byla nastavena IP adresa serveru a základní přihlašovací údaje. Dále byl navolen v okně projekt → parametry serveru → sériové rozhraní PLC AMiNi4DW2_Solar – tedy prvek, ze kterého web server získává data. Vzhledem k tomu, že prvotní snaha autora této práce byla o programování webu již o rok dříve, byla ve web serveru nahrána stará verze programového vybavení. Proto bylo nutno do web serveru nahrát nejnovější verzi programu skrze podržení konfiguračního tlačítka, viz obr. 3.1. Poté proběhlo ověření funkčnosti webu v prohlížeči. Od tohoto bodu bylo možné již programovat. Na začátku programování byla nastavena doména webu – <http://fve.copsu.cz>. Dále proběhlo nahrání jednotlivých zobrazovacích prvků, popisků, odkazů na stránky a průběžné testování.

Pro webové prezentace je k dispozici prostor o kapacitě 3 MB na jednu stránku.¹³ Tento prostor se nejvíce zahrnuje přidanými obrázky a jejich kvalitou. To se projevilo zejména u obrázku 3.3 zobrazujícího základní schéma vizualizace měřených veličin modelu elektrárny vytvořeného pro tuto práci. K nahrávání prvků v aplikaci slouží přehledný Toolbox o cca 40 funkcí, který se nachází po levé straně okna nebo nahoře pod lištou s menu. Jeho základní prvky plně postačily pro tvorbu tohoto webu. Jednotlivé prvky lze dále upravovat velikostně, popisně i vzhledově. Aby byly funkční prvky zobrazující měřené veličiny, bylo nutné jim navolit proměnné určených měřidel, které byly, jak je zmíněno výše v této kapitole, nahrány z programu DetStudio. Po nahrání programu na web dochází k aktualizaci naměřených veličin každých 10 sekund. Pro sledování dat na webu je nutné udržovat převodník dat (AWEB) na web stále pod napájením.

¹² [1] AMiT: AUTOMATION (2023), AMiT, spol. s r.o. [online]. [cit. 2023-08-23]. Dostupné z: (<https://amitoma-tion.cz>).

¹³ [6] VOŘECH, P. (2016), Měřicí ústředna školního fototerminického komplexu s programovatelným automatem PLC AMiT, (Absolventská práce), VOŠ, SŠ, COP Sezimovo Ústí, Sezimovo Ústí.



Obrázek 3.2: Editační prostředí AWDet

Jelikož je možné z webu ovládat světelné prvky v laboratoři, byl web opatřen přístupovými požadavky na jméno a heslo. Tyto požadavky si automaticky web vyžádá po zadání adresy `fve.copsu.cz` do webového prohlížeče skrze zobrazení přihlašovacího okna. Program disponuje možností nastavení přihlášení až třem uživatelským kategoriím, každé lze nastavit jiná práva na webu. Například uživatel s nejnižšími právy může z webu pouze sledovat informativní údaje o měření, zatímco uživatel s vyšší úrovní přístupu je schopen ovládat jednotlivé prvky či dokonce provádět základní editaci webu přímo online, pokud je tak nastaveno. Údaje k přístupu na web byly předány správci laboratoře aplikované informatiky.

3.4 Vizualizace webových oken

Pro lepší přehlednost a orientaci bylo vytvořeno jednoduché schéma znázorňující rozložení nejdůležitějších komponent, jak je možno vidět na obr. 3.3. Šedé ohraničení ve schématu znázorňuje, kam až sahá rozvodná skříň, tedy jaké komponenty jsou uvnitř i mimo ni. Uvnitř může

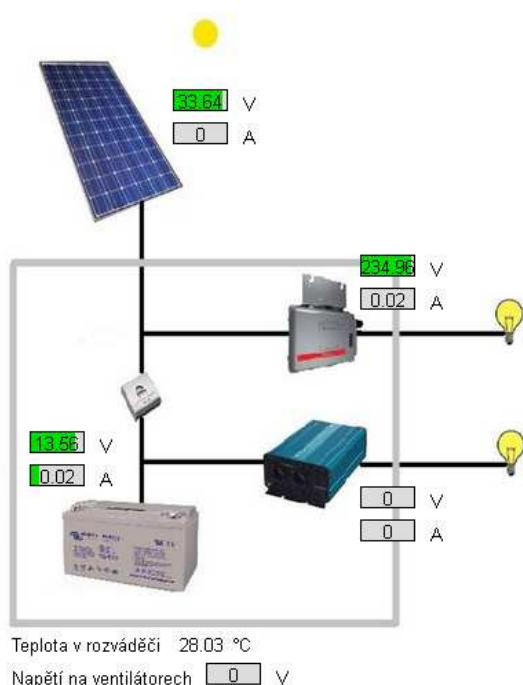
čtenář vidět regulátor nabíjení s nabíjecím akumulátorem a dvojicí střídačů v jednotlivých větvích, žárovky mimo rozvodnou skříň mají znázorňovat elektrické spotřebiče, pod kterými si lze představit i zásuvky. Dále je zobrazen i fotopanel s jeho měřenými údaji.



Vizualizace provozu sluneční elektrárny

Absolventská práce - Martin Hrubý

Přehled snímaných veličin a ovládání světelných spotřebičů



Obrázek 3.3: Vizualizace snímaných veličin na webu

Druhý obrázek prezentuje podobu druhé stránky webu, na které je možné vidět seřazené jednotlivé měrné údaje s popisy a jednotkami, ve kterých se měření udává, viz obr. 3.4. Kromě měřených veličin jsou zde zařazeny i údaje o žádané hodnotě teploty v rozvodné skříni ke spuštění ventilátoru k chlazení a regulační odchylka teploty v rozvodné skříni, která značí rozdíl mezi žádanou a skutečnou teplotou v rozvodné skříni. Na druhé polovině stránky jsou umístěny 3 prvky ovládání světelných spotřebičů, kterými jsou pokojová lampa (umístěna na rozvodné

skříni) a dvojice stropních LED svítidel (v zadních rozích laboratoře). Ovládání funguje na základě kliknutí na ovládací tlačítko vedle popisu každého osvětlení. Tlačítko znázorňuje stav pro světelný spotřebič, který bude po jeho stisknutí následovat. V zapnutém stavu je tlačítko navíc obohaceno o žluté podsvícení. Ve vypnutém stavu je tlačítko šedivé.



Přehled snímaných veličin a ovládání světelných spotřebičů

Absolventská práce - Martin Hrubý

Domovská stránka a přehledové schéma

Napětí na fotovoltaickém panelu	<input type="text" value="33.68"/>	V	Osvětlení nad rozváděčem (SB1)	<input type="button" value="Vypnout"/>
Proud z fotovoltaického panelu	<input type="text" value="0"/>	A	Pokojová lampa (SB2)	<input type="button" value="Zapnout"/>
Napětí za střídačem za fotovoltaickým panelem	<input type="text" value="230.19"/>	V	Osvětlení v opačném rohu C227 (SB3)	<input type="button" value="Zapnout"/>
Proud ze střídače za fotovoltaickým panelem	<input type="text" value="0.03"/>	A		
Napětí na akumulátoru	<input type="text" value="13.56"/>	V		
Proud z akumulátoru	<input type="text" value="0.09"/>	A		
Napětí za měničem za akumulátorem	<input type="text" value="0"/>	V		
Proud z měniče za akumulátorem	<input type="text" value="0"/>	A		
Žádaná hodnota teploty v rozváděči		40.00 °C		
Skutečná teplota v rozváděči		28.03 °C		
Regulační odchylka teploty v rozváděči		11.97 °C		
Napětí na ventilátorech	<input type="text" value="0"/>	V		

Obrázek 3.4: Přehled snímaných veličin a ovládání světelných spotřebičů

Jelikož model elektrárny bude sloužit pro ukázkové a studijní účely, je možné do budoucna web rozšířit i o další prvky a funkce. K tomu jsou přiloženy v příloze A této absolventské práce zdrojový kód programu a instalační soubor programu s verzí 1.10.7, ve které byl současný stav programován. Pokud by došlo k pokračování programování po delším čase, nemusela by být již tato verze na webu dostupná, jelikož vývojář AMiT po vydání novějších verzí starší odebírá. S novější verzí AWDetu by bylo opět nutné opakovat proces se synchronizací AWEBu skrze konfigurační tlačítko a provést následnou kontrolu parametrů.

Kapitola 4

Závěr

Absolventská práce obsahovala 3 úkoly, které byly autorem této práce splněny. Prvním úkolem bylo stručně popsat systém fotovoltaické elektrárny v Laboratoři aplikované informatiky a fyziky. Druhým úkolem bylo navrhnout způsob, který umožní přenášet měřená data ze systému fotovoltaické elektrárny do počítače (online/offline). Tato část byla splněna také s přispěním vedoucího práce, který připojil snímače k PLC. Další úkol byl zaměřen na vytvoření vizualizace měřených dat, která umožní jejich následné zobrazení prostřednictvím webových stránek.

Prvním krokem byl popis jednotlivých komponent modelu elektrárny, jejich účel, parametry a také vysvětlení jejich provázanosti mezi sebou. Bylo zjištěno, že střídač ABB aurora Micro-0.25-I-OUTD-230 není použitelný pro ostrovní režim. Dále byly detailně popsány měřicí přístroje, které v modelu elektrárny zastávají klíčovou funkci ve snímání dat. K fotovoltaickému panelu byla také uvedena voltampérová charakteristika a výkonová charakteristika pro znázornění efektivity použitého panelu během různých denních časů.

Poté následovalo zprovoznění jednotky pro převod dat na web AWEB, s touto jednotkou bylo nutné navázat komunikaci prostřednictvím aplikace pro tvorbu webových prezentací AWDet. Dále bylo potřeba do jednotky nahrát verzi programu AWDet skrze konfigurační tlačítko na jednotce.

Další fází bylo propojení prvků nacházejících se v programu AWDet s přidávanými proměnnými, které byly nahrány z programu DetStudio. Následovalo programování webové prezentace. Vzhledem ke snadnému ovládnutí programu, jež disponuje nápovědou s podporou v českém jazyce, šlo programování bez větších komplikací. Po zdárném naprogramování programu v offline verzi proběhlo jeho zkoušení a další potřebné úpravy.

Finálním produktem této práce je webová stránka s doménou <http://fve.copsu.cz>, ze které lze dálkově snímat měřená data po vyžádání přístupových údajů na web od správce laboratoře. Zároveň tato práce slouží jako jakýsi návod k použití společně s popisným materiálem a uzavírá dlouholetou tvorbu tohoto modelu. Prvotní myšlenka byla navázat na předchozího zájemce o AP, který měl ve své práci zkompletovat model elektrárny po hardwarové stránce. Z části se mu to povedlo, ovšem práci nedokončil. Správce laboratoře tedy vytvořil převodník pro měření proudů a napětí pomocí PLC, aby bylo na web možné promítat skutečné měřené hodnoty. Toto již bylo nad rámec této absolventské práce. Zkompletováním takovéto dlouholeté práce může model posloužit jako učební pomůcka a v neposlední řadě také pro účely propagace školy (například při dnech otevřených dveří).

Literatura

- [1] AMiT: AUTOMATION (2023), AMiT, spol. s r.o. [online]. [cit. 2023-08-23]. Dostupné z: <https://amitautomation.cz>.
- [2] ATM MĚŘICÍ TECHNIKA (2011), *Chyba měření – nejistota měření*, ATM Měřicí technika, spol. s r. o. [online]. [cit. 2023-08-23]. <https://www.amt.cz>.
- [3] ČEZ (2023), Zelená elektřina od ČEZ [online]. [cit. 2023-08-23], <https://www.cez.cz>.
- [4] HAVLÍČEK, M. (2020), Měření kolem nás (19. část) Měření elektrických veličin – 1: Základní princip elektrických měření, *Elektro* [online]. **2020**(2), 56 [cit. 2023-08-23]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz>.
- [5] KLIMT, K. (2016), Měření VA charakteristik fotovoltaických článků, (Bakalářská práce), ČVUT v Praze, Praha.
- [6] VOŘECH, P. (2016), Měřicí ústředna školního fototerminického komplexu s programovatelným automatem PLC AMiT, (Absolventská práce), VOŠ, SŠ, COP Sezimovo Ústí, Sezimovo Ústí.

Zdroje použitých obrázků

ABB aurora Micro-0.25-I-OUTD-230, (2023). Solaris. Dostupné z: <https://www.solaris-shop.com>) [cit. 2023-07-20].

AMiT: AUTOMATION (2023), AMiT, spol. s r.o. [online]. [cit. 2023-08-23]. Dostupné z: <https://amitautomation.cz>.

HAVLÍČEK, M. (2020), Měření kolem nás (19. část) Měření elektrických veličin – 1: Základní princip elektrických měření, *Elektro* [online]. **2020**(2), 56 [cit. 2023-08-23]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz>.

Měnič napětí CARSPA P600, (2023). Dostupné z: [4sun. https://www.4sun.cz](https://www.4sun.cz)) [cit. 2023-07-22].

Odpojovač Schneider, (2023). IElektra. Dostupné z: <https://www.ielektra.cz>) [cit. 2023-07-22].

Olověný akumulátor Gel, (2023). Victron Energy. Dostupné z: <https://www.victronenergy.cz>) [cit. 2023-07-23].

Phocos CXNup10, (2023). Eco Direct. Dostupné z: <https://www.ecodirect.com>) [cit. 2023-07-22].

Produkty Schneider, (2023). Schneider Electric. Dostupné z: <https://www.se.com>) [cit. 2023-07-22].

Vypínač Eaton, (2023). TME. Dostupné z: <https://www.tme.eu>) [cit. 2023-07-21].

Příloha A

Obsah přiloženého CD

K této práci je přiloženo CD s následující adresářovou strukturou.

- Absolventská práce
- AWEB
- ElektriKa
- Elektronika
- Fotodokumentace
- Informační štítky
- Manuály
- Objednávky a faktury
- Výkresová dokumentace
- Hruby_AP_2022_2023.pdf – absolventská práce ve formátu PDF

Příloha B

Použitý software

AWDet 1.10.7 (<https://amitomation.cz/awdet-ver-1-10-7/>)

ProfiCAD (<https://www.proficad.cz/>)

Software z výše uvedeného seznamu je buď volně dostupný, nebo jeho licenci toho času vlastní autor, či Vyšší odborná škola, Střední škola, Centrum odborné přípravy, Sezimovo Ústí, Budějovická 421, kde autor téhož času studoval a vytvořil tuto práci.

Příloha C

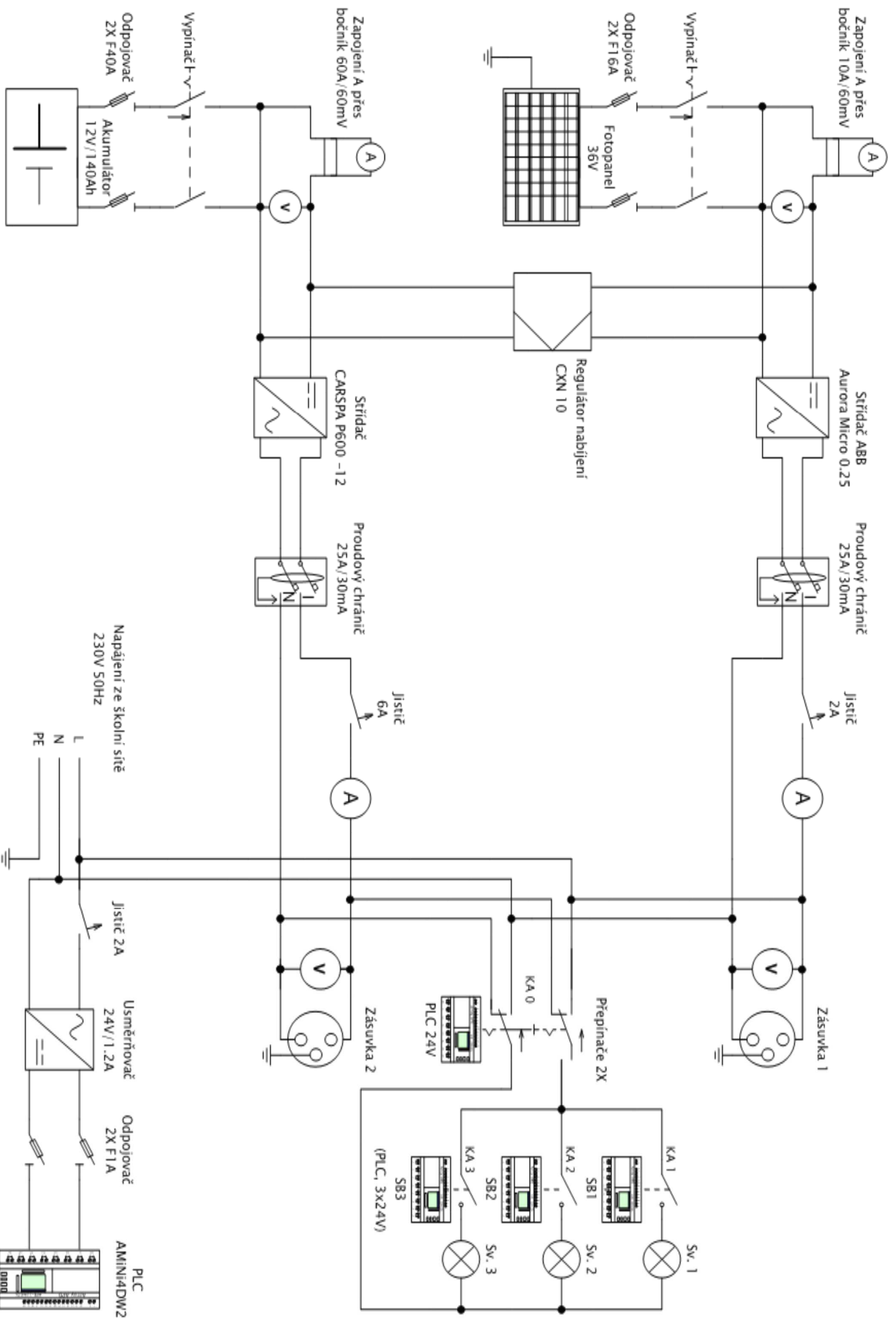
Časový plán absolventské práce

Činnost	Časová náročnost	Termín ukončení	Splněno
zprovoznění web serveru	1 týden	14. 1. 2022	14. 1. 2022
ověřování použitelnosti střídače ABB	2 týdny	17. 1. 2022	7. 4. 2022
tvorba silového schématu	2 týdny	31. 1. 2023	17. 4. 2023
programování webu	3 týdny	30. 3. 2023	2. 7. 2023
AP: kapitola úvod	2 týdny		12. 4. 2023
AP: kompletní text			16. 8. 2023

Příloha D

Silové schéma zapojení fotovoltaické elektrárny ve školní laboratoři

Na následující stránce se nachází silové schéma zapojení fotovoltaické elektrárny ve školní laboratoři, které vyhotovil autor této práce na základě podkladů od předešlých řešitelů, viz příloha E.



Příloha E

Tvorba modelu fotovoltaické elektrárny v čase

Autorem následujícího textu, který popisuje, jak model fotovoltaické elektrárny složitě vznikal, je správce Laboratoře aplikované informatiky a fyziky.

22.04.2011 Firma 1. solární CK, s. r. o. nainstalovala na střechu školy fotovoltaický panel 29,4 V/230 Wp, který připojila pomocí regulátoru nabíjení CXN 10 k olověnému akumulátoru 12 V/140 Ah (odpojitelně pomocí otočného spínače) tak, aby toto zařízení bylo funkční při slavnostním otevření Laboratoře aplikované informatiky a fyziky 27. 4. 2011. Správce poté více než rok marně oslovoval tuto firmu s žádostí nabídky periférií k instalovanému zařízení, školení k CXN atd. Firma zareagovala pouze jednou, když ji správce žádal mimo jiné o nějaké propagační materiály; ty přivezli osobně téměř ihned, naslibovali spoustu věcí (manuál k CXN, školení, nabídku periférií atd.), ale poslali pouze nečitelný manuál k CXN a více se již neozvali.

podzim 2012 Student 3. ročníku vyšší odborné školy Josef J. (ještě v původní akreditaci VOŠ) začal pracovat na své absolventské práci, v rámci které měl v laboratoři vytvořit výukový panel, který by umožňoval měřit všechny elektrické veličiny související s fotovoltaickým panelem. Tuto práci plánoval obhájit v létě 2013, což se mu nepodařilo. Přes jeho upřímnou snahu panel dokončit i po ukončení svého studia, nebyl tento záměr realizován. Student se nakonec na podzim 2014 rozhodl vypracovat absolventskou práci na jiné téma, kterou obhájil v létě 2015.

podzim 2014 O tuto absolventskou práci projevil zájem student 2. ročníku vyšší odborné školy Lukáš S. s plánem obhajoby v létě 2016. Student v lednu 2015 navrhl

první ideové schéma měřicího panelu a jeho realizaci jako rozváděčové skříně (dále jen skříně) s rozměry $800 \times 600 \times 300$ mm. V dubnu 2015 předložil návrh rozpočtu, který byl vedením školy schválen. Na jeho základě byl v průběhu hlavních prázdnin v létě 2015 zakoupen střídač ABB Micro 0.25, měnič napětí CarSpa G537, 3 ks relé včetně patič na DIN lištu a měřič spotřeby EMF-1. Bohužel zakoupený měnič byl pro vstupní napětí 24 V na místo požadovaných 12 V. Student tento problém vyřešil a v listopadu 2015 měla škola k dispozici měnič správný. Lukáš S. dále ve školních „skladech“ našel měřicí přístroje (ampérmetry a voltmetry) od Metra Blansko a navrhl jejich rozmístění na dvířkách skříně.

Do této doby velmi pracovitý student musel řešit své osobní problémy a jeho studijní úsilí šlo stranou (tj. plánované dokončení a obhájení práce v létě 2016 se nepodařilo). Student v rámci kreditního systému opakoval některé předměty ze 3. ročníku včetně absolventské práce. V lednu 2017 ještě zajistil zakoupení PLC automatu a komponent do skříně (pojistkové odpínače, vypínače, bočník 60 A/60 mV, chrániče, jističe atd.), ale to byl již bohužel definitivně jeho poslední počín v tomto projektu.

podzim 2017 V rámci svého individuálního studijního plánu se nabídl žák střední školy Tomáš K. (toho času ze třídy MEP2), že by na rozpracované práci pokračoval. Nejprve ověřil rozsahy a změřil vnitřní odpory všech ručičkových měřicích přístrojů. Zde zjistil, že k jednomu stejnosměrnému ampérmetru bude třeba zakoupit bočník 10 A/60 mV. V prosinci 2017 zajistil zakoupení zmíněného bočníku spolu z rozváděčovou skříní, kterou osadil chladicími ventilátory (otvory pro ně vyřezal Pavol Becker). V březnu 2018 navrhl ing. Jaroslav Svoboda konzoli na uchycení skříně, kterou vyrobil Pavol Becker, a kterou školníci pověsili na zeď 4. 6. 2018. Tomáš K. dále konzultoval vnitřní zapojení skříně s ing. Václavem Šedivým a v červnu 2018 téměř dokončil elektrické silové schéma. Žák slíbil další práci během následujícího školního roku, ale již pouze dodal rozpracovaný výkres pro otvory do dveří skříně a dále se v tomto projektu neangažoval.

prosinec 2018 – 8,50 h – J. Roubal – tvorba výkresu pro otvory do dveří v AutoCADu

11.01.2019 – 1,50 h – ing. J. Štěpánek – konzultace a kontrola výkresu

18.01.2019 – 1,50 h – J. Roubal – přidání elektrického schéma do výkresu

23.01.2019 – 0,10 h – ing. J. Svoboda – převod výkresu do Solid Edge 9 (pro tisk)

24.01.2019 – 0,10 h – D. Krž – převod výkresu do Solid Edge ST6 (pro tisk)

- 25.01.2019** – 0,50 h – J. Roubal – tvorba elektrického schéma
- 29.01.2019** – 0,50 h – ing. J. Machač přinesl vytištěný výkres (1:1) z Kovosvitu MAS, a. s.
- jaro 2019** Student 2. ročníku vyšší odborné školy (kombinované formy) Radek V. projevil zájem o tento projekt (absolventskou práci).
- xx.02.2019** – žáci ve školních dílnách vyřezali na hrubo otvory do dveří skříně
- 17.05.2019** – 0,50 h – J. Roubal – domluva s P. Kavanem, že otvory do dveří nechá vypálit laserem (Pavol Becker obrousil dveře)
- 20.05.2019** – 0,50 h – P. Kavan přivezl vyřezané dveře – bohužel žáci s původním ručním měřením a vrtáním nebyli přesní (Pavol Becker nastříkal dveře)
- 10.06.2019** – 3,00 h – J. Roubal – oprava výkresu (změny rozměrů otvorů pro přístroje)
- 11.06.2019** – 0,50 h – J. Roubal – konzultace k pálení dveří ve školních dílnách
- 11.06.2019** – 0,50 h – J. Roubal – úprava elektrického schéma (přidán regulátor CXN 10)
- 11.06.2019** – 0,10 h – ing. J. Svoboda domluvil vyřezání otvorů do dveří vodním paprskem ve firmě Briklis, s. r. o.
- 12.06.2019** – 0,50 h – J. Roubal – úprava elektrického schéma (CXN 10)
- 14.06.2019** – 1,00 h – J. Roubal – úprava stupnice ampérmetru $0 \div 60$ A
- 02.07.2019** – 0,20 h – J. Roubal – domluva potisku dveří (cena 120 Kč)
- 04.07.2019** – 0,10 h – J. Roubal – objednání potisku dveří
- 11.07.2019** – 1,50 h – Radek V. – přivezl nové dveře od skříně do školy
- 15.07.2019** – 0,30 h – J. Roubal – vyzvednutí dveří od skříně ve škole
- 31.07.2019** – 1,25 h – J. Roubal + ing. J. Svoboda – odvezení dveří do Briklis, s. r. o.
- 02.08.2019** – 1,00 h – J. Roubal – přivezení dveří z Briklis, s. r. o. (vyřezali jako dar)
- 02.08.2019** – 2,00 h – J. Roubal – sepsání této historie
- 12.08.2019** – 1,50 h – J. Roubal – dopilování otvorů pro měřicí přístroje + štítky

- 13.08.2019** – 0,30 h – J. Roubal – předání dveří k polepení
- 19.08.2019** – 0,?? h – R. Draxler – polepení dveří
- 26.08.2019** – 2,00 h – J. Roubal – osazení dveří měřicími přístroji
- 29.08.2019** – ?,?? h – Radek V. – odvezení vnitřních prvků skříně k instalaci
- 07.10.2019** – 0,50 h – nábytkáři upravili dveře od PC stolu
- ??.****12.2019** – ?,?? h – Radek V. – osazení skříňové desky (DIN lišty, střídače, PLC)
- 21.02.2020** – 1,00 h – Radek V. – namontování osazené desky do skříně
- 24.02.2020** – 4,50 h – Radek V. – připojení PLC a střídavých měřicích přístrojů
- 02.03.2020** – 4,50 h – Radek V. – zapojení jisticích prvků a ss. měřicích přístrojů
- 05.03.2020** – 6,00 h – Radek V. – zapojení stejnosměrných měřicích přístrojů, měniče a dveřních vypínačů
- 09.03.2020** – 5,00 h – Radek V. – zapojení střídače a regulátoru CXN 10 se zobrazovačem CXM + první připojení fotopanelu a akumulátoru (bohužel na výstupu střídače ABB Micro 0.25 není žádné napětí)
- 11.03.2020** – práce Radka V. přerušena (pandemie COVID-19)
- 27.05.2020** Tomáš H. (žák ET3) zjistil nutnost jednotky CDD pro funkci střídače ABB.
- 05.06.2020** – 1,00 h – J. Roubal – dotaz na @nwt.cz ohledně nutnosti stále přítomnosti jednotky CDD (nabídka CDD za 3 980 Kč bez DPH; CDD by neměla být třeba po finálním nastavení střídače)
- 11.06.2020** – 0,10 h – J. Roubal – stejný dotaz na @cz.abb.com
- 12.06.2020** – 0,10 h – J. Roubal – stejný dotaz na Atlas Copco, s. r. o. (pracuje tam absolvent VOK Jan K.)
- 15.06.2020** – 0,10 h – J. Roubal – stejný dotaz na DBD Control Systems, s. r. o. (pracuje tam absolvent VOŠ Jakub M.)
- 18.06.2020** – 0,50 h – J. Roubal – stejný dotaz na @enervisgroup.com (22. 6. 2020 nabídka CDD za 100 Kč bez DPH; CDD bude třeba nejspíš stále)

- 11.08.2020** – 0,50 h – elektrikáři protáhli ochranný vodič do hlavního rozváděče učebny
- 16.09.2020** – 8,50 h – Radek V. – připojení CDD jednotky a analýza nefunkčnosti střídače ABB
- 25.09.2020** – 2,00 h – J. Roubal – montáž úchyty roury ke skříni (pomoc M. Hospodářský a J. Bumba)
- 30.09.2020** – 4,50 h – Radek V. – montáž roury ke skříni (nastříkal p. Kavan), protažení vodičů (+ J. Roubal)
- 09.10.2020** – ?,?? h – D. Krž – vyfrézování otvoru do dolního plechu od skříně
- 12.10.2020** práce Radka V. přerušena (pandemie COVID-19)
- 14.10.2020** – 0,50 h – J. Roubal – montáž dolního plechu skříně (+ M. Hospodářský)
- 27.01.2021** – 0,50 h – J. Roubal – dorazil nový akumulátor Victron Energy GEL 110 Ah
- 18.02.2021** – 0,25 h – J. Roubal – připojení nového akumulátoru
- jaro 2021** Student 2. ročníku vyšší odborné školy (kombinované formy) Martin Hrubý projevil zájem o absolventskou práci na téma zobrazování elektrických veličin z fotovoltaické elektrárny na internetových stránkách.
- 11.03.2021** – 0,50 h – J. Roubal – z budovy E přinesen server AWEB
- 12.03.2021** – 0,50 h – J. Roubal – nákup červených řadových svorek a klem do svorek
- 12.03.2021** – 3,00 h – J. Roubal – zapojení relátek pro světla (silová část)
- 12.03.2021** – 3,00 h – J. Roubal – tvorba programu pro PLC (osvětlení)
- 15.03.2021** – 4,00 h – J. Roubal – zapojení relátek pro světla (ovládací část), tlačítek, svorkovnic pro 24 V a serveru AWEB
- 18.03.2021** – 1,25 h – J. Roubal – protažení UTP k serveru AWEB
- 21.03.2021** – 1,50 h – J. Roubal – tvorba programu pro PLC (vypínání osvětlení, PID regulace teploty)
- 22.03.2021** – 1,00 h – J. Roubal – tvorba programu pro PLC (servisní obrazovka)
- 23.03.2021** – 1,00 h – J. Roubal – tvorba programu pro PLC (servisní obrazovka)

- 24.03.2021** – 0,50 h – J. Roubal – kabelový žlab k serveru AWEB
- 23.03.2021** – 1,00 h – J. Roubal – tvorba programu pro PLC (servisní obrazovka)
- 25.03.2021** – 2,00 h – J. Roubal – tvorba programu pro PLC (přepínání obrazovek)
- 29.03.2021** – 0,50 h – J. Roubal – nákup chybějící modré řadové svorky a klem do řadových svorek
- 08.04.2021** – 1,00 h – J. Roubal – konzultace s ing. J. Bumbou ohledně úpravy ss ampérmetru (rozsah –10 až 50 A) a konzultace ke schématu skříně
- 09.04.2021** – 1,00 h – J. Roubal – úprava ss ampérmetru (rozsah –10 až 50 A) + měření (+ ing. J. Bumba)
- 09.04.2021** – ing J. Bílý – přinesl z dílen střídavý ampérmetr s rozsahem 5 A
- 26.04.2021** – 0,25 h – J. Malý + elektrikáři – dohodnuto zapojení osvětlení části učebny z fotovoltaické elektrárny
- 30.08.2021** – 3,00 h – elektrikáři – připojení dvou LED světel a lampičky do skříně
- 10.11.2021** – 0,50 h – J. Roubal + M. Hospodářský – kontrola přesnosti ss. voltmetrů
- 19.11.2021** – 0,50 h – elektrikáři – revize skříně
- 17.01.2022** – 0,50 h – M. Hrubý si odvezl střídač ABB
- 07.04.2022** – ?,?? h – M. Hrubý: střídač ABB není použitelný pro „ostrovní systém“
- 05.05.2022** – 2,00 h – J. Roubal – AutoCAD: doplnění potisku dveří (světla, relé)
- 30.09.2022** – 2,50 h – M. Hrubý přivezl zpět střídač ABB; domluven další postup práce (od 4. 10. 2022 hledáme CDD jednotku ke střídači ABB; v učebně byla naposledy s jistotou 17. 1. 2022)
- 20.10.2022** – 1,00 h – J. Roubal – konzultace s ing. J. Bumbou; výstup střídače ABB připojen na školní síť 230 V – střídač nefunguje (bez CDD jednotky)
- 05.01.2023** – 0,25 h – J. Roubal – nákup modré řadové svorky a klemy do řadové svorky
- 08.02.2023** – 2,50 h – J. Roubal – instalace DPS s převodníkem pro měření napětí a proudů pomocí PLC do skříně + připojení k PLC

- 09.02.2023** – 1,50 h – J. Roubal – úprava programu pro PLC (měření napětí a proudů)
- 14.02.2023** – 2,00 h – J. Roubal – připojení převodníku do skříně (měření napětí a střídavých proudů)
- 16.02.2023** – 0,50 h – J. Roubal – nákup svorek a vodiče 6 mm² (+ J. Malý)
- 16.02.2023** – 1,00 h – D. Krž – úprava bočnicku
- 16.02.2023** – 1,00 h – J. Roubal – přeměření statických převodních charakteristik při připojeném PLC – charakteristiky se změnilly (+ M. Hospodářský) – střídač CarSpa přestal fungovat (pípá)
- 17.02.2023** – 1,00 h – J. Roubal – připojení převodníku do skříně (měření ss. proudů)
- 24.02.2023** – 2,00 h – J. Roubal – úprava programu pro PLC (PWM výstup)
- 17.03.2023** – 0,25 h – J. Roubal – měření zatěžovací charakteristiky fotovoltaického panelu v 10:45 (+ M. Hospodářský a třída ELZ1)
- 17.03.2023** – 0,25 h – J. Roubal – měření zatěžovací charakteristiky fotovoltaického panelu ve 12:45
- 03.04.2023** – 0,25 h – J. Roubal – demontáž střídače CarSpa ze skříně
- 05.04.2023** – 0,25 h – J. Roubal – rozebrání střídače CarSpa a konzultace s ing. Bumbou
- 23.01.2023** – ?,?? h – M. Hrubý – dokončeno silové schéma skříně v ProfiCADu
- 28.04.2023** – ?,?? h – D. Krž – vymodelování a vytištění držáku pro čidlo Ni1000 (původní návrh Jiří Š. z ETS4)
- xx.05.2023** – ?,?? h – M. Hospodářský – analýza porouchaného střídače CarSpa (výkonové tranzistory vypadají v pořádku)
- 05.05.2023** – 0,50 h – J. Roubal – instalace čidla Ni1000 do skříně
- 09.05.2023** – 0,25 h – J. Roubal – měření zatěžovací charakteristiky fotovoltaického panelu ve 13:05 (+ M. Hospodářský a třída ELZ1)
- 17.05.2023** – 1,00 h – J. Roubal – AutoCAD: doplnění schématu na potisk dveří (zdroj pro PLC, popisky)

22.05.2023 – 0,25 h – J. Roubal – měření zatěžovací charakteristiky fotovoltaického panelu ve 12:55 (+ M. Hospodářský a třída ELZ1)

26.05.2023 – 0,50 h – J. Roubal – dovezení střídače CarSpa

29.05.2023 – 1,00 h – J. Roubal – montáž střídače CarSpa do skříně

30.05.2023 – 0,25 h – J. Roubal – polepení dveří a lišt popisky

02.06.2023 – 1,25 h – J. Roubal – potisk měřicích přístrojů (stejnoseměrných voltmetrů a ampérmetru)

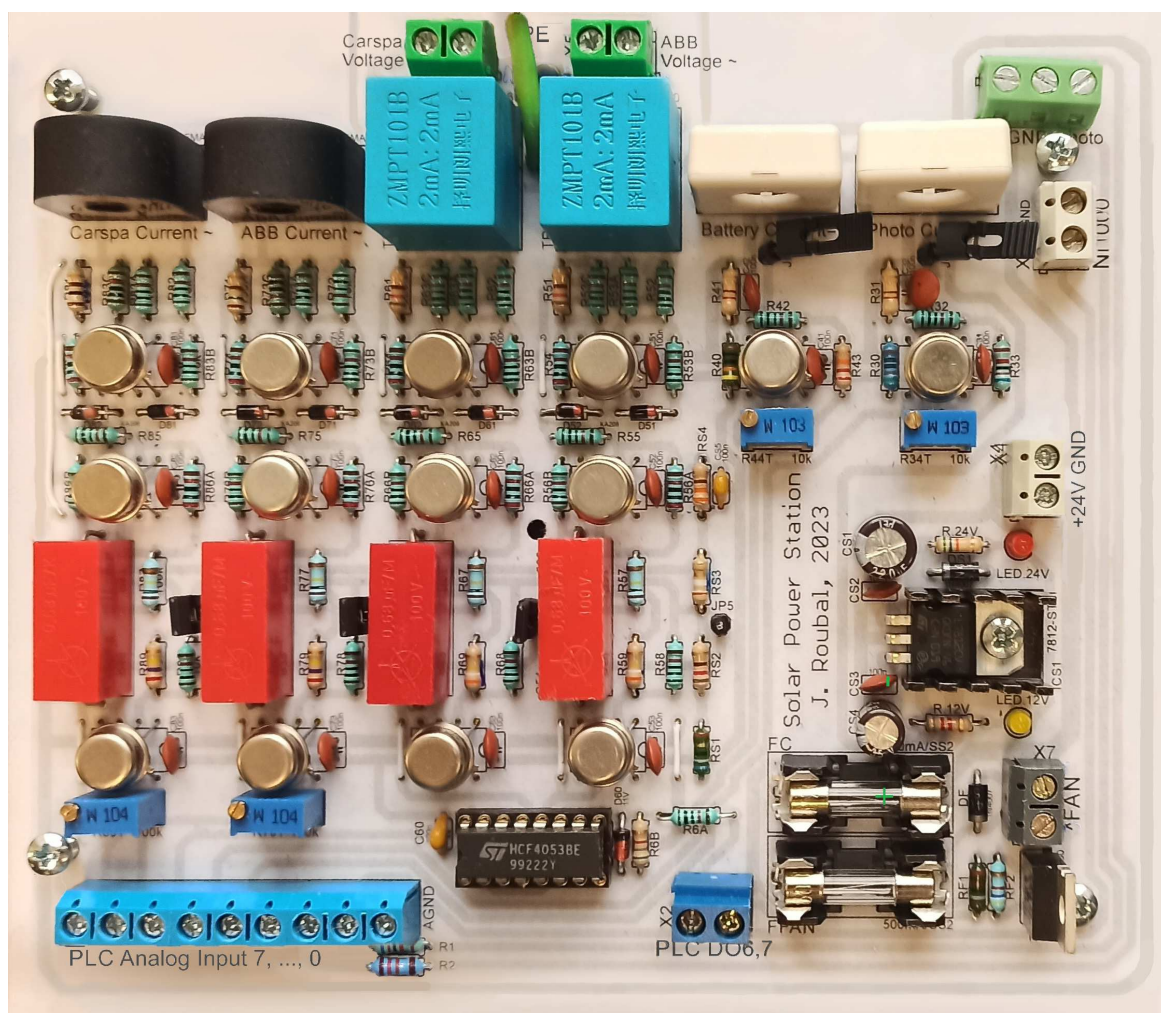
Protože se již nenašel další student, který by dokončil Model fotovoltaické elektrárny v Laboratoři aplikované informatiky a fyziky, rozhodl se správce laboratoře, že převodník pro měření napětí a proudů pomocí PLC (popsaný v podkapitole E.1) dokončí sám tak, aby mohl Martin Hrubý plně pracovat na své absolventské práci. Přestože výše jmenovaní studenti svoji práci nedokončili, i tak by jim správce laboratoře rád vyjádřil dík za jejich příspěvek, protože i jejich práce přispěla k dokončení tohoto projektu.

E.1 Popis převodníku pro měření napětí a proudů pomocí PLC

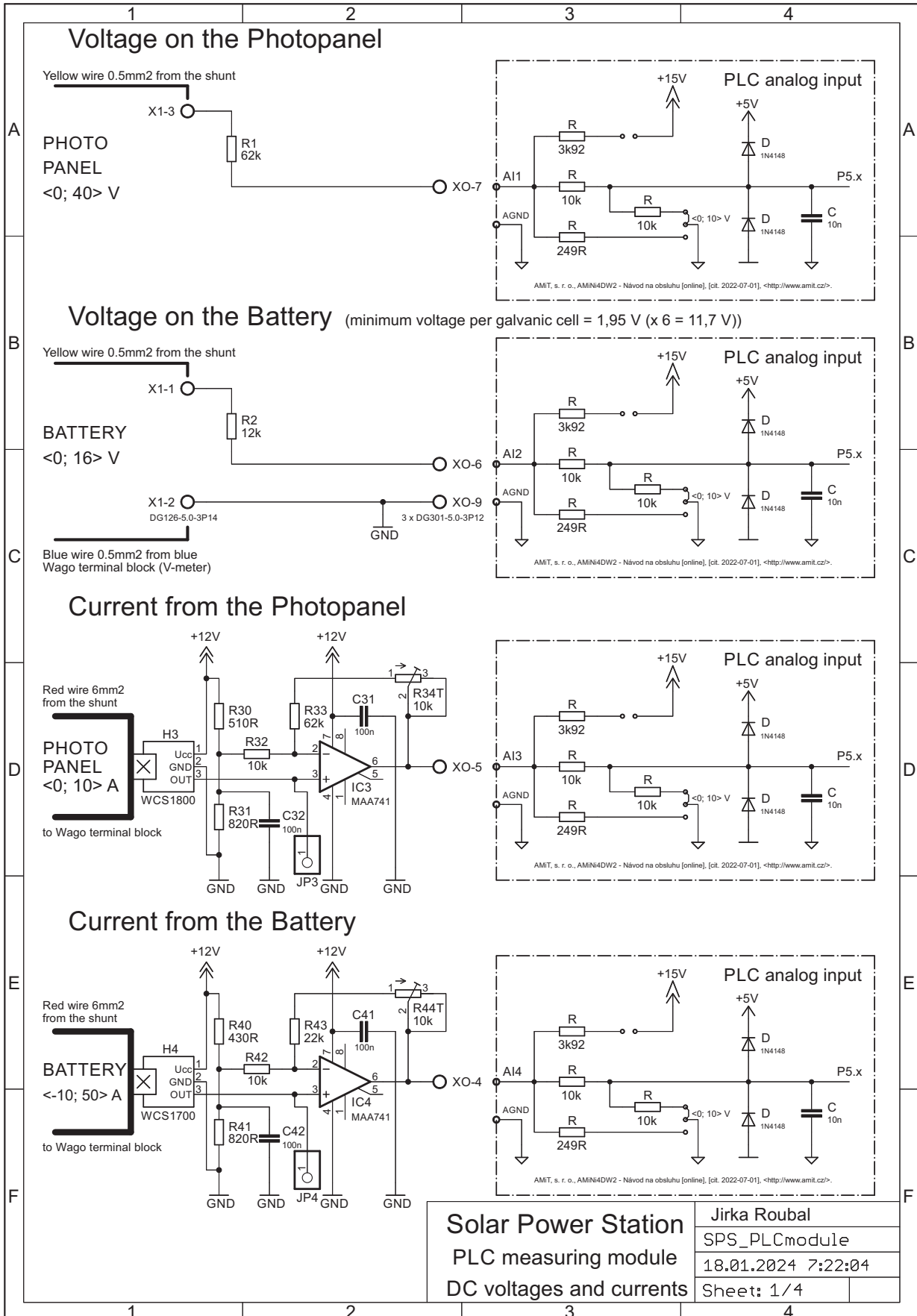
Níže navržený převodník se skládá z jedenácti částí, viz schéma na následujících stránkách. První dvě části slouží pro měření stejnosměrných napětí na fotopanelu a akumulátoru. Třetí a čtvrtá část umožňuje měřit stejnosměrný proud z fotopanelu a z akumulátoru pomocí Hallovy sond. Pátá a šestá část slouží pro měření střídavých napětí na fotopanelové a akumulátorové sekci pomocí usměrňovačů s operačními zesilovači. Sedmá část řeší přepínání těchto dvou signálů na pátý analogový vstup PLC automatu pomocí analogového multiplexeru 4053N. Osmá a devátá část umožňuje měřit střídavé proudy na fotopanelové a akumulátorové sekci pomocí proudových transformátorů a usměrňovačů s operačními zesilovači. Desátá část navrženého převodníku řeší řízení rychlosti ventilátoru a měření teploty ve skříně. Jedenáctou částí je stabilizovaný zdroj na +12 V, jehož ústřední součástí je lineární stabilizátor napětí 7812. Také je v této části vytvořena virtuální zem pro „symetrické“ napájení operačních zesilovačů MAA 741 pomocí děliče složeného z rezistorů RS1, RS2, RS3 a RS4.

Tento převodník byl navržen a vyroben za pomoci ing. Jiřího Bumby, Mgr. Bc. Miroslava V. Hospodářského, p. Zbyňka Zapletala a studentů třídy VOŠ2 ve školním roce 2022/2023. Všem patří velké poděkování! Návrh a výroba trvala celkem 143 hodin, cena komponent je přibližně 900 Kč. Dále se bez bližšího popisu nachází fotografie vyrobeného převodníku, schéma navrženého převodníku, osazovací výkres, motiv plošného spoje a převodní charakteristiky jednotlivých sekcí, které jsou potřebné pro program do PLC automatu.

Pro demontování převodníku ze skříně je mimo jiné potřeba (z důvodu protažení vodičů skrz proudové transformátory a Hallovy sondy) ve skříní odpojit černé vodiče průřezu $1,5 \text{ mm}^2$ od jističů a červené vodiče průřezu 6 mm^2 od řadových svorek.

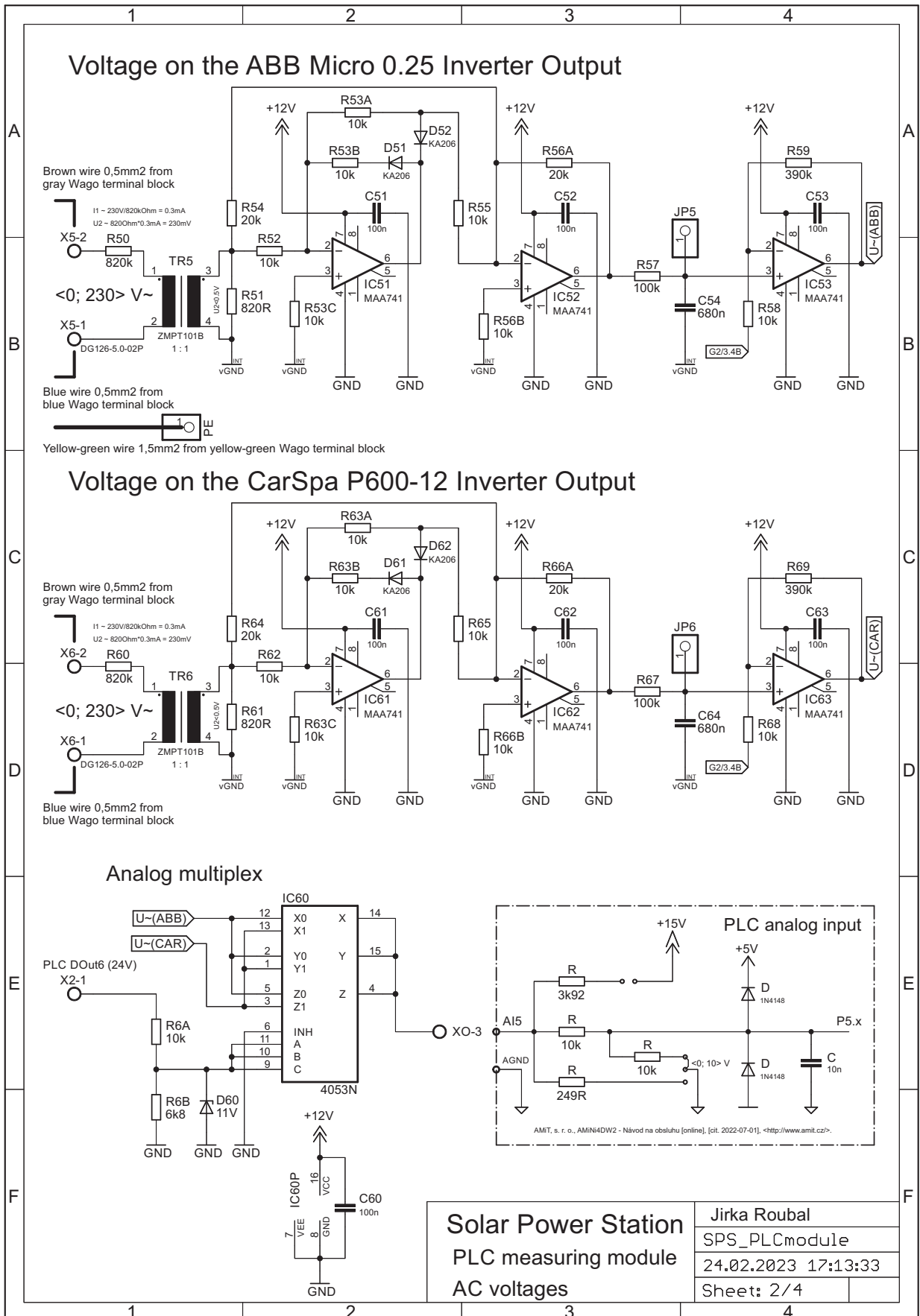


Obrázek E.1: Fotografie převodníku pro měření stejnosměrných a střídavých napětí a proudů pomocí PLC

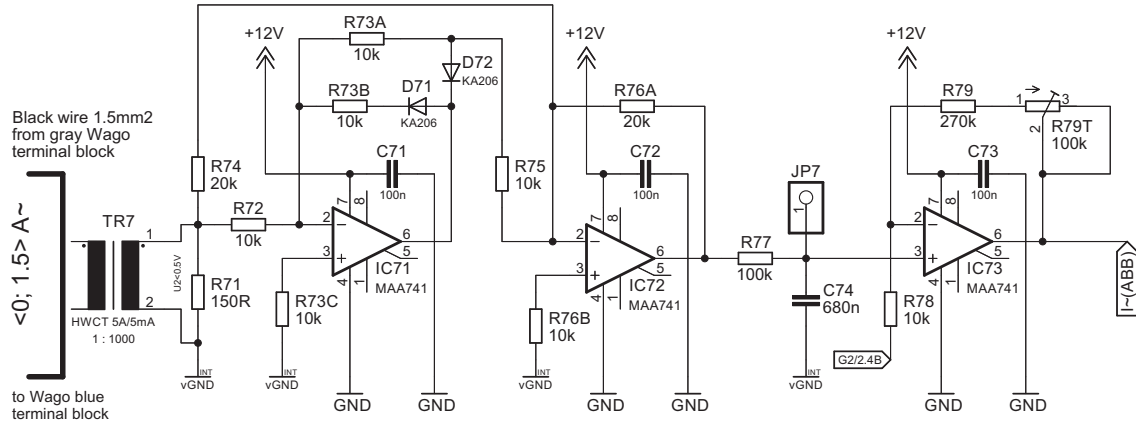


Solar Power Station
 PLC measuring module
 DC voltages and currents

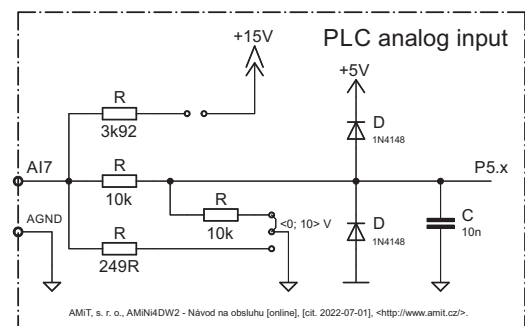
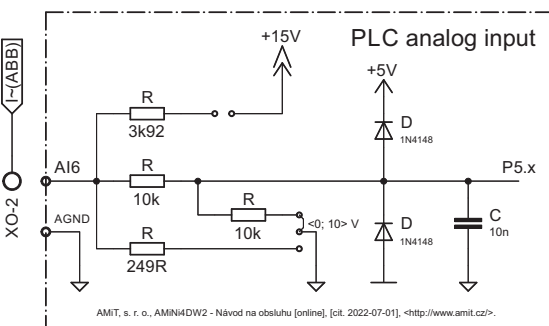
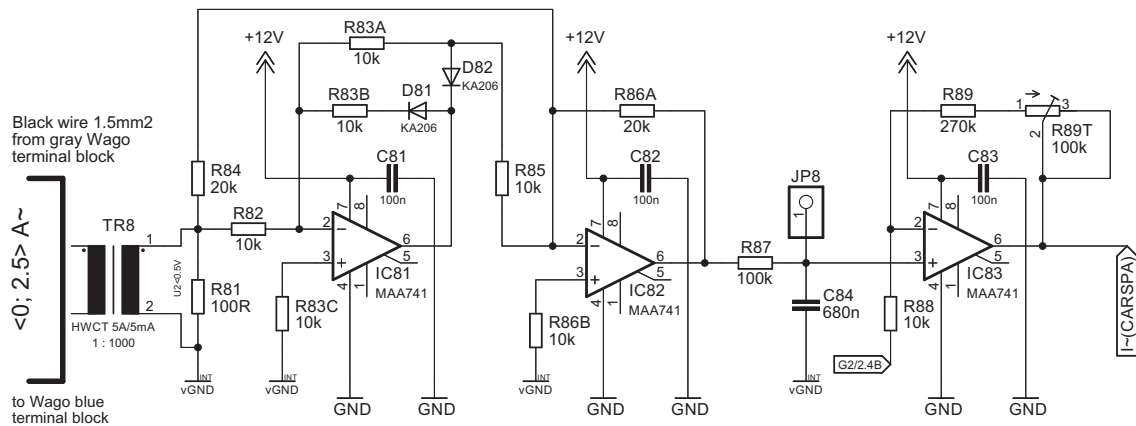
Jirka Roubal
 SPS_PLCmodule
 18.01.2024 7:22:04
 Sheet: 1/4



Current from the ABB Micro 0.25 Inverter Output

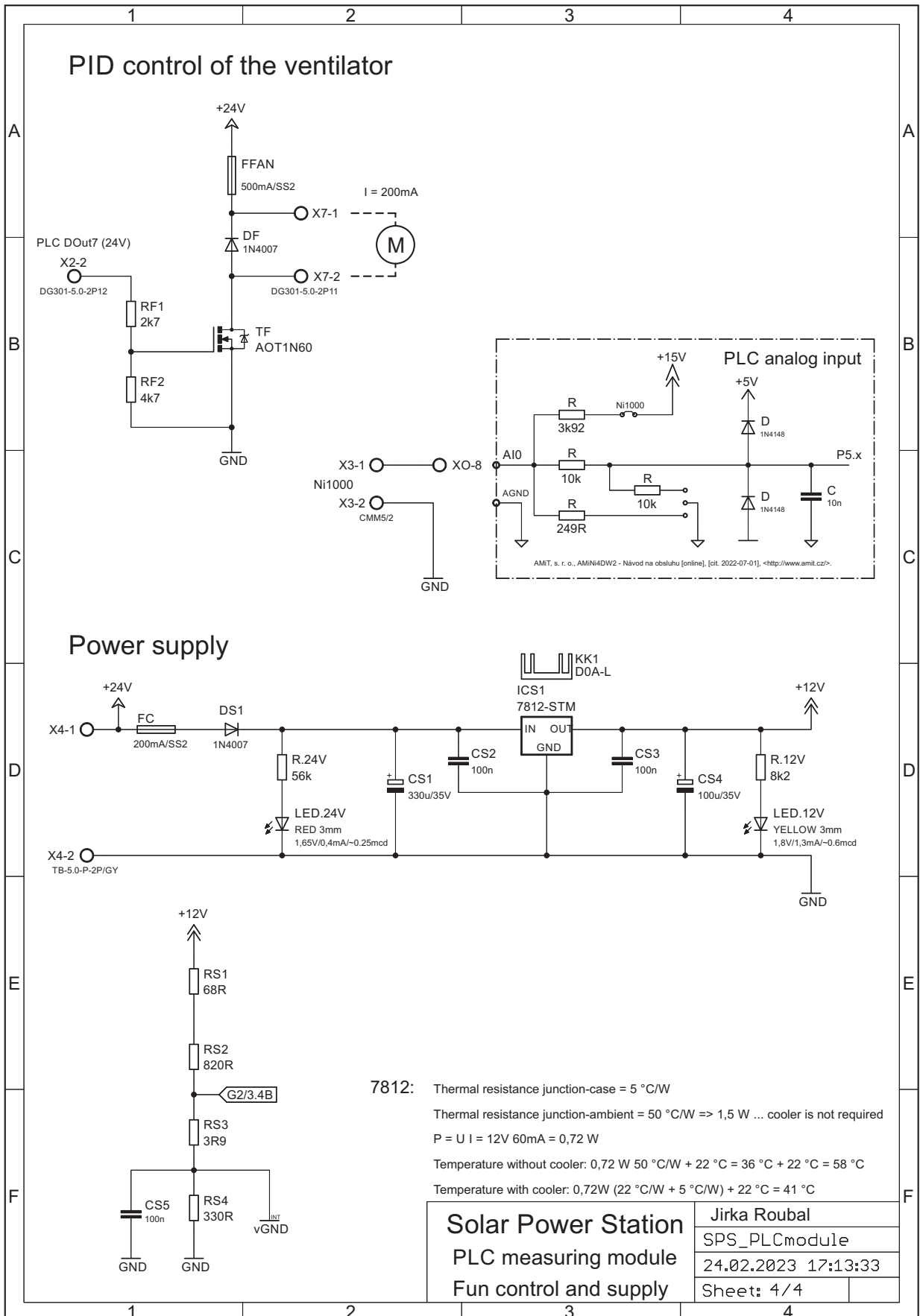


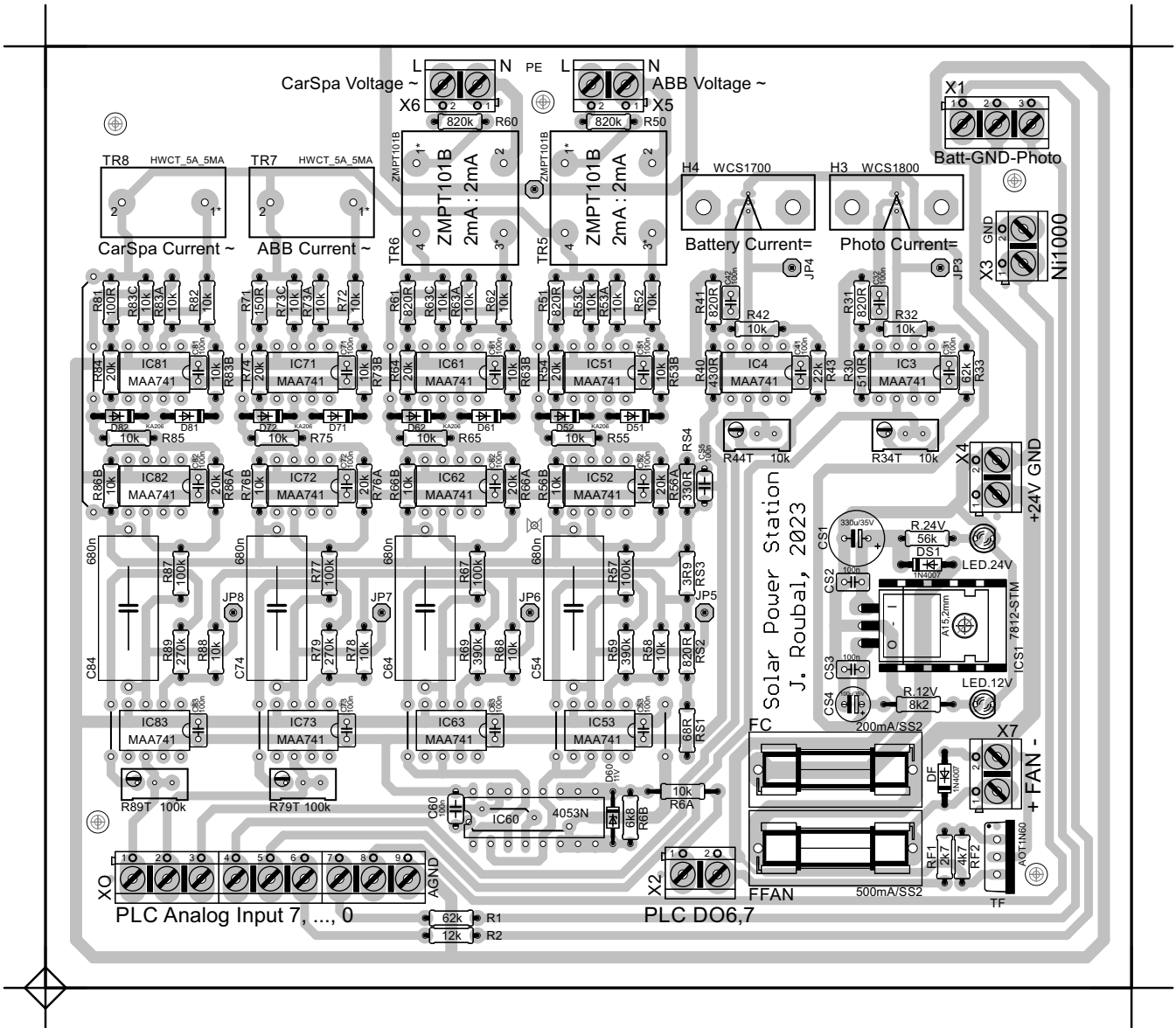
Current from the CarSpa P600-12 Inverter Output

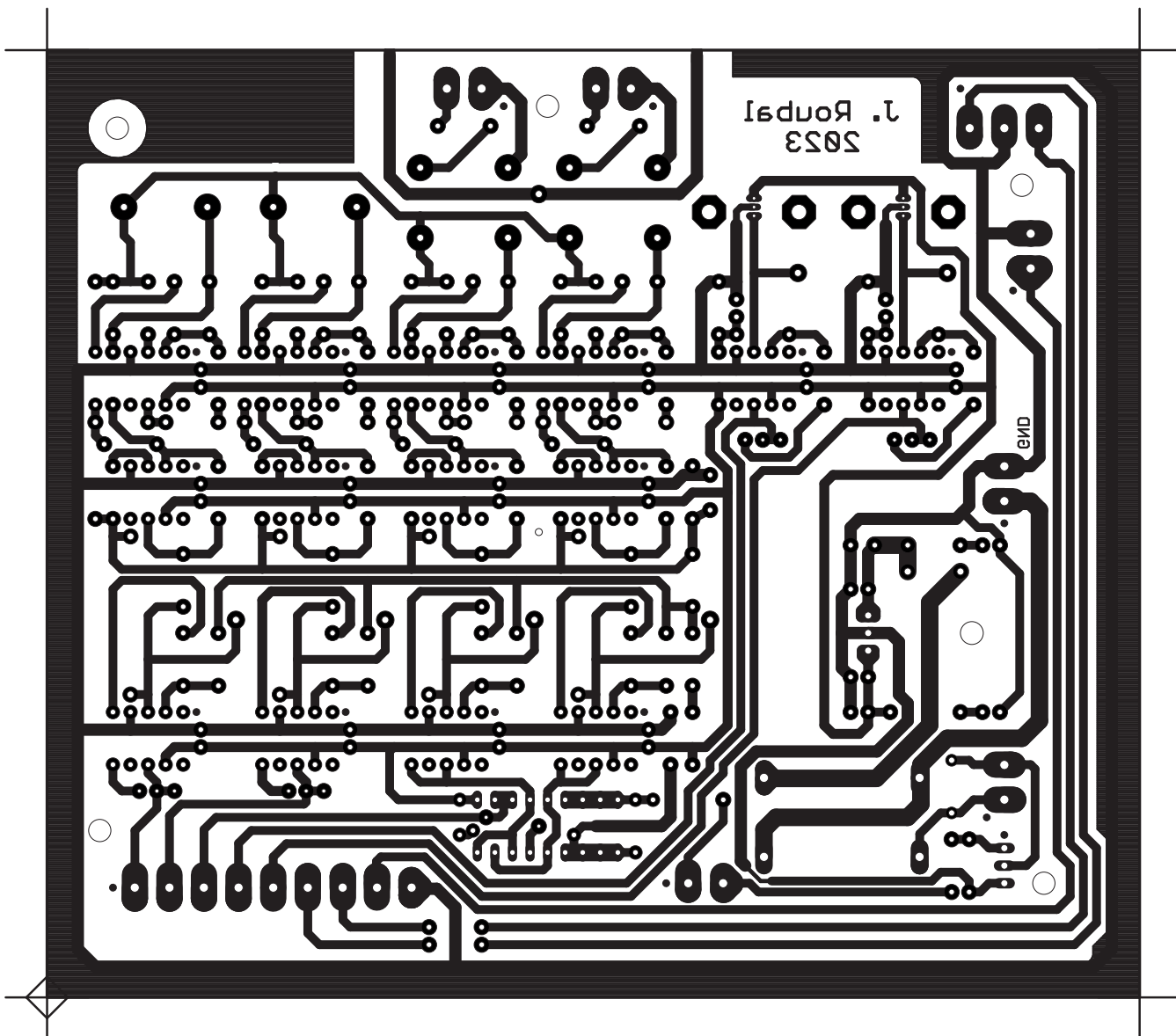


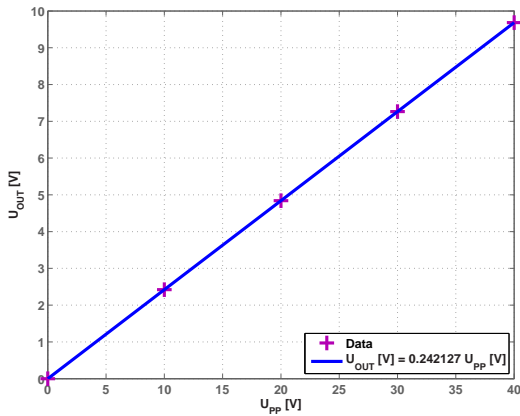
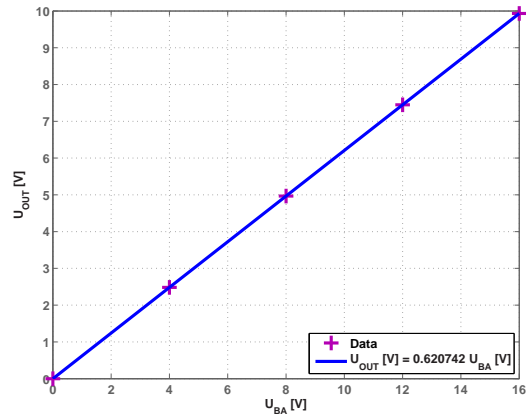
Solar Power Station
 PLC measuring module
 AC currents

Jirka Roubal
 SPS_PLCmodule
 24.02.2023 17:13:33
 Sheet: 3/4

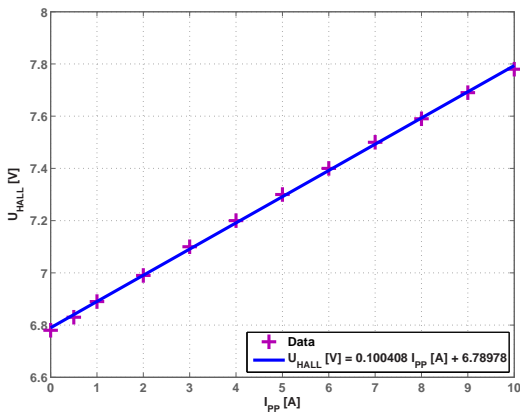
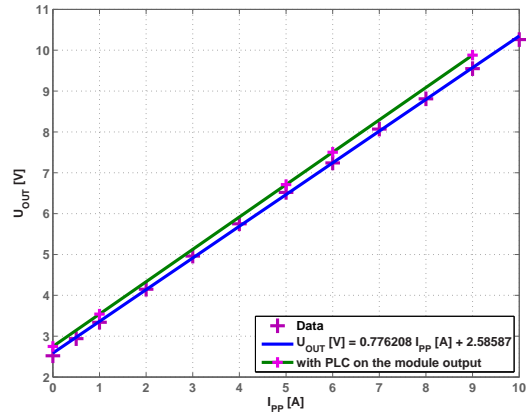




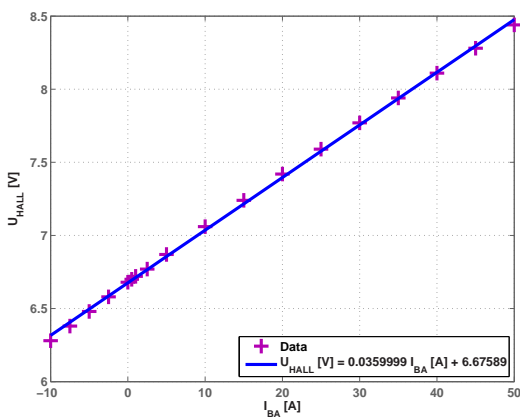
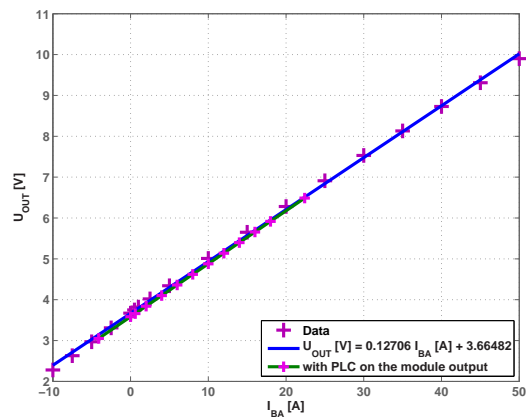


(a) $U_{\text{fotopanelu}} [\text{V}] \rightarrow U_{\text{PLC}} [\text{V}]$ (b) $U_{\text{akumulátoru}} [\text{V}] \rightarrow U_{\text{PLC}} [\text{V}]$

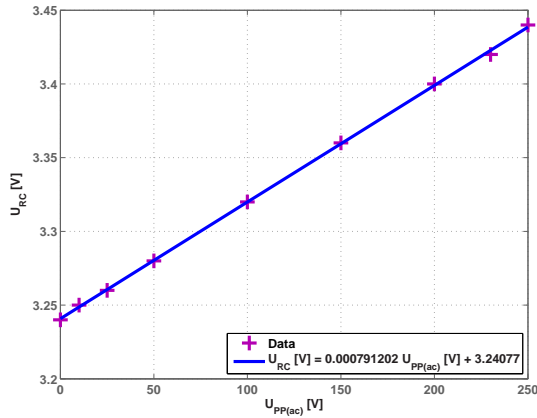
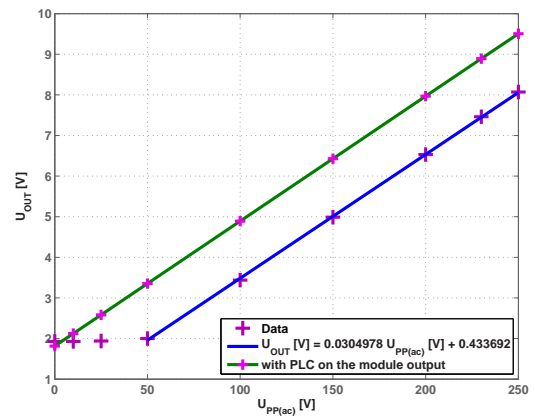
Obrázek E.2: Převodní charakteristiky snímačů stejnosměrných napětí

(a) $I_{\text{z fotopanelu}} [\text{A}] \rightarrow U_{\text{HALL}} [\text{V}]$ (b) $I_{\text{z fotopanelu}} [\text{A}] \rightarrow U_{\text{PLC}} [\text{V}]$

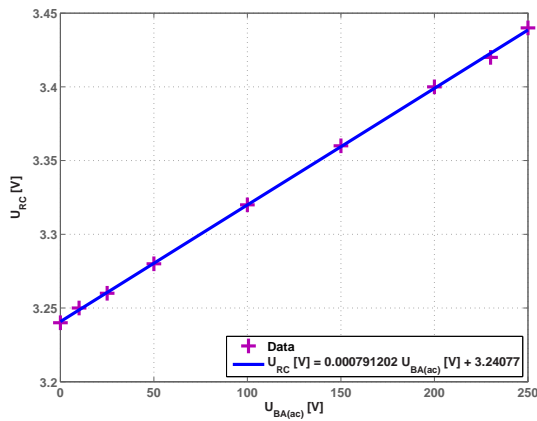
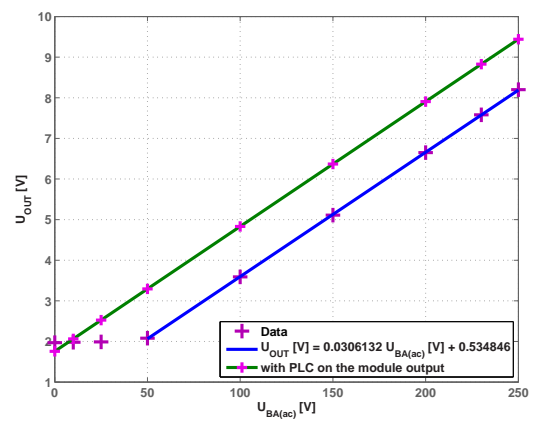
Obrázek E.3: Převodní charakteristiky snímače ss. proudu z fotopanelu

(a) $I_{\text{z akumulátoru}} [\text{A}] \rightarrow U_{\text{HALL}} [\text{V}]$ (b) $I_{\text{z akumulátoru}} [\text{A}] \rightarrow U_{\text{PLC}} [\text{V}]$

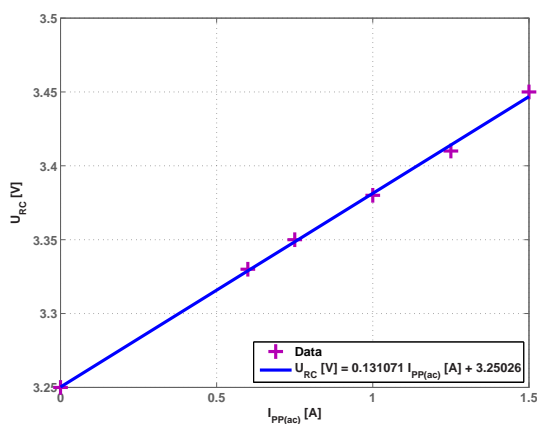
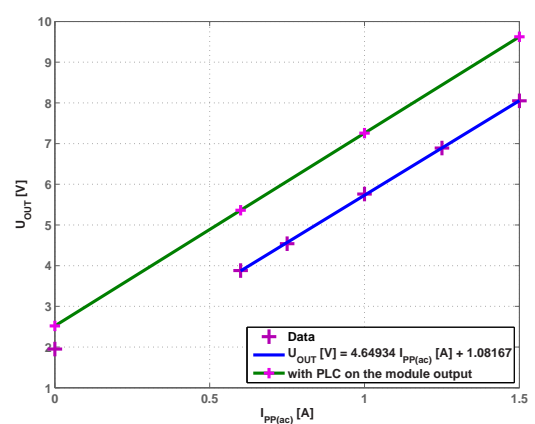
Obrázek E.4: Převodní charakteristiky snímače ss. proudu z akumulátoru

(a) $U_{\text{fotopanel}\sim} [\text{V}] \rightarrow U_{\text{RC}} [\text{V}]$ (b) $U_{\text{fotopanel}\sim} [\text{V}] \rightarrow U_{\text{PLC}} [\text{V}]$

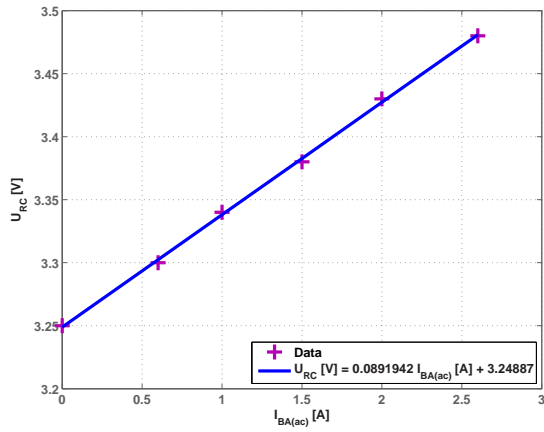
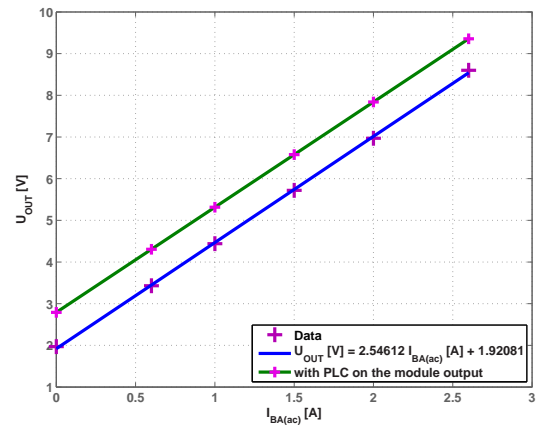
Obrázek E.5: Převodní charakteristiky snímače stř. napětí (fotop. sekce)

(a) $U_{\text{akumulator}\sim} [\text{V}] \rightarrow U_{\text{RC}} [\text{V}]$ (b) $U_{\text{akumulator}\sim} [\text{V}] \rightarrow U_{\text{PLC}} [\text{V}]$

Obrázek E.6: Převodní charakteristiky snímače stř. napětí (akum. sekce)

(a) $I_{\text{fotopanel}\sim} [\text{A}] \rightarrow U_{\text{RC}} [\text{V}]$ (b) $I_{\text{fotopanel}\sim} [\text{A}] \rightarrow U_{\text{PLC}} [\text{V}]$

Obrázek E.7: Převodní charakteristiky snímače stř. proudu (fotop. sekce)

(a) $I_{akumulator\sim} [A] \rightarrow U_{RC} [V]$ (b) $I_{akumulator\sim} [A] \rightarrow U_{PLC} [V]$

Obrázek E.8: Převodní charakteristiky snímače stř. proudu (ak. sekce)

Příloha F

Rozpočet projektu

Následující tabulka uvádí finanční rozpočet modelu fotovoltaické elektrárny zahrnující nákupy jednotlivých součástí a zakázky realizované mimo školu. Ceny jsou uvedeny včetně DPH a obvykle včetně poštovného a balného.

Tabulka F.1: Finanční rozpočet projektu

Komponenty	Cena
Fotovoltaický panel 29,4 V/230 W _p , akumulátor 12 V/140 Ah, regulátor nabíjení CXN 10 + CXM + CXI + instalace	40 512,-
Panelové měřicí přístroje Metra Blanko M80/20	0,-
Panelové měřicí přístroje Metra Blanko Mua 72c	0,-
Střídač ABB Aurora Micro-0.25-I-DOUT-230, měřič spotřeby elektrické energie EMF-1, relé do patice + patice	6 291,-
Měníč CarSpa P600-12	3 247,-
PLC AMiNi4DW2 + zdroj 24 V/1,2 A (ABL8MEM24012)	10 300,-
Komponenty do skříně (pojistkové odpínače, vypínače, proudový bočník 60 A/60 mV, chrániče, jističe, zásuvky, tlačítka, řadové svorky, klemy do řadových svorek, patice, vodiče, konektory ke střídači	8 017,-
Rozvodná skříň 800 × 600 × 300/MP	3 958,-
Proudový bočník 10 A/60 mV	611,-
Potisk dveří skříně	120,-
CDD jednotka pro řízení střídače ABB Aurora Micro-0.25	249,-
Trubky pro přívod vodičů ze stropu a ze stolu + barva	605,-
Akumulátor Victron Energy GEL 110 Ah	8 793,-

Komponenty	Cena
LED světla 40 W do učebny + lampička + instalace	4 558,-
Proudové transformátory HWCT 5 A/5 mA, Hallova sonda WCS1700	420,-
Hallova sonda WCS1800, transformátory ZMPT101B 1:1	164,-
Elektronické součástky na plošný spoj	272,-
Ventilátor 24 V + drobné elektronické součástky	267,-
Měnič CarSpa P600-12	3 248,-
Celkem	91 632,-