

Univerzita Pardubice

Dopravní fakulta Jana Pernera

**FOTOVOLTAICKÝ SYSTÉM VYUŽÍVAJÍCÍ
AKUMULÁTOROVÉHO PAKU
ELEKTRICKÉ KOLOBĚŽKY**

Bakalářská práce

2024

Jakub Raus

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: 2023/2024

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Jakub Raus**
Osobní číslo: **D21352**
Studijní program: **B0788A040001 Dopravní technika**
Specializace: **Elektrická trakce a elektromobilita**
Téma práce: **FOTOVOLTAICKÝ SYSTÉM VYUŽÍVAJÍCÍ AKUMULÁTOROVÉHO PAC-
KU ELEKTRICKÉ KOLOBĚŽKY**
Zadávací katedra: **Katedra elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací techniky v do-
pravě**

Zásady pro vypracování

Student navrhne a sestaví fotovoltaický systém založený na akumulátorovém packu vhodně vybrané elektrické koloběžky. Systém se bude skládat z fotovoltaických panelů, vhodného FV měniče, akumulátorového systému a potřebných výstupních měničů pro napájené spotřebiče. Student dále navrhne a vyrobí nadřazený systém, jenž bude mít za úkol informovat obsluhu o významných parametrech systému.

Specifikace zařízení a úkoly bakaláře:

- Rešerše zaměřená na oblast FV panelů, měničů a elektrických koloběžek, které by pro aplikaci připadaly v úvahu
- Návrh topologie systému
- Výběr vhodných komponent
- Návrh nadřazeného systému
- Výroba a oživení celého systému
- Měření vybraných charakteristik

Rozsah pracovní zprávy:

Rozsah grafických prací:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

- VONDRÁŠEK, František; GLASBERGER, Tomáš; FOŘT, Jiří; JÁRA, Martin a MICHALÍK, Jan. Výkonová elektronika. 3. rozšířené vydání. V Plzni: Západočeská univerzita, 2017. ISBN 978-80-261-0688-3.
- KREJČÍŘÍK, Alexandr. Napájecí zdroje. Praha: BEN – technická literatura, 1999. ISBN 80-86056-56-2.
- LIBRA, Martin a POULEK, Vladislav. Fotovoltaika: teorie i praxe využití solární energie. 2., dopl. vyd. Praha: Ilsa, 2010. ISBN 978-80-904311-5-7

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Ondřej Sadílek, Ph.D.

Katedra elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací techniky v dopravě

Datum zadání bakalářské práce:

24. ledna 2024

Termín odevzdání bakalářské práce:

13. května 2024

L.S.

doc. Ing. Libor Švadlenka, Ph.D.
děkan

Ing. Vítězslav Krčmář, Ph.D.
vedoucí katedry

Prohlášení autora

Prohlašuji:

Práci s názvem fotovoltaický systém využívající akumulátorového packu elektrické koloběžky jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

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

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 13.5.2024

Jakub Raus v.r.

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat panu Ing. Ondřeji Sadílkovi, Ph.D. za vedení této bakalářské práce a jeho podnětné rady a připomínky.

Také chci poděkovat mé rodině a přítelkyni za jejich podporu v průběhu studia a při psaní této práce.

Anotace

Práce se v první části zabývá obnovitelnými zdroji, hlouběji rozebírá principy fotovoltaické přeměny energie, popisuje druhy fotovoltaických článků. Dále se zabývá fotovoltaickými systémy a jejich zapojením. Následuje deklarace požadavků na malý ostrovní systém, porovnává vybrané komerční produkty. Poté se práce zaměřuje na konkrétní realizaci, při které proběhl výběr vhodných komponent, návrh desek plošných spojů, sestavení malého ostrovního systému, a popis jeho řízení pomocí mikrokontroléru.

Klíčová slova

Fotovoltaika, akupack, akumulátor, elektromobilita, elektrokoloběžka, ostrovní systém

Název

Fotovoltaický systém využívající akumulátorového packu elektrické koloběžky

Title

Photovoltaic system using the accumulator pack of an electric scooter

Abstract

The first part of this bachelor thesis deals with renewable energy sources, focuses on the principles of the photovoltaic energy conversion and describes the types of photovoltaic cells. It also deals with photovoltaic systems and their wiring. This is followed by a declaration of requirements for a small off-grid system, then it compares selected commercial products. The thesis then focuses on the actual implementation, which involved the selection of suitable components, the design of circuit boards, the construction of the system and a description of its control using a microcontroller.

Keywords

Photovoltaics, accupack, accumulator, electromobility, electric scooter, off-grid system

Obsah

Seznam obrázků a tabulek	9
Seznam symbolů a zkratk	11
1 Úvod.....	12
2 Obnovitelné zdroje energie.....	13
3 Fotovoltaické panely.....	15
3.1 Princip generování elektrické energie	15
3.2 Monokrystalické články	16
3.3 Polykrystalické články	17
3.4 Amorfní články	17
4 Topologie fotovoltaických systémů	18
4.1 Zapojení střídače paralelně k síti s přetoky.....	18
4.2 Střídač paralelně k síti bez přetoků	19
4.3 Částečný ostrovní systém se zálohou ze sítě	19
4.4 Ostrovní systém bez zálohy ze sítě.....	20
5 Požadavky na malý ostrovní fotovoltaický systém.....	21
5.1 Dosavadní zkušenost.....	21
5.2 Konkrétní požadavky na fyzické zařízení.....	21
5.3 Porovnání komerčně dostupných zařízení.....	21
5.3.1 Bluepalm BP-3000K.....	22
5.3.2 Bluepalm BP-S500F	22
5.3.3 EcoFlow RIVER 2	23
5.3.4 EcoFlow RIVER 2 Max	23
5.3.5 Jackery explorer 250.....	24
6 Návrh topologie zařízení.....	25
7 Popis dílčích celků zařízení.....	26
7.1 Elektrokoloběžka.....	26
7.2 Fotovoltaický měnič a jeho topologie.....	27
7.3 Fotovoltaické panely.....	28
7.4 Střídač	29
7.5 USB moduly	29
7.6 XY6020L	30
7.7 Mikrokontrolér	31

7.8	Expandér vstupů a výstupů	31
7.9	Relé	31
7.10	Jištění	32
7.11	WCS1800	32
7.12	ADC s obvodem ADS1115	33
7.13	LCD s obvodem ST7796S	33
7.14	RTC s obvodem DS3231	33
7.15	LED pásek s GS8208	34
7.16	Záložní zdroj energie	34
8	Uživatelské rozhraní	35
9	Návrh desek plošných spojů	36
9.1	Schéma zapojení	36
9.2	Řídící DPS	37
9.3	Výkonová DPS	38
9.4	Měřící DPS	39
10	Program	40
10.1	Komunikační rozhraní s PC	40
10.2	FreeRTOS	40
10.2.1	Co je to RTOS	40
10.2.2	Úloha ovládání periférií	41
10.2.3	Úloha obsluhy uživatelského rozhraní	41
10.2.4	Úloha komunikačního rozhraní s PC	42
11	Fyzická realizace zařízení	43
12	Praktické měření	45
12.1	Vybíjecí charakteristika aku-packu	45
12.2	VA charakteristika fotovoltaického panelu	47
13	Cenová kalkulace	48
14	Závěr	50
	Literatura	51
	Seznam příloh	54

Seznam obrázků a tabulek

Obr. 1: Větrná elektrárna Thornton Bank [35]	13
Obr. 2: Vodní elektrárna Kamýk [34]	14
Obr. 3: VA charakteristiky fotovoltaického článku při různých hodnotách osvitu [21]	16
Obr. 4: Schéma systému zapojeného paralelně k síti (autor)	18
Obr. 5: Schéma ostrovního systému se zálohou ze sítě (autor)	19
Obr. 6: Schéma ostrovního systému bez zálohy ze sítě (autor)	20
Obr. 7: Bluepalm BP-3000K [5]	22
Obr. 8: Bluepalm BP-S500F [7]	23
Obr. 9: EcoFlow RIVER 2 Max [10]	24
Obr. 10: Jackery Explorer 240 [12]	24
Obr. 11: Schéma zapojení funkčních celků (autor)	25
Obr. 12: Pohled na zakoupenou koloběžku (vlevo), detail úložného prostoru akupacku (vpravo) (autor)	26
Obr. 13: MPPT regulátor EASun (autor, graficky upraveno)	27
Obr. 14: Fotovoltaické panely připravené pro jednoduchý transport (autor)	28
Obr. 15: Střídač (autor, graficky upraveno)	29
Obr. 16: USB modul (autor, graficky upraveno)	29
Obr. 17: Programovatelný snižovací spínaný zdroj XY6020L (autor, graficky upraveno)	30
Obr. 18: Charakteristika relé s nevyhovujícími parametry [20]	32
Obr. 19: Pohled na využití vícenásobného průchodu vodiče sondou WCS1800 na sestrojeném zařízení (autor, graficky upraveno)	33
Obr. 20: Uživatelské rozhraní (autor, graficky upraveno)	35
Obr. 21: Zjednodušené schéma zapojení silového obvodu (autor)	36
Obr. 22: Navrhnutá řídicí DPS bez rozlitého zemního polygonu (autor)	37
Obr. 23: Navrhnutá výkonová DPS bez rozlitého zemního polygonu (autor)	38
Obr. 24: Navrhnutá měřicí DPS bez rozlitého zemního polygonu (autor)	39
Obr. 25: Osazená měřicí DPS (vlevo) a osazená výkonová DPS (vpravo) (autor)	43

Obr. 26: Osazená řídicí DPS (autor).....	43
Obr. 27: Spojení výkonové a měřící DPS do jednoho celku (autor).....	44
Obr. 28: Pohled na sestavené zařízení spolu s výkonovými výstupy při praktickém ověření funkčnosti (autor)	44
Obr. 29: Vybíjecí charakteristika akupacku.....	45
Obr. 30: Theveninův model článku [26]	46
Obr. 31: Dynamické chování akupacku po ukončení vybíjení	46
Obr. 32: Voltampérová charakteristika fotovoltaického panelu SZ-110-36M.....	47
Tab. 1: Porovnání naměřených a výrobcem udávaných hodnot fotovoltaického panelu	47
Tab. 2: Vyčíslení ceny zařízení	48
Tab. 3: Porovnání sestaveného zařízení s komerčně dostupnými zařízeními	49

Seznam symbolů a zkratk

U_{OC}, V_{OC}	Napětí fotovoltaického článku naprázdno
I_{SC}	Proud fotovoltaického panelu nakrátko
P_{MP}	Výkon fotovoltaického panelu v bodu maximálního výkonu
U_{MP}, I_{MP}	Napětí, respektive proud v bodu maximálního výkonu
AM	Air mass. vzdušná hmota
STC	Standard Test Conditions, standardní testovací podmínky
RTC	Real-Time Clock, hodiny reálného času
MPP	Maximum Power Point, bod maximálního výkonu
MPPT	Maximum Power Point Tracking, algoritmus vyhledávání bodu nejvyššího výkonu
RTOS	Real-Time Operating System, operační systém reálného času
FreeRTOS	open-source implementace RTOS

1 Úvod

Bakalářská práce s názvem „Fotovoltaický systém využívající akumulátorového packu elektrické koloběžky“ se zabývá návrhem a sestrojením malého ostrovního systému využívajícího fotovoltaických panelů a akumulátoru elektrické koloběžky. V první části této práce je rozebrán přínos obnovitelných zdrojů, popis konvenčních fotovoltaických panelů a princip generování elektrické energie. Práce se dále zabývá teoretickým porovnáním vybraných komerčně dostupných zařízení, které využívají baterie, umožňují připojení fotovoltaických panelů, a nabízejí výstup v podobě střídavých 230 V, často doplněnými o USB a výstup 12 V.

Dále se práce zaměřuje na definování specifických požadavků na takovýto systém s plánovaným využitím na letním dětském táboře. Z těchto požadavků vychází konkrétní návrh zařízení, výběr komponent a modulů tvořících celek zařízení. Dalším tématem je návrh schéma zapojení, návrh desek plošných spojů, jejich osazení a zprovoznění. Poté je představen software tohoto zařízení a jeho zevrubné fungování.

Následují praktické měření s částmi zařízení. Poslední částí této práce je vyčíslení ceny sestrojeného zařízení a jeho porovnání s dříve zmíněnými komerčně dostupnými alternativami.

S rostoucím počtem akumulátorových zařízení postupně vzniká otázka, jaké využití nalézt pro vysloužilé akumulátory, jejichž parametry nevyhovují původní aplikaci. Často takovéto akumulátory nejsou zcela na konci své životnosti a recyklace by představovala jisté plýtvání ještě použitelným materiálem. Předložený návrh systému malého ostrovního fotovoltaického systému mimo jiné ukazuje, jak by se daly takovéto vysloužilé akumulátory využít ve stacionárním úložišti energie.

2 Obnovitelné zdroje energie

Obnovitelné zdroje energie každým rokem nabývají na významu a jejich celkový instalovaný výkon se neustále zvyšuje. Umožňují osamoceným, vzdáleným oblastem vyrábět energii bez spotřeby fosilních paliv nebo v oblastech, kde je rozvodná síť dostupná, umožňují energetické úspory, nebo dokonce soběstačnost.

Obnovitelné zdroje energie jsou takové zdroje, které se obnovují samovolně nebo s pomocí člověka. Tyto zdroje mají původní zdroj ze Slunce, geotermální energie nebo oběhu Měsíce kolem Země. Ze Slunce získáváme především sluneční záření, které je dále příčinou větru a vodních toků.

Energii oběhu Měsíce kolem Země můžeme využívat díky přílivovým elektrárnám, které využívají rozdílné výšky hladiny v průběhu dne. Geotermální energie je využitelná pro výrobu elektřiny pomocí parních turbín, nebo pro získávání tepla, využitelného pro vytápění budov.

Vítr vzniká nerovnoměrným ohřevem povrchu Země. Při změně teploty mění vzduch svůj objem, což má za následek vznik rozdílných tlaků, které vedou ke vzniku větru. Větrnou energii nejčastěji získáváme pomocí větrných turbín, které pohyb vzduchu přeměňují na rotační pohyb a ten je následně přeměněn pomocí generátoru na elektrickou energii. Existují i alternativní způsoby, jako jsou bezlopatkové turbíny, ale jejich využití není příliš časté. Výhodou větrných elektráren jsou nízké provozní náklady, nezabírají příliš zemědělské půdy, a ve vhodných oblastech může být jejich roční generace elektrické energie stabilnější než u jiných zdrojů. Nevhodným aspektem je především vzhled a hluchost, avšak tyto dva problémy mají řešení v podobě větrných turbín na moři. Toto řešení sice není relevantní pro Česko, ale v globálním měřítku může být dobře využito.



Obr. 1: Větrná elektrárna Thornton Bank [35]

Vodní toky jsou následkem ohřevu povrchové vody slunečním zářením, což vede k vypařování této vody, která stoupá do vyšších vrstev atmosféry. Odtud je dále roznášena po planetě, a pokud se vysráží nad vysoko položeným místem, má tato voda velkou potenciální energii. Při své cestě z těchto vyšších míst přeměňuje část energie na kinetickou, ale velká část jí je ztracena. Pokud přehradíme vodní tok na vhodném místě, můžeme vytvořit výškový spád, kterého můžeme dobře využít pro generování elektrické energie. Tu získáváme z rotačního pohybu turbíny, která otáčí rotorem generátoru, a je otáčena proudem protékající vody. Můžeme využívat nejen výškového spádu, ale také protékajícího objemu vody. Tyto elektrárny se nazývají průtočné, a nachází se především na dolních tocích řek.



Obr. 2: Vodní elektrárna Kamýk [34]

Sluneční záření můžeme využít k výrobě elektřiny dvěma způsoby:

- přímá přeměna pomocí fotoelektrického jevu,
- nepřímá tepelná přeměna.

Tepelná přeměna využívá sluneční paprsky k ohřevu vody, nebo jiného média, které poté ohřívá vodu. Pokud vodu zahřejeme na dostatečnou teplotu, dojde k její přeměně na páru, a tuto energii již umíme dobře zpracovat pomocí parních turbín. Alternativním způsobem je z této vody nevyrábět elektřinu, ale využít její tepelnou energii, například k ohřevu vody nebo vytápění domácností. [2]

Přímá přeměna energie je popsána v následující kapitole.

3 Fotovoltaické panely

3.1 Princip generování elektrické energie

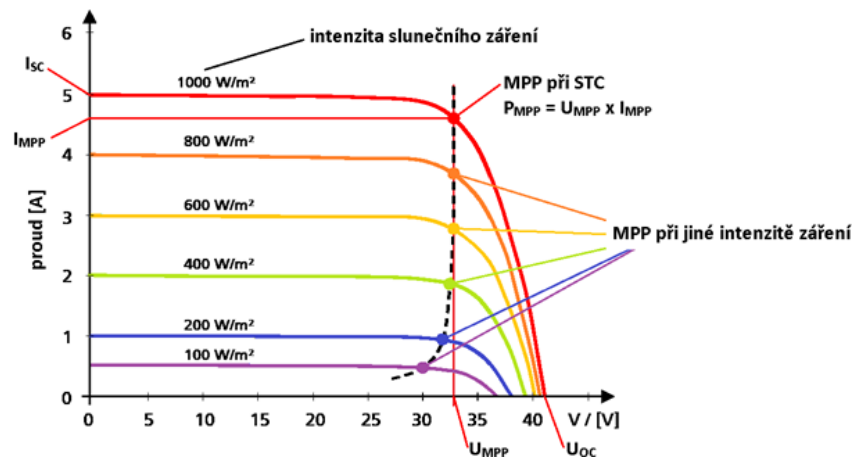
Krystalová struktura křemíku je shodná s diamantem, každý atom křemíku má vazbu se čtyřmi sousedními atomy, se kterými tvoří kovalentní vazby. Pokud v této krystalické struktuře vyměníme některé atomy křemíku za prvek s pěti elektrony ve valenčním pásu, tedy prvkem z V. skupiny Mendělejevovy periodické tabulky prvků, budou čtyři z těchto atomů tvořit kovalentní vazby s okolními atomy křemíku, pátý zůstane jen lehce vázaný. Polovodič dopovaný atomy z této páté skupiny se označuje jako polovodič typu N. Dodáme-li malé množství energie (pokojoová teplota), dojde k uvolnění tohoto elektronu a přejde do vodivostního pásu. Tím z daného atomu vznikne pevně vázaný kladný náboj. Pokud naopak budeme křemík dopovat atomy ze III. skupiny periodické tabulky prvků, které mají 3 valenční elektrony, vznikne polovodič typu P. Jelikož mají jen 3 valenční elektrony, ale jsou obklopeny čtyřmi atomy křemíku, chybí zde jeden elektron pro vytvoření vazby. Tato absence elektronu vytváří tzv. díru, se kterou pracujeme jako s pozitivně nabitou částicí, i přes to, že se o částici nejedná. Pokud opět dodáme jistou energii, dojde k situaci, kdy ze sousedního atomu křemíku přeskočí elektron z valenčního pásu a obsadí tuto díru. Tím ale vznikla díra na původním místě tohoto elektronu. Tímto způsobem se díra může pohybovat krystalem polovodiče. Z atomu tohoto trojmocného prvku vznikl pevně vázaný záporný náboj.

Pokud část krystalu dopována na typ P sousedí s polovodičem typu N, vzniká na tomto rozmezí PN přechod. V oblasti PN přechodu dojde k přesunu části volných elektronů z polovodiče typu N do typu P, kde zaplní volné díry. Z důvodu těchto přechodů se v okolí PN přechodu vyprázdňují volné nosiče nábojů, vzniká zde hradlová oblast. Nepohyblivé částice mají na obou stranách jiný náboj, a tím v tomto prostoru vzniká elektrické pole. Toto pole brání dalšímu přechodu volných nosičů nábojů přes PN přechod.

Výše popsaný PN přechod tvoří polovodičovou diodu. Pro využití fotovoltaického jevu je potřebné umožnit dopad fotonů na tento přechod. Toho se v praxi dosahuje vytvořením PN přechodu o velké ploše, na který mohou fotony dopadat kolmo. Po dopadu fotonu na PN přechod odevzdá foton svou energii a dojde k jeho pohlcení. V závislosti na vlnové délce daného fotonu dojde k vytvoření páru elektron – díra, volnému průchodu polovodičem nebo k přeměně na tepelnou energii. Při vytvoření páru elektron – díra v oblasti PN přechodu jsou tyto částice přitahovány opačným směrem. Elektron je polem přemístěn do oblasti typu N, díra opačně. Tímto procesem vzniká mezi polovodičem typu N a P napětí, a po připojení tohoto článku do elektrického obvodu začne protékat elektrický proud. [1]

Generované napětí, pokud není článek v obvodu, je napětím naprázdno, v angličtině open circuit voltage, a značí se U_{oc} nebo v anglicky mluvících zemích V_{oc} . Připojíme-li tento článek do obvodu s nulovým odporem, tzn. propojíme svorky tohoto článku, protéká maximální proud. Tento proud se nazývá zkratový proud neboli short circuit current, a značí se I_{sc} . Hodnota U_{oc} je pro jeden článek zhruba 0,6 V a je jen málo závislá na osvitu článku. Naopak hodnota I_{sc} je velmi závislá na

intenzitě osvětlení. Dalšími významnými parametry jsou napětí a proud v bodě maximálního výkonu.



Obr. 3: VA charakteristiky fotovoltického článku při různých hodnotách osvětlení [21]

Parametry uvedené v katalogu výrobce, případně na samotném fotovoltickém panelu, jsou měřeny při standardních testovacích podmínkách neboli standard test conditions (STC). Jedná se o sadu parametrů, které jsou udržovány během testování fotovoltických panelů. Těmito parametry jsou:

- intenzita záření 1 000 W/m²,
- teplota článku 25 °C,
- vzdušná hmota (air mass) AM 1,5.

Vzdušná hmota AM slouží k jednoduchému rozlišení, jakou částí atmosféry muselo sluneční záření projít. AM 1 odpovídá nejkratší dráze průchodu atmosférou, tedy situaci, kdy je slunce kolmo k zemskému povrchu. S rostoucím AM se mění spektrální složení světla a jeho intenzita. [3]

Při těchto parametrech jsou prováděny měření a mohou sloužit pro porovnávání parametrů jednotlivých článků. Důležitými parametry fotovoltických článků je již zmiňovaný proud nakrátko a napětí naprázdno, a dále výkon v bodu maximálního výkonu P_{max} , proud v tomto bodu I_{MPP} a napětí U_{MPP} . [21]

3.2 Monokrystalické články

Tyto články jsou vyráběny z jednoho krystalu velmi čistého křemíku. Ten byl získán tzv. Czokralského metodou. První krok této metody spočívá v roztavení křemíku o vysoké čistotě. Pro tuto metodu jsou vyžadované vysoké teploty, okolo 1 415°C. Do taveniny křemíku je vložen zárodek krystalu, ten začne z taveniny vázat nové atomy do mřížky, čímž dochází k jeho růstu. Za rotačního pohybu je tento krystal pomalu vytahován z taveniny. Tím se vytvoří jeden krystal neboli monokrystal.

Z tohoto monokrystalu se řežou plátky, ty jsou dále tvarově upraveny. Následuje vytvoření PN přechodu. Poté je na přední plochu nanášeno vedení pro odvod proudu. To se nejčastěji aplikuje síťotiskem, a snahou je zabrat co nejmenší plochu článku, aby aktivní plocha byla co největší, a byla tedy dosažena co nejvyšší účinnost. Na straně druhé, na kterou nebude dopadat záření, je připojena jednolitá vrstva vodivého materiálu.

Výsledný článek má tloušťku okolo 100 μm . Panely využívající monokrystalickou technologii dosahují vysoké účinnosti a nejlépe zpracovávají přímý sluneční svit. [1]

3.3 Polykrystalické články

Tyto články jsou tvořeny více krystaly. Jejich výroba je méně náročná a nákladná, ale zároveň dosahují nižší účinnosti. Výroba probíhá vylitím roztaveného křemíku do misky, kde pomalu za kontrolovaných podmínek krystalizuje. Tvoří se jeden ingot, který je následně řezán na požadované rozměry. Krystalizace musí probíhat velmi pomalu, aby bylo umožněna tvorba co největších monokrystalických zrn tohoto polykrystalu. Každá hranice zrn a jiné poruchy krystalu představují pro elektrony bariéry a zhoršují parametry těchto článků. [1]

3.4 Amorfni články

Panely vyrobeny touto technologií jsou tenkovrstvé, jejich tloušťka se pohybuje v řádech jednotek μm . Díky jejich malé tloušťce jsou ohebné, a pokud se nanášou na vhodný podklad, je možné je využívat například k polepům budov. Jejich účinnost je ještě nižší než u polykrystalických, ale jejich výrobní náklady tento nedostatek vyrovnávají. Jsou vyráběny při teplotách okolo 200 $^{\circ}\text{C}$, a tvoří pravidelnou krystalickou mřížku. Nevýhodou je nízká difuzní vzdálenost v dotovaném polovodiči, tento nedostatek se překonává nedotovanou vrstvou křemíku mezi vrstvami P a N. Nedotovaná vrstva se nazývá intristická. Vrstvy P a N vytváří PN přechod a také elektrické pole, k vytváření náboje ovšem dochází v nedotované intristické vrstvě, ve které je životnost tohoto náboje delší. Vzniklé uspořádání se nazývá PIN strukturou.

Výhodou tenkovrstvých článků je možnost jejich řazení za sebou, kdy jednotlivé PIN struktury jsou přizpůsobené na jiné vlnové délky, a tedy pokrývají jinou část spektra. [3]

U tohoto způsobu zapojení je důležité vhodně vybrat střídač. Existují tři varianty střídačů využitelných pro tyto účely:

- jednofázový,
- třífázový symetrický,
- třífázový asymetrický.

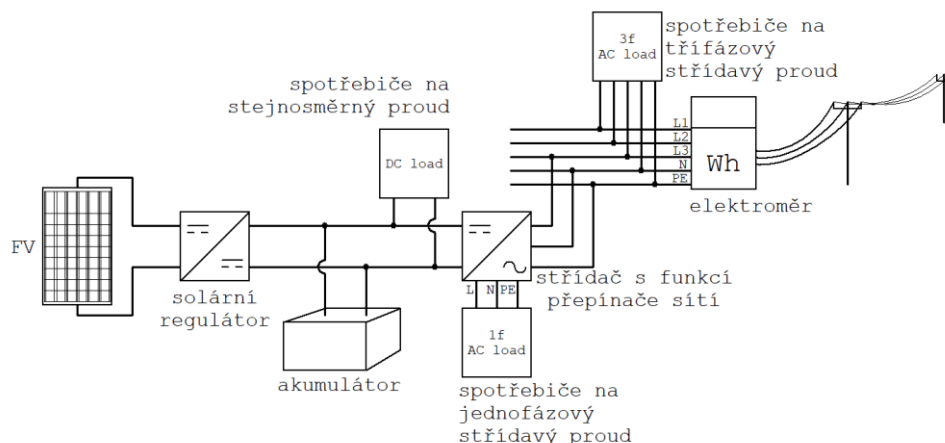
V České republice se využívá měření spotřebované energie po fázích, což znamená, že se měří každá fáze samostatně. Pokud se zvolí jednofázový střídač, a daná instalace v objektu využívá tři fáze, je žádoucí, aby spotřebiče byly připojeny právě na fázi tohoto střídače. Pokud objekt využívá jen jednofázového rozvodu elektrické energie tento problém odpadá. Pokud je využit třífázový symetrický střídač, hrozí situace, při které je z jedné fáze výkon odebírán ze sítě a v druhé fázi je do sítě dodáván. Tento způsob vede k nevhodnému využití solární energie a může dojít k situaci, při které systém nevede k žádným úsporám. To je způsobeno tím, že symetrický střídač dodává do všech fází stejný výkon, nezávisle na tom, jaká je spotřeba lokálně. Proto je vhodnější asymetrický střídač, který umožňuje do každé fáze dodávat jiný výkon, a tím lépe pokryje lokální potřeby. [4]

4.2 Střídač paralelně k síti bez přetoků

Tento způsob zapojení vychází z předchozího, ale nedovoluje tok energie do sítě. Při nedostatku je energie odebírána ze sítě, při přebytku je nevyužita. Uvedená topologie umožňuje připojení akumulátorů. Vyžaduje schválení distributorem elektrické energie, nejsou však sjednány přetoky do sítě. V případě přetoků hrozí majiteli finanční sankce.

4.3 Částečný ostrovní systém se zálohou ze sítě

Systém funguje primárně nezávisle na síti. K tomu využívá nějaké formy uložení energie, nejčastěji lithiový akumulátor. Při výpadku fotovoltaického systému, například z důvodu poruchy, vybití baterií či při přetížení se zátěž připojí k síti (například pomocí přepínacího kontaktu relé). Tento systém při vhodném zvolení parametrů fotovoltaických panelů a uložení energie umožňuje značnou nezávislost na distribuční síti.

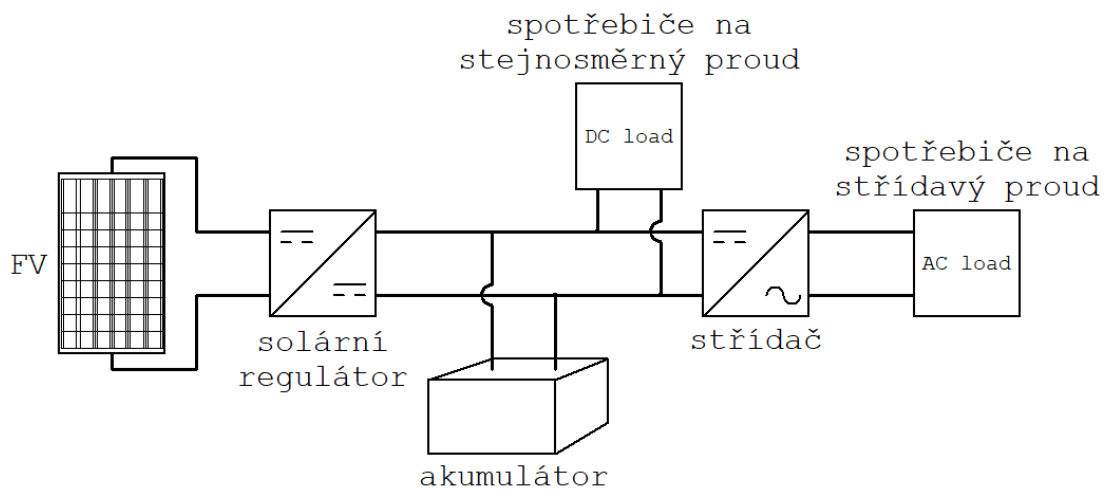


Obr. 5: Schéma ostrovního systému se zálohou ze sítě (autor)

4.4 Ostrovní systém bez zálohy ze sítě

Jedná se o izolovaný systém, který je zcela nezávislý na distribuční síti. Toto zapojení mohou využívat samostatné budovy, skupiny budov, ale i vozidla, jako jsou obytné vozy, nebo i jen samostatný fotovoltaický panel s baterií je možné považovat za takovýto systém.

Systém je bez zálohy ze sítě, což znamená, že při poruše, vybití baterií, a dalších podobných poruchových stavech je systém bez energie. I dlouhodobě nepříznivé počasí může mít za následek výpadek systému, právě z důvodu vybití baterií. Z tohoto důvodu není vhodný pro systémy, kde je potřeba nepřetržitý provoz, a při jeho dimenzování je nutné počítat se snížením výroby energie v zimním období.



Obr. 6: Schéma ostrovního systému bez zálohy ze sítě (autor)

5 Požadavky na malý ostrovní fotovoltaický systém

5.1 Dosavadní zkušenost

Malý ostrovní fotovoltaický systém, jehož návrhem se zabývá tato práce, bude využíván na dětském letním táboře, který je umístěn hluboko v lese a daleko od civilizace. Dlouhou dobu byla situace ohledně nabíjení mobilních telefonů, fotoaparátů, vysílaček nebo osvětlení v kuchyni a jídelně řešeno pomocí vyřazených autobaterií, které ještě měly dostatečnou kapacitu pro tyto služby. Jejich nabíjení se řešilo v nejbližším městě. Systém to nebyl nejvhodnější, jelikož se tyto baterie nechávaly nabít přes noc, a to znamenalo výpadek energie. Poslední dva roky jeden z vedoucích zapůjčoval dva solární panely s gelovou 12 V baterií o vyšší kapacitě. Ani tento způsob nevyřešil vysokou poptávku po energii, částečně i proto, že nabíjení této baterie probíhalo pomocí PWM solárního měniče, který nebyl dimenzován na velké výkony. Pokud zanedbáme ztráty v účinnosti nabíjecího regulátoru, stále tento způsob vede na nevhodné využívání, kdy se k této baterii připojí střídač na 230 V. Do tohoto střídače se zapojí nabíječka na mobil, která těchto 230 V zase přemění na 5, 9, 12, 15 nebo 20 V které nabízí USB pro nabíjení. I pro nabíjení vysílaček je nutné využít tohoto způsobu, jelikož nebyly dodány s nabíječkou z 12 V. Pokud pomineme i tyto ztráty, stále se jedná o systém bez řízení a monitorování, a pokud dojde k situaci, při které někdo po nabíjení neodpojí měnič od baterie, dojde k jejímu vybití.

5.2 Konkrétní požadavky na fyzické zařízení

Vzhledem k charakteru aplikace a reálným požadavkům na zařízení lze požadované vlastnosti systému shrnout v těchto bodech:

- baterie s vysokou kapacitou,
- solární nabíjení s vysokou účinností,
- výstup USB s vysokým výkonem a dostatečným počtem výstupů,
- 12 V výstup s autozásuvkou,
- nastavitelný stejnosměrný výstup,
- střídač 230 V s dostatečným výkonem,
- monitorovací systém.

5.3 Porovnání komerčně dostupných zařízení

Odvětví malých bateriových uložišť zažívá v posledních letech velký rozkvět, především díky zlevňování Li-ion baterií a fotovoltaických panelů. Výrobci nabízejí široké spektrum výrobků, od systémů s dostupnou energií přes 6 kWh, až po systémy s méně než 200 Wh. Následující kapitoly porovnájí vybrané zařízení v této kategorii.

5.3.1 Bluepalm BP-3000K

Jedná se o základní model značky Bluepalm, s nejnižší kapacitou baterie, která činí 294,4 Wh. Technologie článků je LiFePO₄, výrobce udává 23 Ah při 3,2 V na článek, s napětím baterie 12,8 V. Uvedena je také garantovaná životnost, a to 80% původní kapacity po více než 4 000 cyklech. Zařízení umožňuje nabíjení solárními panely s využitím MPPT regulátoru o maximálním napětí 24 V a výkonu 120 W.

Nabízenými výstupy jsou:

- 220–240 V @ 50 / 60 Hz, trvalý výkon 300 W, špičkový 500 W,
- jedno USB-C s maximálním výkonem 100 W,
- dvě USB-A s maximem 18 W,
- DC 12 V s výkonem 120 W, dostupné pomocí autozásuvky nebo 5,5x2,5 mm DC konektoru.

Fyzické uživatelské rozhraní je minimální, nabízí segmentový displej a tři tlačítka pro spínání výstupů. Výrobce nabízí aplikaci komunikující přes Bluetooth. Nad displejem je umístěné LED světlo.



Obr. 7: Bluepalm BP-3000K [5]

Cena zařízení činí aktuálně (2024) 4 190 Kč, avšak výrobcem doporučené panely se v Česku neprodávají. [5] [6]

5.3.2 Bluepalm BP-S500F

Výkonnější model značky Bluepalm nabízí baterii o kapacitě 518 Wh, se jmenovitým napětím 19,2 V. Tento akumulátor je opět sestaven z článků technologie LiFePO₄, se jmenovitým napětím 3,2 V a kapacitou 27 Ah. Stejně jako u levnějšího modelu i zde výrobce garantuje 80% kapacity po 4 000 cyklech. Je nabízen solární nabíječ s MPPT regulací, maximálním napětím 32 V a výkonem 240 W. Tento typ nabízí oproti levnějšímu výkonnější střídavý výstup, s trvalým výkonem 800 W a 1 600 W špičkového výkonu. Také byla přidána jedna zásuvka navíc.



Obr. 8: Bluepalm BP-S500F [7]

Aktuální (2024) cena je 8 990 Kč. Výrobce doporučované panely se prodávají za 6 299 Kč. [7] [8]

5.3.3 EcoFlow RIVER 2

Nejlevnější model firmy EcoFlow nabízí LiFePO₄ akumulátor o kapacitě 256 Wh, se jmenovitým napětím 12,8 V a kapacitou 20 Ah. I tento výrobce uvádí garantovanou životnost, konkrétně více než 80% kapacity po 3 000 cyklech. I tento model nabízí MPPT regulátor s maximálním napětím 30 V a výkonem 110 W. Nabízí výstupy:

- 230 V @ 50 / 60 Hz, trvalý výkon 300 W, špičkový 600 W,
- 1 USB-C vstup / výstup s maximálním výkonem 60 W,
- 2 USB-A výstupy s maximem 12 W,
- 12 V výstup s maximálním výkonem 100 W.

Uživatelské rozhraní tohoto výrobku je bohatší než u výše zmiňovaných modelů, stále nabízí jen segmentový displej, zobrazovaných parametrů je ale více. Zároveň výrobce nabízí aplikaci s nejen Bluetooth, ale i Wi-Fi připojením.

Cena v době psaní této práce (2024) činila 5 790 Kč. Doporučené panely s výkonem 110 W se prodávají za 6 490 Kč. [9]

5.3.4 EcoFlow RIVER 2 Max

I výrobce EcoFlow nabízí více modelů v této kategorii. Výkonnější alternativa disponuje akumulátorem o kapacitě 512 Wh s technologií LiFePO₄, jmenovitým napětím 25,6 V a kapacitou 20 Ah. Vstup solárního nabíjení byl posílen, nabízí maximální napětí 50 V a 220 W. Oproti levnějšímu modelu nabízí jednu střídavou zásuvku navíc, výkon byl posílen na 500 W trvale a 1 000 W špičkově. USB-C výstup má výkon 100 W a byl přidán třetí USB-A výstup s výkonem 12 W. Posledním vylepšením je přidání dvou 12 V DC zdířek s rozměry 5,5x2,1 mm. Cena v době psaní

této práce (2024) činí 12 490 Kč. Výrobce poskytuje více variant solárního nabíjení. Jednou z nich jsou dva 110 Wp panely v sérii (12 980 Kč). [10]



Obr. 9: EcoFlow RIVER 2 Max [10]

5.3.5 Jackery explorer 250

Tento model nabízí 240 Wh baterii s 14,4V jmenovitého napětí a 16,8 Ah kapacity. Výrobce uvádí NMC (Nikl Mangan Oxid) technologii a garantuje 85% původní kapacity po 500 cyklech. Zařízení umožňuje solární nabíjení s využitím MPPT s maximálním napětím 30 V a 65 W výkonu. Nabízenými výstupy jsou:

- 230 V @ 50 Hz, s maximálním výkonem 200 W,
- 2 USB-A s výkonem 12 W,
- 12 V výstup s maximálním výkonem 120 W.

Uživatelské rozhraní nabízí segmentový displej, aplikace u tohoto modelu chybí. [11] [12]



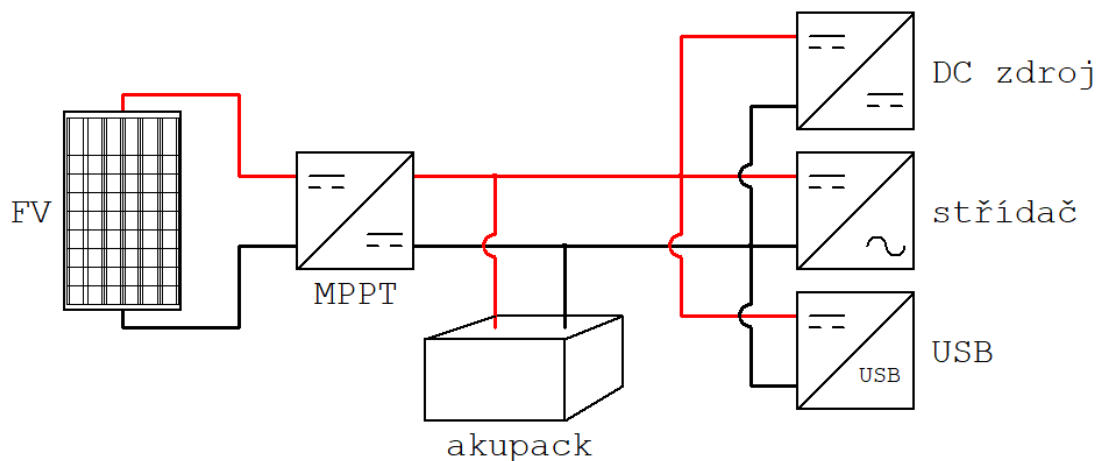
Obr. 10: Jackery Explorer 240 [12]

6 Návrh topologie zařízení

Z porovnání komerčně dostupných zařízení vyplývá, že dané požadavky lze splnit i komerčním zařízením, s jedinou výjimkou, a tou je programovatelný DC zdroj. Touto funkcionalitou nedisponuje ani jedno z porovnávaných zařízení. Dále, dle mého názoru, je s ohledem na životnost zařízení vhodnější, pokud je využíváno častěji než jen 14 dnů v roce.

Řešením tohoto problému je využít akupack, který je dobře dostupný, a je možné jej využívat i k jiným účelům, nejlépe zbytek roku. Výrobků disponujících akupackem s dostatečnou kapacitou je široký výběr, a patří k nim především osobní elektrické dopravní prostředky. Z pohledu městského cestování a možnosti dopravní prostředek využívat častěji, je dle mého názoru elektrická koloběžka lepší volbou než elektrokolo. Z tohoto důvodu se tato práce bude zabývat sestavením zařízení využívající akupack eklektické koloběžky. Tím bude zajištěno, že po zbytek roku nebude akupack nečinně ležet na polici, ale bude jej možné využívat i k jiným účelům.

Jelikož je dnes účinnost velmi důležitým tématem, a u ostrovních systémů, které musí každý kousek energie zužitkovat k vykonání práce, je vhodné minimalizovat počet potřebných přeměn energie. Z tohoto důvodu se veškeré části zařízení budou odvíjet od té stěžejní, od akupacku, který udá napětí, z kterého budou muset všechny výstupní moduly čerpat. Zároveň tím vzniká požadavek na MPPT regulátor, který musí být schopný pracovat s daným napětím akupacku. Z těchto požadavků vzniklo následující obecné schéma spojení jednotlivých funkčních modulů.



Obr. 11: Schéma zapojení funkčních celků (autor)

7 Popis dílčích celků zařízení

7.1 Elektrokoloběžka

Původní záměr byl zakoupit a využít elektrokoloběžku značky Xiaomi, konkrétně model Mi Scooter Pro 2. Důvodem byla kapacita akumulátoru 446 Wh a rozsáhlý trh použitých kusů. Dále byly zjišťovány alternativy, ať už ohledně ceny, kapacity nebo napěťových úrovní. Bohužel se ukázalo, že koloběžek využívajících 48 V architekturu je málo, a jejich cena je vysoká (říjen 2023). V době psaní této práce je již dostupný nový model výrobce Xiaomi, s názvem Xiaomi Electric Scooter 4 Pro 2nd Gen. V tomto modelu je nově využita 48 V architektura, s možností rekuperace. [14] [16]

Z modelů dostupných v říjnu 2023 byl vybrán model Concept SC4500, disponující 36 V architekturou, kapacitou 374,4 Wh, rekuperací, a především uživatelsky vyjímatelným akupackem. Tato vlastnost je zásadní, jelikož umožňuje manipulaci s akupackem bez jakýchkoliv konstrukčních úprav v rámu koloběžky. Také to má pozitivní vliv na bezpečnost a odolnost zařízení. V neposlední řadě to umožňuje „nechat koloběžku doma a jet jen s baterkou“. To by bylo možné i u jiných koloběžek, ale vyžadovalo by to značný zásah do konstrukce.



Obr. 12: Pohled na zakoupenou koloběžku (vlevo), detail úložného prostoru akupacku (vpravo) (autor)

Detailnější pohled na parametry zvolené elektrokoloběžky:

- název: Elektrická Koloběžka Crossader 4.5 SC4500
- kapacita: 10,4 Ah, 374,4 Wh,
- jmenovité napětí: 36 V,
- zapojení 10S4P (10 článků v sérii, 4 série paralelně)
- rekuperace: ANO,
- dojezd: až 45 km,
- maximální rychlost: 25 km/h,
- výkon motoru: 500 W,
- hmotnost 19 kg. [15]

Za velice důležitý parametr lze považovat schopnost elektrické koloběžky rekuperovat energii, což znamená, že při návrhu tohoto akupacku výrobce počítal i s tokem energie přes silové kontakty do akupacku. Pokud by byl zvolen akupack bez rekuperace, je možné, že by řešení nabíjení tohoto akupacku muselo být složitější.

7.2 Fotovoltaický měnič a jeho topologie

Z požadavků na zařízení vyplývá nutnost vysoké účinnosti přeměny solární energie na elektrickou, a jak ukázal průzkum trhu, MPPT regulátory jsou standardní výbavou zařízení tohoto typu. Tyto regulátory jsou běžně dodávány ve snížovací topologii, která je také využita v této práci. Na základě požadavků byl vybrán model ICharger-MPPT-6048 výrobce EASun. Daný model nabízí proud až 60 A z fotovoltaických panelů, s maximálním napětím 190 V_{OC}. Výrobce uvádí až 2 160 W při 36 V systému. Jedná se o velmi výkonný regulátor, který bude zaručovat bezpečný a účinný provoz. [13]



Obr. 13: MPPT regulátor EASun (autor, graficky upraveno)

7.3 Fotovoltaické panely

Limitujícím faktorem výběru panelů je bezpečné malé napětí, tedy 60 V stejnosměrných. Jelikož nejvyšší provozní napětí akupacku je 42 V, je rozdíl napětí relativně malý. Z tohoto důvodu byl proveden další průzkum, z kterého s pomocí vedoucího práce vyplynul model SZ-110-36M, disponující 28,3 V_{OC}. Sériovým spojením dvou těchto panelů je dosaženo V_{OC} 56,6 V. Výhodou tohoto řešení je právě spojení ze dvou částí, jelikož výrobci nabízejí i samostatné panely s V_{OC} blízkým 60 V, jejich rozměry jsou bohužel příliš velké. Možnost dva panely spojit a vytvořit tím něco, s čím by se dalo lépe manipulovat byla využita, výsledek je možné vidět na fotkách níže.

Panel disponuje:

- monokrystalickými články,
- V_{OC}: 28,3 V,
- I_{SC}: 4,9 A,
- V_{MP}: 23,81 V,
- I_{MP}: 4,62 A,
- P_{MP}: 110 W,
- rozměry: 1080 x 510 x 30 mm. [17]



Obr. 14: Fotovoltaické panely připravené pro jednoduchý transport (autor)

7.4 Střídač

Náročným se ukázalo také nalezení střídače se vstupním napětím 36 V. Malý výběr na trhu pramení nejspíše z toho, že se nejedná o příliš časté napětí.

Byl nalezen model s výkonem 500 W, špičkově 1 000 W. Disponuje výstupem s čistým sinusem a udává účinnost více než 87 %. [24]



Obr. 15: Střídač (autor, graficky upraveno)

7.5 USB moduly

USB moduly se běžně prodávají i s výkony 100 W, pro zájemce, kteří si například chtějí postavit vlastní powerbanku. Bohužel jsou tyto moduly uzpůsobeny právě pro stavbu zařízení takovýchto parametrů, a dovolují jen nižší jednotky článků v sérii, a 36 V akupacku je již příliš vysoké napětí. Hledání tedy pokračovalo, až byl nalezen tento modul. Umožňuje vstupní napětí až 96 V, pro využití nejvyšší hladiny napětí USB-PD, která je 20 V, vyžaduje napětí vyšší než 20 V. Modul nabízí 1 port USB-A a jeden USB-C, s maximálním výkonem 65 W. Z požadavků na zařízení vyplývá, že jeden pár výstupů není dostatečný. Z tohoto důvodu byly moduly využity dva, ve výsledku poskytující až 130 W. [25]



Obr. 16: USB modul (autor, graficky upraveno)

7.6 XY6020L

Pro funkčnost programovatelného stejnosměrného výstupu byl zvolen modul XY6020L. Jedná se o programovatelný snižovací měnič s následujícími parametry:

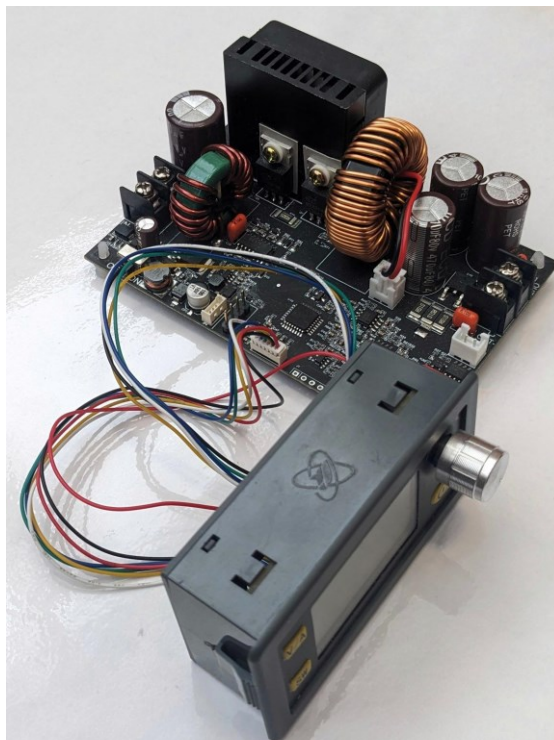
- vstupní napětí až 70 V,
- výstupní napětí až 60 V,
- výstupní proud až 20 A,
- komunikační rozhraní Modbus.

Právě pomocí rozhraní Modbus je možno tento zdroj programovat. Přes toto rozhraní je možné nastavení a čtení široké škály parametrů, mezi které patří především:

- nastavení výstupního napětí a proudu,
- čtení výstupních hodnot včetně aktuálního výkonu,
- stav konstantní proud / konstantní napětí,
- zapnout / vypnout výstup,
- číst dodanou energii,
- nastavit ochrany jako přepětová, podpětová, nadproudová, maximální výkon, maximální teplota a další.

Komunikace s tímto zdrojem vyžaduje převodník logických úrovní, jelikož komunikace probíhá na úrovni 5 V, a zvolený mikrokontrolér pracuje na úrovni 3,3 V. [19]

Celé komunikační rozhraní je popsáno v této neoficiální dokumentaci: [18].



Obr. 17: Programovatelný snižovací spínaný zdroj XY6020L (autor, graficky upraveno)

7.7 Mikrokontrolér

S ohledem na požadavky konstruovaného zařízení byl zvolen mikrokontrolér ESP32-S3 N16R8.

ESP32 je rodina 32bitových mikrokontrolérů společnosti Espressif. Konkrétně model ESP32-S3 se řadí do skupiny výkonnějších variant této rodiny, především díky skutečnosti, že nabízí dvoujádrový procesor. Mikrokontrolér nabízí až 45 GPIO (univerzální vstupní/výstupní pin), bohužel zvolený modul ESP32-S3 N16R8 má na desce přídavné paměti (16 MB externí flash paměť a 8 MB PSRAM), které jsou připojeny k několika těmto GPIO pinům. Výsledkem je to, že modulu zůstalo 22 GPIO k volnému použití. Mikrokontrolér je vybaven zabudovaným Wi-Fi a Bluetooth komunikačním rozhraním. [30]

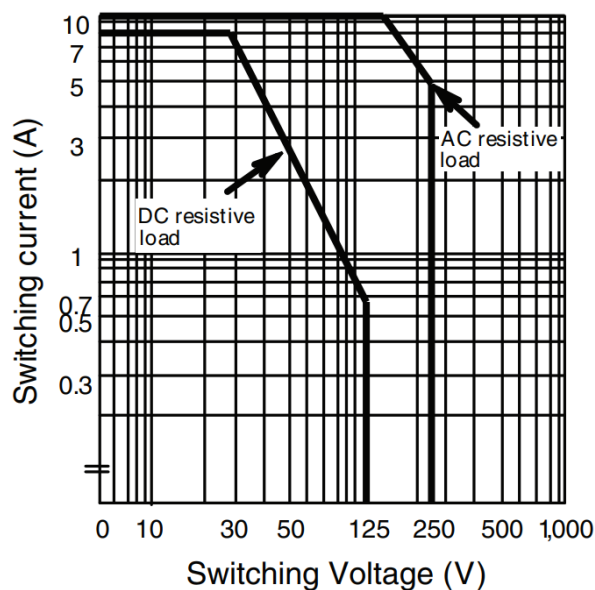
7.8 Expandér vstupů a výstupů

Z důvodu nedostatku IO pinů mikrokontroléru bylo nutné navýšit jejich počet. Byl vybrán expandér MCP23017 od výrobce Microchip. Jedná se o 16bitový expandér komunikující po lince I²C. Jeho 16 pinů je strukturováno do dvou 8bitových portů, a každý tento port umožňuje informování mikrokontroléru o změně stavu na daném pinu pomocí dvou nezávislých signálů přerušení. Zároveň umožňuje nastavení přerušení pro jednotlivé piny. [28]

7.9 Relé

Pro spínání výstupů bylo zvoleno elektromagnetické relé. Bohužel v průběhu hledání vhodného typu se ukázalo, že nabídka relé s garantovanou schopností rozpínání vyšších stejnosměrných proudů a napětí je velmi omezená. Existuje řada modelů pro využití v automobilovém průmyslu, u kterých výrobci garantují proudy i 40 A, bohužel tato hodnota platí při napětí 12 V. Dle charakteristik uvedených v datasheetech výrobců se proud se stoupajícím napětím snižuje, a při hodnotách 42 V, což je napětí plně nabitého akupacku koloběžky jsou přerušitelné proudy nedostatečné (viz charakteristika níže). Z tohoto důvodu bylo využito dvou typů relé, kde jeden

model je dražší, nabízí však vyhovující parametry, a druhý typ levnější, který v zařízení bude sloužit pouze k fyzickému rozpojení obvodu a pro odpínání zátěže s nízkým proudem.



Obr. 18: Charakteristika relé s nevyhovujícími parametry [20]

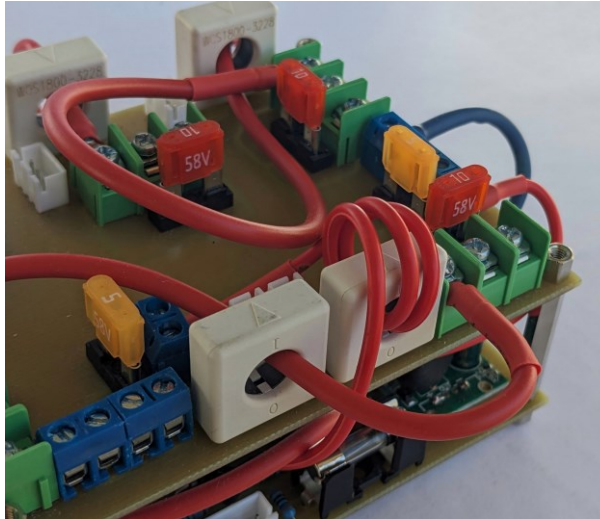
Vybranými relé jsou RELPOL R40N-3021-85-1012 sloužící jako relé pro velké proudy, a relé výrobce GOODSKY s označením RWH-SH-112D, které bude sloužit pro menší zátěže a fyzické rozpojení.

7.10 Jištění

Z důvodu ochrany uživatelů a zařízení samotného byly do zařízení také zakomponovány pojistky. Z důvodu výhodných rozměrů a vysokých maximálních proudů, které poskytují držáky pojistek, byl zvolen druh tavných pojistek známý spíše z automobilů než z elektroniky. Autopojistky se standardně prodávají s maximálním napětím 32 V, podařilo se však najít i řadu pojistek výrobce ESKA, které nabízejí maximální napětí až 58 V. Konkrétní model je 341124-58V pro 5 A tavnou pojistku, a 341127-58V pro variantu 10 A.

7.11 WCS1800

Pro měření proudů byla zvolena neinvazivní Hallova sonda umožňující měřit až 35 A při napájení napětím 5 V. Sonda má na svém analogovém výstupu signál, který při nulovém proudu dosahuje poloviny napájecího napětí. Od této hodnoty se při kladném proudu zvyšuje a záporném snižuje. Konstrukce této sondy umožňuje jednoduché zvýšení citlivosti vytvořením smyčky procházejícího vodiče tak, aby protékající proud prošel dvakrát (či vícekrát) přes sondu (proud musí procházet vždy jedním směrem). [27]



Obr. 19: Pohled na využití vícenásobného průchodu vodiče sondou WCS1800 na sestrojeném zařízení (autor, graficky upraveno)

7.12 ADC s obvodem ADS1115

Tento čtyřkanálový analogově-digitální převodník (ADC) s postupnou aproximací nabízí rozlišení 16bitů, programovatelný předzesilovač (PGA), vzorkovací frekvenci až 860 Hz, diferenciální měření a komunikační rozhraní po sběrnici I²C. Jako každé zařízení na této sběrnici musí mít svou adresu, a jelikož je v této práci využito tří těchto převodníků, bylo nutné jim adresy přidělit. V tomto ohledu považuji za zajímavý způsob provedení výběru adresy, který probíhá přes ADDR pin, který je možné připojit ke GND (zem), VCC (napájení), SDA (datová linka I²C) nebo SCL (hodinový signál I²C) a tímto způsobem volit až 4 adresy. To je rozdílný přístup oproti expandéru výstupů MCP23017, který má 3 piny pro určení adresy, která se poté určuje připojením jednotlivých adresních pinů k napájecímu napětí nebo k zemi. [29]

7.13 LCD s obvodem ST7796S

Jako primární způsob komunikace s uživatelem byl zvolen barevný dotykový displej. Jedná se o model s ovládacím čipem ST7796S, komunikující po sběrnici SPI. Displej zároveň nabízí odporovou dotykovou vrstvu, o její obsluhu se stará čip XPT2046. Displej má rozlišení 480x320 pixelů, podporuje barvy ve formátu RGB 565, neboli 5 bitů pro červenou a modrou, a zelená má 6bitovou barevnou hloubku. Zároveň je na modulu dostupný slot pro SD kartu a piny pro její připojení.

7.14 RTC s obvodem DS3231

RTC neboli hodiny reálného času (Real-Time Clock) slouží pro uchování času i při ztrátě napájení celého zařízení. Tato funkcionality je užitečná pro dlouhodobé uchovávání hodnot.

7.15 LED pásek s GS8208

GS8208 je čip integrující RGB LED umožňující jejich řízení pouze jedním datovým vodičem. Tato skutečnost se stala velmi užitečnou pro úsporu výstupů při zachování stejné funkčnosti, jelikož to stejné by vyžadovalo 3 piny pro každou diodu, nebo jiný hardwarový nástroj.

7.16 Záložní zdroj energie

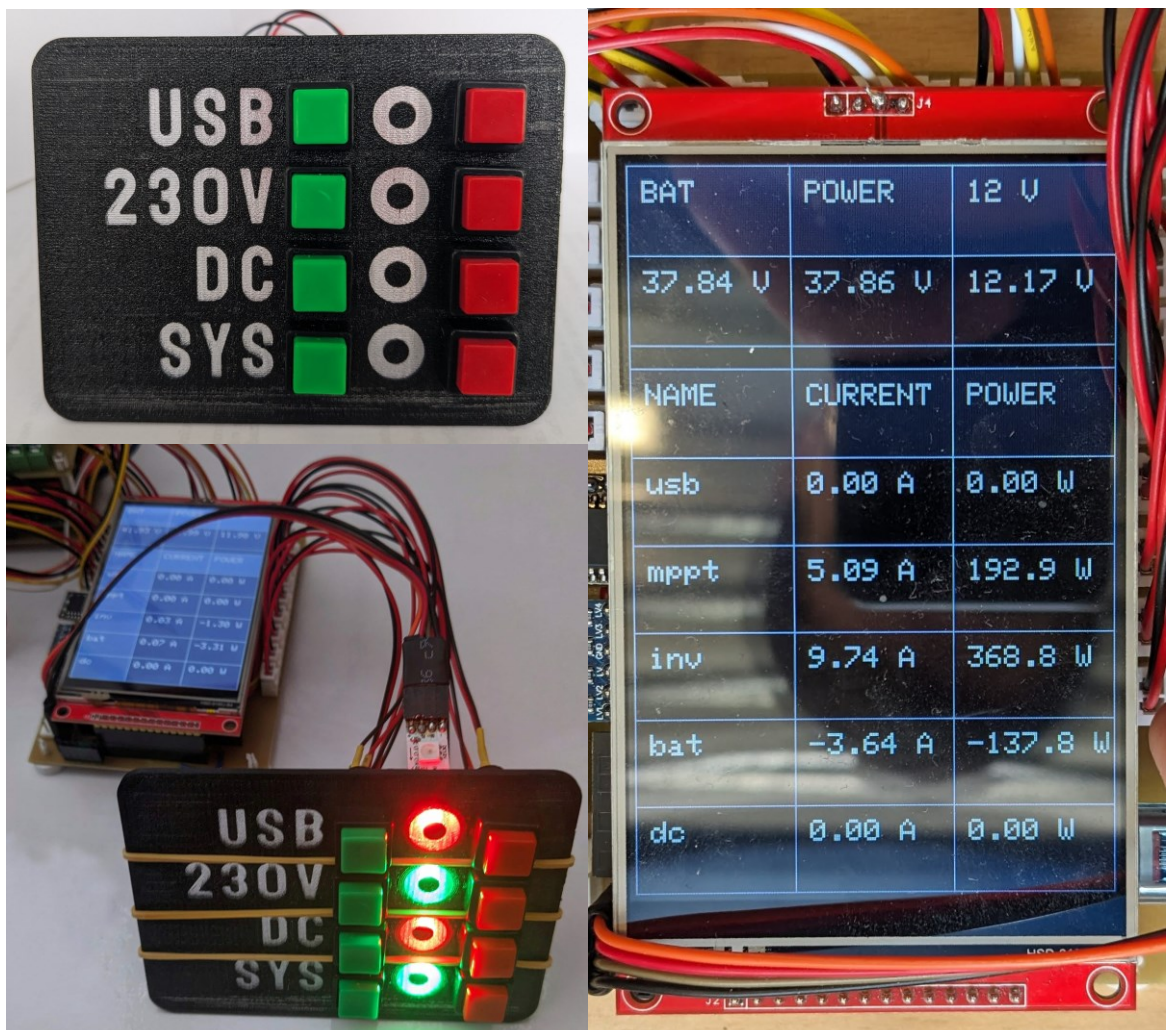
Baterie elektrokoloběžky slouží jakožto hlavní zásobárna energie, ale pro situace, kdy se baterie odpojí, nebo je zcela vybitá, byla přidána záložní baterie v podobě 3 sériově spojených článků 18650. Tato koncepce umožnila baterii v případě potřeby zcela odpojit, a systém stále funguje ze záložní baterie, která umožňuje ovládání relé.

8 Uživatelské rozhraní

Sestavené zařízení nabízí několik možných způsobů ovládání. Primární indikaci stavu zařízení zajišťuje barevný displej, na kterém se zobrazuje tabulka s nejdůležitějšími parametry systému. V horní části displeje se zobrazují tři napětí, napětí baterie, napětí silového obvodu a 12 V záložního a řídicího systému. Pod touto tabulkou se nachází druhá tabulka, ve které se zobrazují proudy a výkony jednotlivých výstupních zařízení.

Pro spínání výstupů slouží tlačítkový panel. Na levé straně jsou zelená tlačítka sloužící pro sepnutí výstupu, na pravé straně umístěná červená tlačítka slouží k vypnutí výstupu. Mezi tlačítky je umístěna sada RGB diod, která indikuje aktuální stav výstupu. Pro tuto indikaci využívá tři barevných kódů:

- červené světlo značí vypnutý stav výstupu,
- zelené světlo sepnutý stav výstupu,
- blikající červené světlo značí chybový stav výstupu.



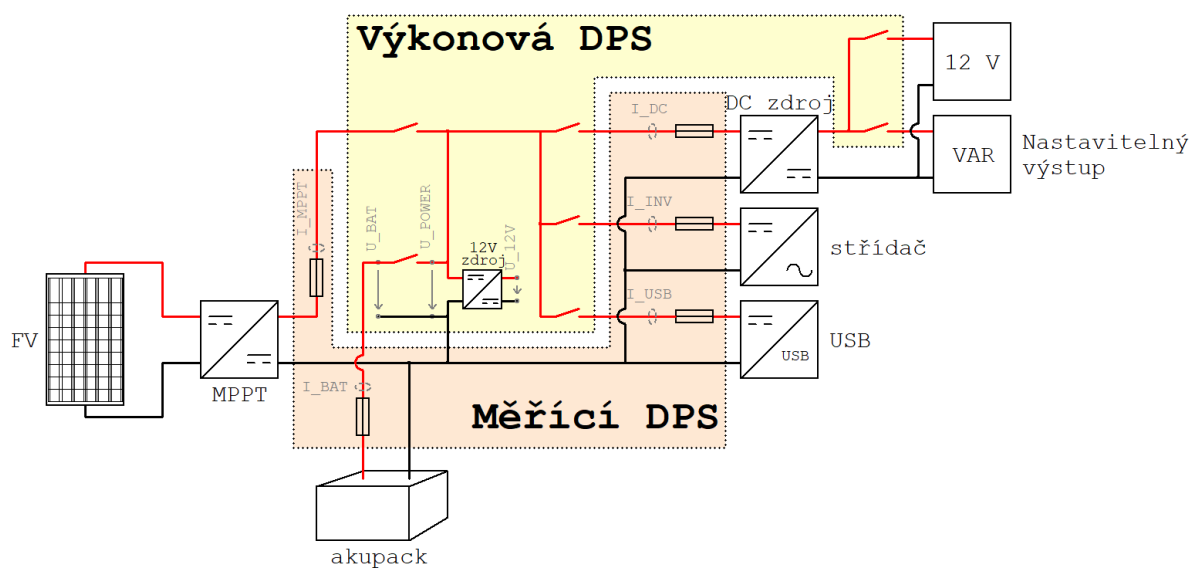
Obr. 20: Uživatelské rozhraní (autor, graficky upraveno)

9 Návrh desek plošných spojů

Návrh schémat zapojení a desek plošných spojů probíhal v programu KiCad 8.0. Jedná se o open-source alternativu nástrojů jako je Fusion 360 (bývalý Eagle), Altium a podobně. Do programu bylo nutné vytvořit řadu symbolů, jelikož je tento program spíše přizpůsoben pro tvorbu z diskrétních součástek a nikoliv modulů. Program také není uzpůsoben pro návrh zařízení s více deskami. Pro částečné usnadnění návrhu zařízení s více DPS lze využít sadu nástrojů zvanou KiKit.

9.1 Schéma zapojení

Z důvodu jednoduššího prototypování a celkových rozměrů bylo zařízení rozděleno do tří desek plošných spojů. Jejich popis se nachází v následujících kapitolách.



Obr. 21: Zjednodušené schéma zapojení silového obvodu (autor)

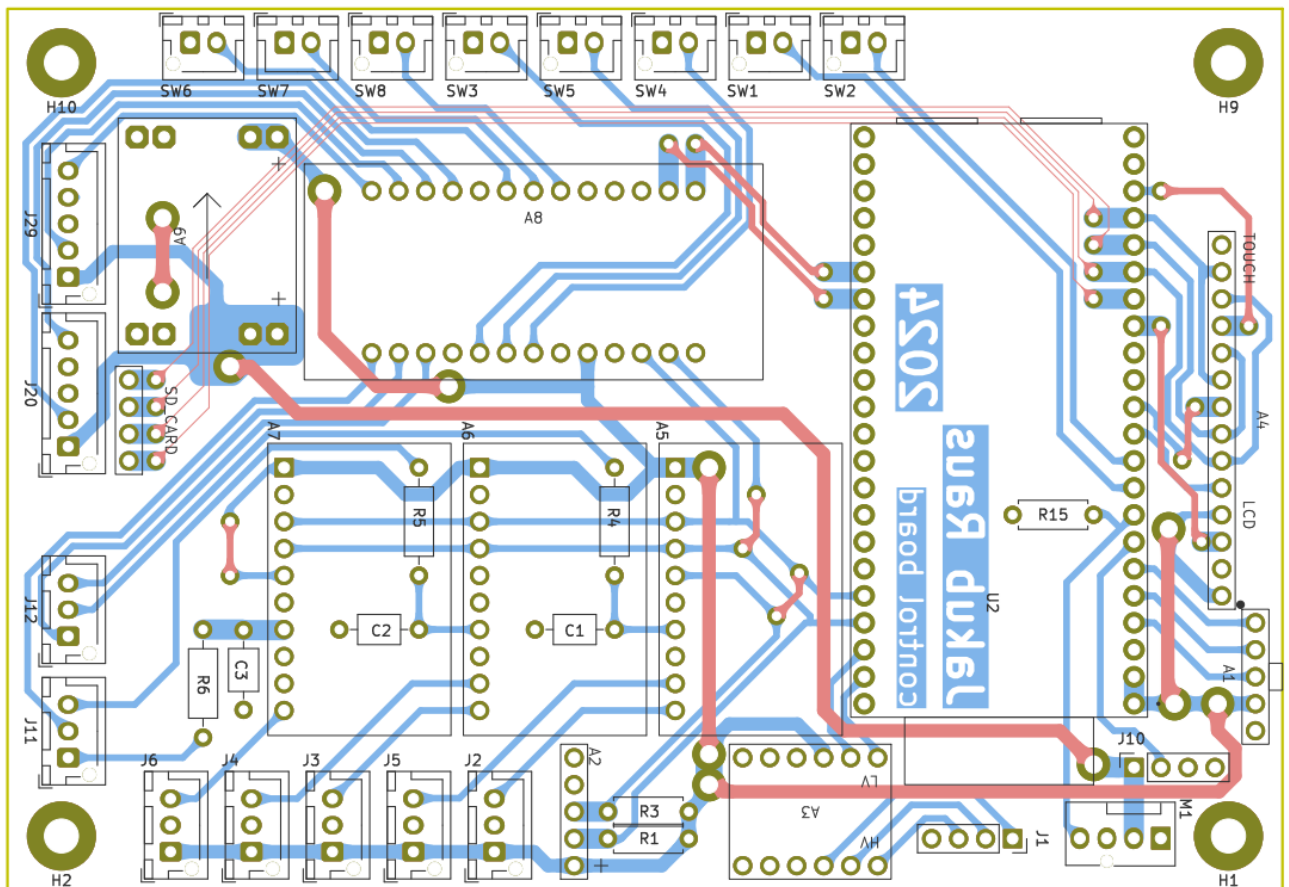
Ze schématu výše je vyjmuta řídicí deska a její komponenty, jelikož by to v opačném případě vedlo k nižší přehlednosti. Konkrétní schéma zapojení z programu KiCad je dostupné v příloze. Řídicí DPS má propojení s měřicí DPS v podobě napájecích a signálních vodičů pro proudové sondy, na schématu výše jsou znázorněny jako šedé elipsy přes vodiče. Propojení řídicí a silové DPS slouží pro získání napěťových signálů, řízení relé a přívod napájecího napětí 12 V, jelikož příslušný měnič je umístěn na výkonové DPS.

Napájecími hladinami zařízení je napětí baterie, závislé na využitém akupacku. To je využito pro všechny silové moduly. Z tohoto napětí je dále získáno snižovacím měničem napětí 12 V, které je využíváno pro cívky relé, chladicí ventilátor, LED pásek a nabíjení záložní baterie, která má také napětí 12 V. Z tohoto napětí je dalším snižovacím měničem vytvořeno napětí 3,3 V pro řídicí elektroniku. Tento měnič se nachází na řídicí DPS.

9.2 Řídící DPS

Tato deska zahrnuje veškerou řídicí elektroniku, tzn:

- mikrokontrolér ESP32-S3 (U2),
- expandér výstupů MCP23017 (A8),
- tři AD převodníky ADS1115 (A5 – A7),
- RTC modul DS3231 (A2),
- napájecí zdroj 3,3 V (A9),
- převodník logických úrovní pro komunikaci s XY6020L (A3),
- header pro připojení komunikačních vodičů s XY6020L (J1),
- header pro připojení LCD a SD karty (A4),
- header pro připojení LED pásku (J10),
- header pro připojení rotačního enkodéru (A1),
- konektor pro připojení 12 V ventilátoru s PWM regulací (M1),
- 5 JST-XH konektorů pro proudové sondy (J2 – J6),
- 4 JST-XH konektory pro připojení k výkonové desce (J11, J12, J20, J29),
- 8 JST-XH konektorů pro připojení tlačítek (SW1 – SW8).

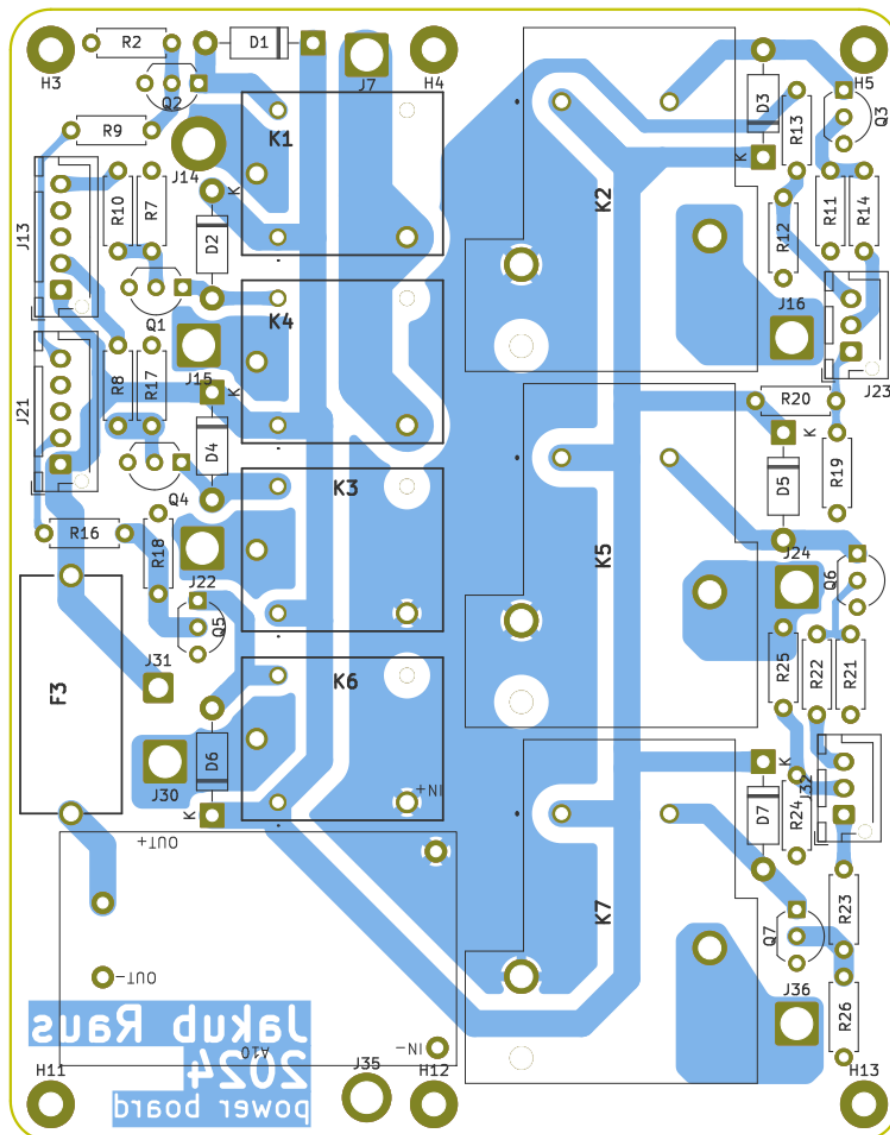


Obr. 22: Navrhnutá řídicí DPS bez rozlitého zemního polygonu (autor)

9.3 Výkonová DPS

Deska zahrnuje spínání silových výstupů. Nachází se na ni:

- 3 relé pro vysoké proudy (K2, K5, K7),
- 4 relé pro nižší proudy (K1, K3, K4, K6),
- spínací tranzistor těchto relé BC337 (Q1 – Q7),
- odporové děliče pro měření napětí (R12 + R13, R19 + R20, R24 + R25),
- konektory JST-XH pro propojení s řídicí deskou (J13, J21, J23, J32),
- 12 V zdroj (A10),
- pojistka 12 V zdroje (F3).

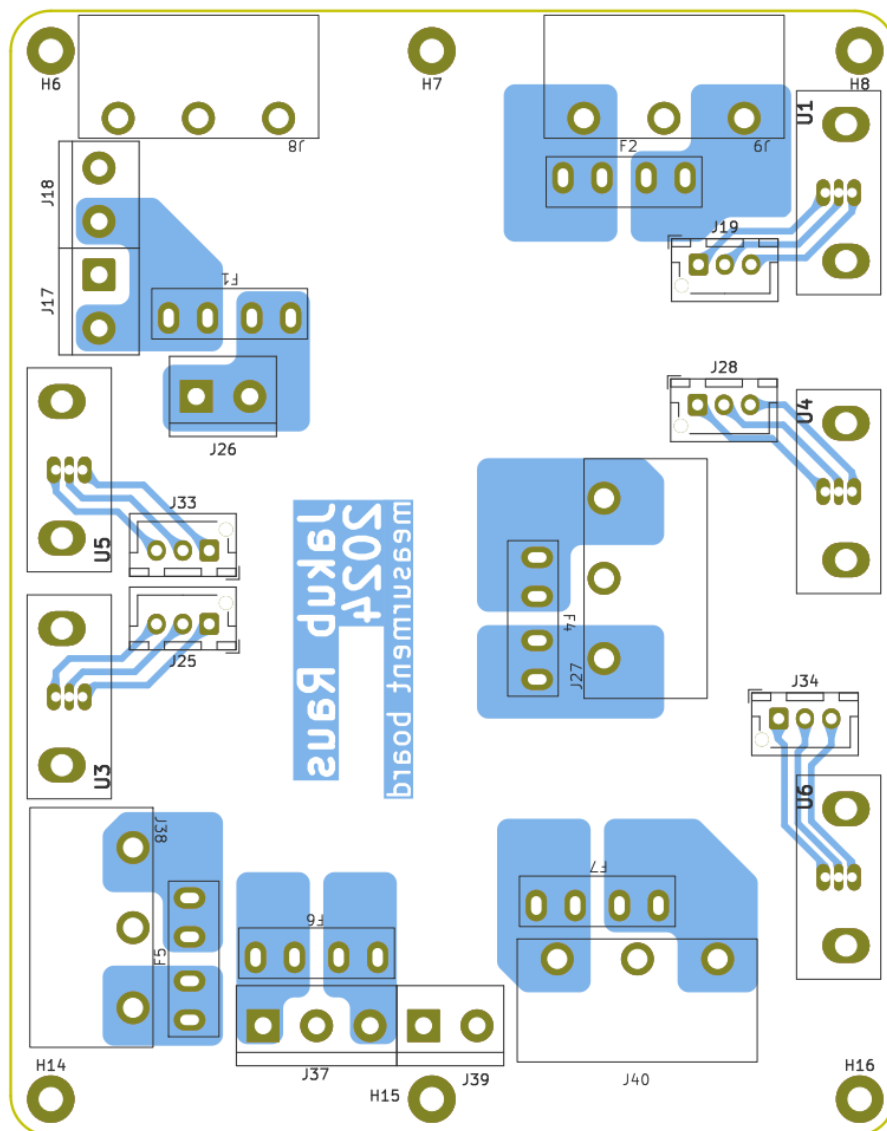


Obr. 23: Navrhnutá výkonová DPS bez rozlitého zemního polygonu (autor)

9.4 Měřící DPS

Deska slouží pro měření proudů výstupů, jištění a vyrovnávání zpětných zemních proudů, jelikož ty nejsou vedené přes výkonovou desku. Na DPS se nachází:

- jištění silových výstupů (F1 – F5),
- svorkovnice pro připojení modulů,
- 5 proudových sond WCS1800 (U1, U3 – U5),
- 5 JST-XH konektorů pro proudové sondy (J19, J25, J28, J33, J34).



Obr. 24: Navrhnutá měřící DPS bez rozlitého zemního polygonu (autor)

10 Program

Pro vytvoření software tohoto zařízení bylo využito integrované vývojové prostředí (IDE) PlatformIO, které pracuje na základě VS Code od společnosti Microsoft. Dále jsem pro ladění a testování využíval Jupyter notebooks a Python. Samotný firmware je napsaný pomocí C++ na základě Arduino frameworku, využívá objektově orientované programování a FreeRTOS.

10.1 Komunikační rozhraní s PC

Systém zahrnuje několik proměnných, které se využívají jako koeficienty při výpočtech. Běžnou praxí je tyto koeficienty do programu zadávat jako preprocesorová makra, například: `#define HODNOTA 5`. Z důvodu snadnějšího ladění zařízení byl zvolen přístup ukládání těchto dat pomocí NVS – Non-Volatile Storage. Jedná se o sadu funkcí ESP32, které umožňují využívat paměť nezávislou na napájení. Díky tomu je možné různé hodnoty zachovat i při odpojení od napájení, restartu apod. Pro využití této funkcionality Arduino pro ESP32 nabízí třídu `Preferences`, která zjednodušuje přístup k této paměti.

Bylo navrženo komunikační rozhraní mezi systémem a počítačem, které umožňuje pomocí jednoduchých textových zpráv měnit tyto koeficienty. Zároveň byla k tomuto rozhraní přidána i sada funkcí pro přímé ovlivňování a monitorování systému:

- sepnutí / rozepnutí výstupu,
- zjištění stavu výstupu,
- změření napětí,
- změření proudu.

I přes to, že jsou tyto hodnoty viditelné na displeji, může být tento způsob ovládání užitečný, a byl využit v praxi při testování zařízení.

Popis komunikačního rozhraní je přiložen jako příloha B, Python třída pro zjednodušení komunikace a ukázka využití pomocí Jupyter notebook jsou v příloze A, ve složce `py_src`.

10.2 FreeRTOS

10.2.1 Co je to RTOS

FreeRTOS je jedním ze zástupců RTOS systémů. Zkratka má význam Real-Time Operating System neboli operační systém reálného času. V mikroprocesorové řídicí technice se běžně setkáváme se systémy bez operačních systémů, jelikož to dané aplikace nevyžadují nebo ani nepovolují. RTOS umožňuje vytvářet a spouštět úlohy, které jsou na sobě nezávislé. Dalo by se říci, že se jedná o několik nezávislých programů v jednom mikrokontroléru (s tím že RTOS poskytuje nástroje pro komunikaci mezi úlohami, jako jsou fronty nebo event flags). Tato skutečnost je užitečná u systémů, u kterých se zpracovává větší množství informací, provádí se časově náročnější operace,

nebo je u některých funkcí zbytečné je spouštět příliš často. Všechny tyto operace se dají řešit i konvenčním způsobem, ale RTOS tyto funkce zjednodušuje. [31].

Výsledný RTOS program neobsahuje jednu hlavní smyčku, jak je běžné u systémů bez operačního systému, ale každá úloha má smyčku vlastní, s vlastním časováním spuštění a prioritou. Ve výsledku to znamená, že RTOS řídí, kdy se která úloha spustí. V pravidelných intervalech (výchozí nastavení FreeRTOS 1 ms) dojde ke kontrole, jestli se má spustit jiná úloha s vyšší prioritou. Tím je zajištěno to, že úloha nemusí čekat na dokončení nějaké dlouhé operace, ale může svou důležitější úlohu splnit dřív.

Uvedme příklad. Právě probíhá obnova displeje. Uběhne nějaký čas, dojde ke spuštění plánovače úloh RTOS, který zjistí, že právě vypršela prodleva nastavená pro úlohu, která obsluhuje ADC. Úloha obnovy displeje má nižší prioritu, proto se dočasně přeruší a spustí se úloha ADC. Po dokončení úlohy ADC se může opět pokračovat v obnově displeje. Daná úloha neví o tom, že byla přerušena a dále pokračuje ve své činnosti. To přináší několik nutných uvážení při vytváření programu, jelikož musí být brán zřetel na to, aby zároveň nedošlo k přístupu ke stejným periferiím ve stejném časovém okamžiku.

Mikrokontroléry řady ESP32 využívají FreeRTOS, což je open-source implementace RTOS. Jelikož jsou navrženy především pro využití v systémech internetu věcí (IoT) jsou tyto mikrokontroléry vybaveny Wi-Fi a Bluetooth. Z důvodu, že je obsluha těchto komunikačních nástrojů výpočetně náročná a zdlouhavá, bylo do mikrokontroléru přidáno druhé jádro, které se ve výchozím Arduino projektu využívá pouze pro tuto komunikaci. I přes to jsou přístupné funkce FreeRTOS, a je tak programátorovi umožněno s tímto operačním systémem pracovat. Toho bylo s výhodou využito v této práci, jelikož Wi-Fi nebo Bluetooth komunikace nemusí být častá, je toto druhé jádro využíváno pro jiné činnosti. Konkrétní rozdělení programu na jednotlivé úlohy je popsáno v dalších kapitolách.

10.2.2 Úloha ovládání periférií

Hlavní úloha, jejím oborem činností je:

- reagování na stisk tlačítek,
- spínání výstupů, pokud k tomu byl vydán povel tlačítkem,
- připínání baterie k silovému obvodu,
- spínání ventilátoru.

Jelikož se jedná o nejdůležitější úlohu z pohledu funkčnosti zařízení, byla jí přidělena nejvyšší priorita.

10.2.3 Úloha obsluhy uživatelského rozhraní

Jak bylo popsáno v kapitole 8, Uživatelské rozhraní, nabízí zařízení mnoho způsobů ovládání. V aktuální verzi zařízení nabízí LCD a sadu diod pro indikaci stavu. Momentálně se na displeji jen

zobrazují veličiny zařízení, ale v následujících verzích bude využit pro zadávání parametrů programovatelného zdroje XY6020L. K této činnosti bude sloužit také rotační enkodér.

Mírnou nevýhodou je nutnost diody obnovovat zhruba každých 500 ms, v opačném případě začnou diody zobrazovat nesprávné barvy.

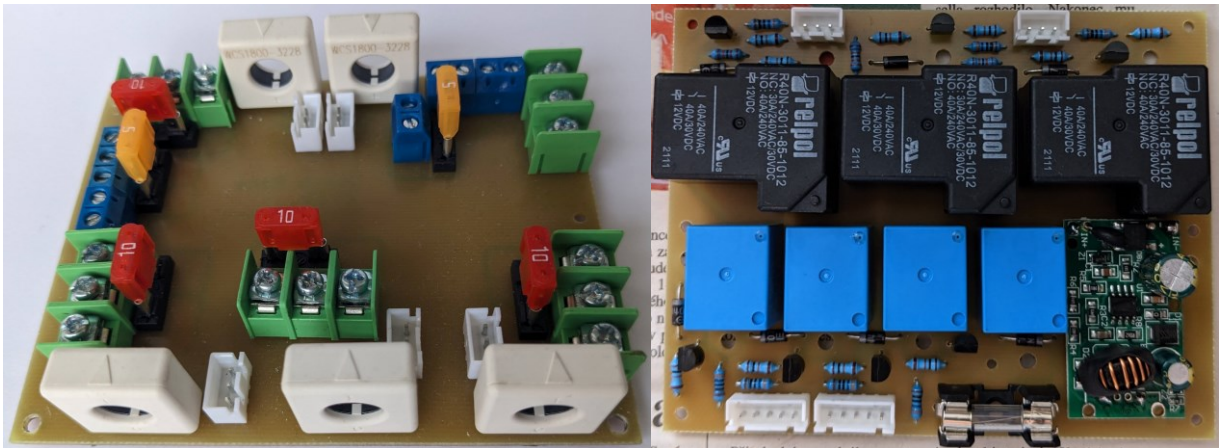
Obsluha těchto funkcí byla vyčleněna do samostatné úlohy s nejnižší prioritou, jelikož se nejedná o časově kritické činnosti.

10.2.4 Úloha komunikačního rozhraní s PC

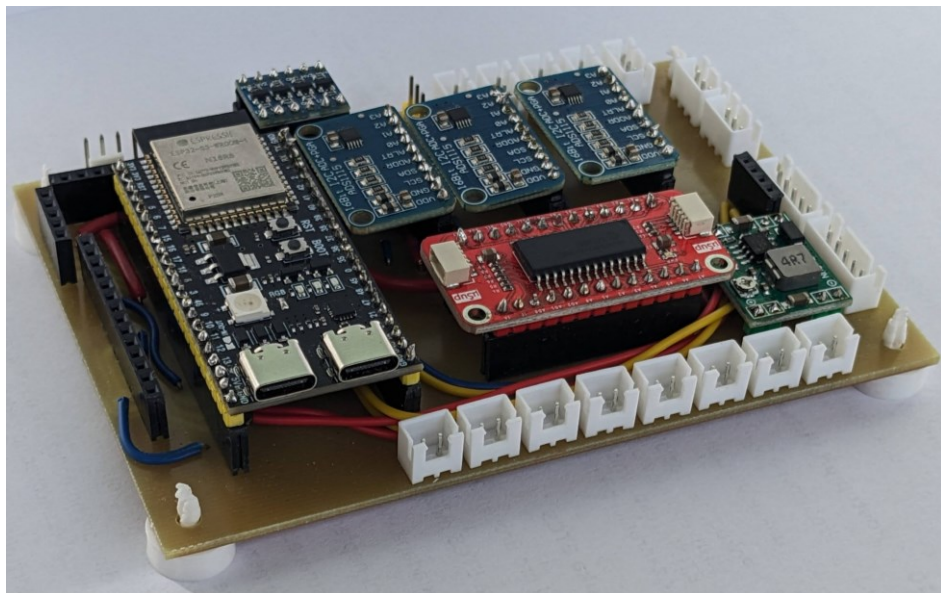
O obsluhu komunikačního rozhraní, jak bylo popsáno v kapitole 10.1 - Komunikační rozhraní s PC, se stará samostatná úloha. Tato úloha čeká na přijetí dat po sériové lince, po přijetí celé zprávy ji zpracuje a náležitě zareaguje. Úloha má nízkou prioritu.

11 Fyzická realizace zařízení

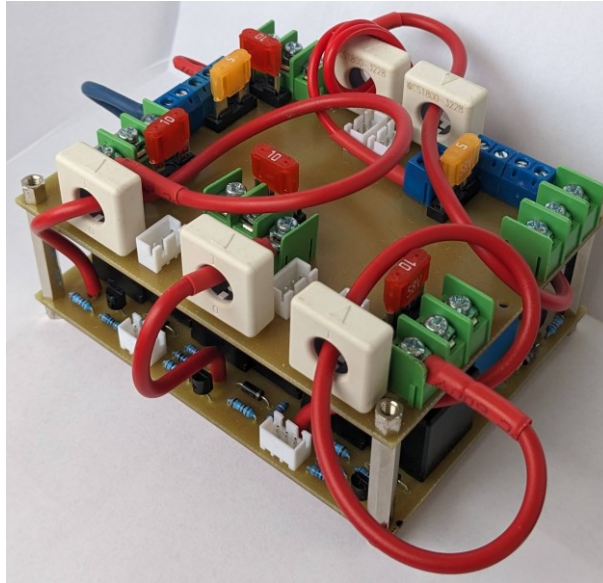
Sestavené zařízení se skládá z jednotlivých výkonových měničů (MPPT, střídač, USB, DC zdroj), akupacku, záložní baterie a DPS. Do měřicí desky se tyto moduly připojují pomocí svorkovnic. Výkonová a měřicí DPS jsou spolu pevně spojeny pomocí distančních sloupeků a vodičů vycházejících z výkonové DPS, viz Obr. 27. Tyto vodiče prochází proudovými sondami. Se sestavou těchto dvou desek je propojena deska řídicí, a to pomocí konektorů JST-XH. K řídicí desce je dále připojen ovládací tlačítkový panel.



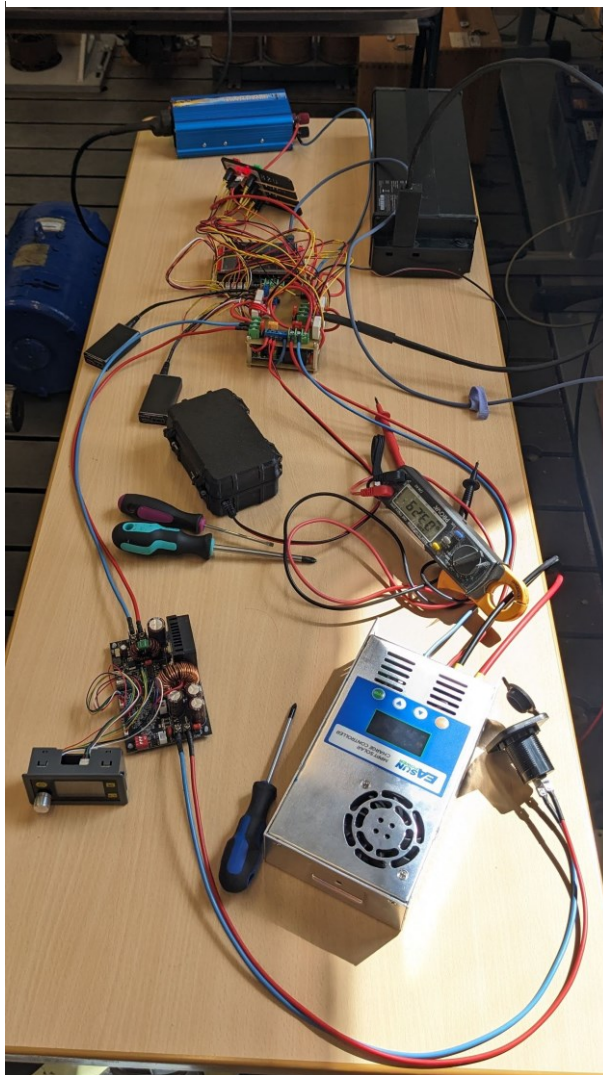
Obr. 25: Osazená měřicí DPS (vlevo) a osazená výkonová DPS (vpravo) (autor)



Obr. 26: Osazená řídicí DPS (autor)



Obr. 27: Spojení výkonové a měřící DPS do jednoho celku (autor)

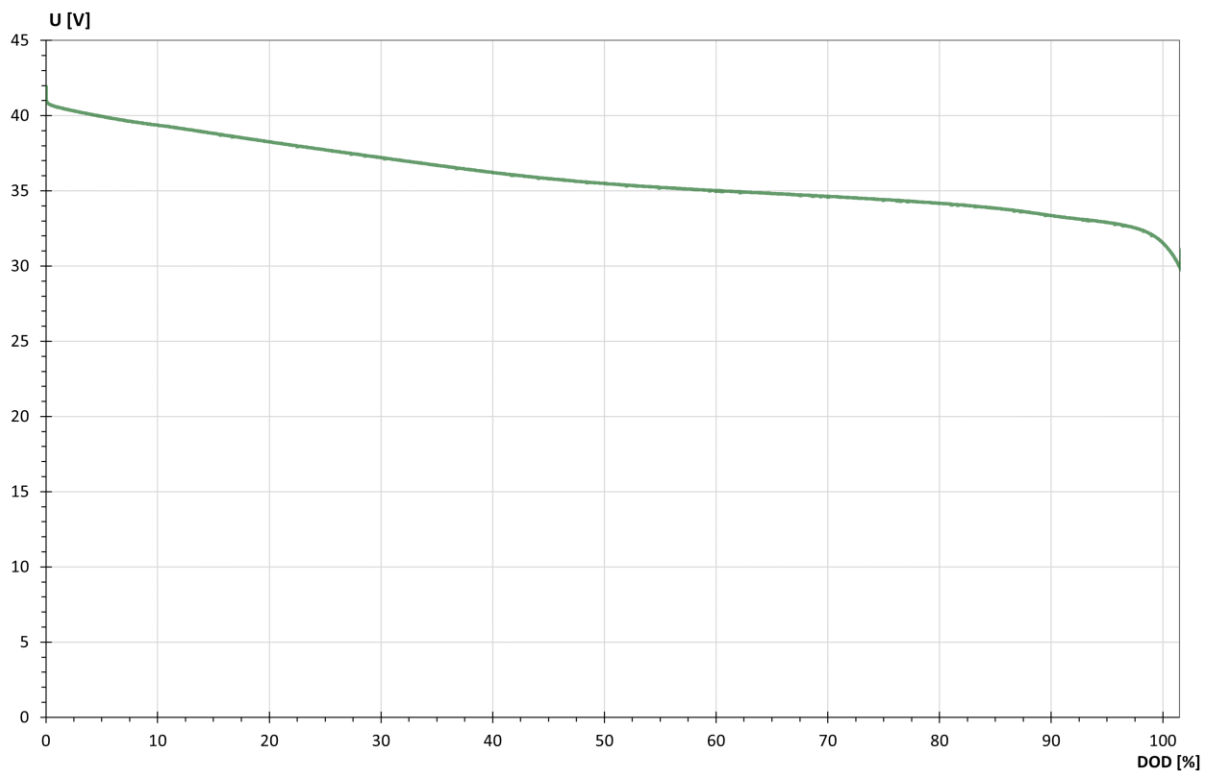


Obr. 28: Pohled na sestavené zařízení spolu s výkonovými výstupy při praktickém ověření funkčnosti (autor)

12 Praktické měření

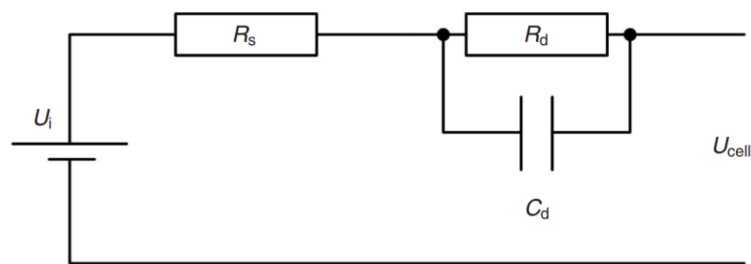
12.1 Vybíjecí charakteristika aku-packu

Měření této charakteristiky proběhlo pomocí elektronické zátěže nastavené v režimu konstantního proudu, konkrétně na hodnotu 4 A. Měření trvalo 2 hodiny a 40 minut, vybíjení probíhalo, dokud nebyla dosažena hodnota kapacity deklarovaná výrobcem. Na výsledném grafu, který je zobrazen níže, je možné vidět, že vybíjení probíhalo déle než do 100 % DOD. Tato neshoda je nejspíše způsobena chybným zobrazením spotřebovaného náboje elektronickou zátěží. K měření bylo využito sestavené zařízení, napětí bylo snímáno každou sekundu.

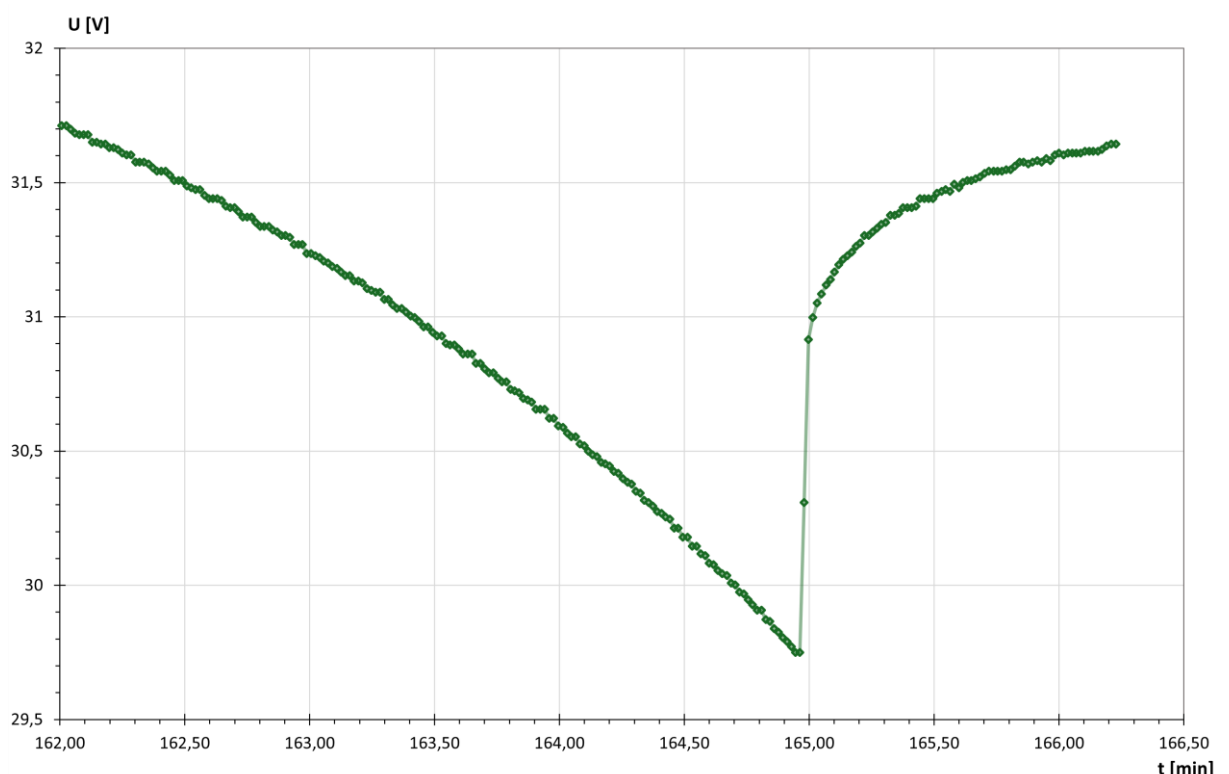


Obr. 29: Vybíjecí charakteristika akupacku

Po dosažení hodnoty kapacity došlo k nastavení odebíraného proudu na nulovou hodnotu. Po vypnutí zátěže byl zachycen průběh (vlevo), zobrazující dynamické chování akupacku. Toto chování poukazuje na složitější chování článku, a je důvodem, proč se využívají složitější obvodové modely článků. Základním takovým modelem je R_i model, zohledňující pouze vnitřní odpor článku. Výsledný obvodový model článku je jen napěťový zdroj a sériový odpor. Tento model ovšem nezohledňuje dynamické chování, jako to, které bylo naměřeno. Z tohoto důvodu se nejčastěji využívá Theveninův model článku, který aproximuje dynamické chování článku pomocí dalšího sériového odporu a na něm připojeným kondenzátorem (viz schéma níže). Pro přesnější modelování dynamických jevů se dále používají modely odvozené od Theveninova (Theveninův DP model), nebo RC model článku.



Obr. 30: Theveninův model článku [26]



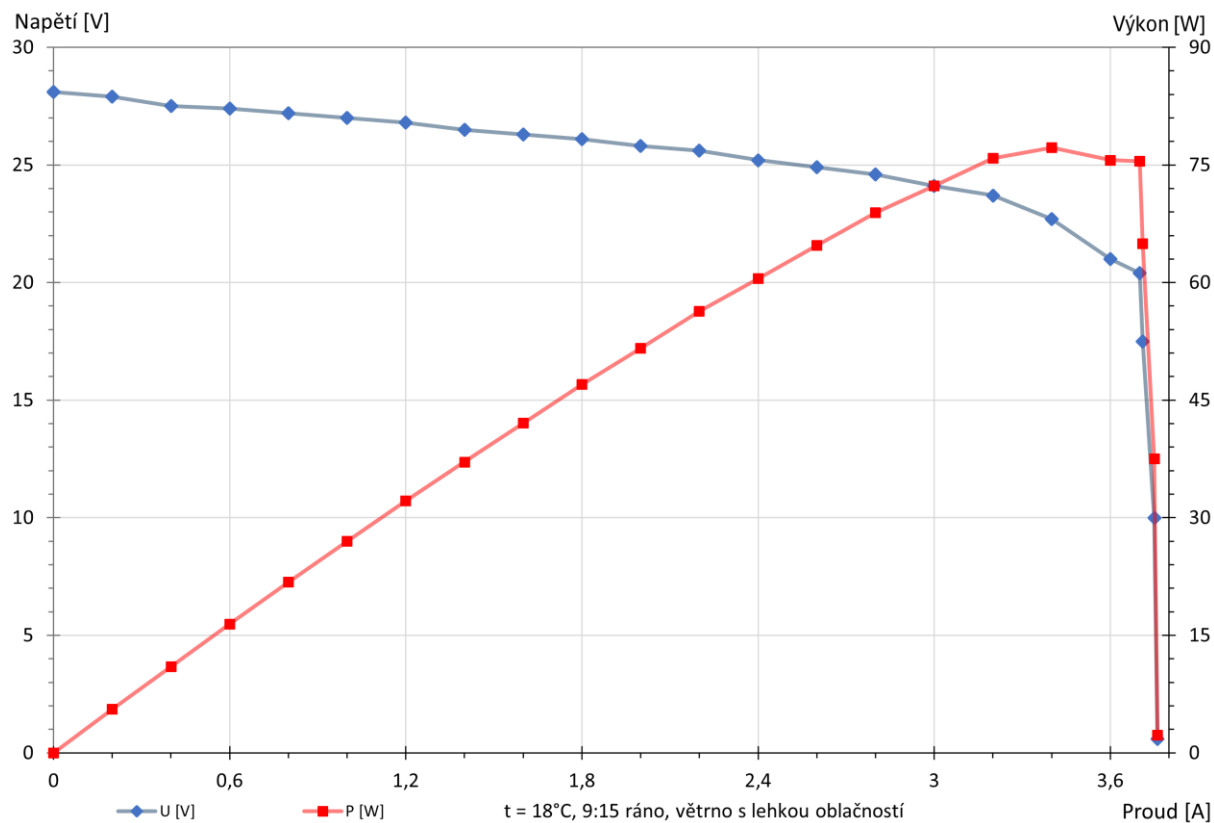
Obr. 31: Dynamické chování akupacku po ukončení vybíjení

Časová konstanta RC článku v Theveninově modelu, který by měl sloužit k aproximaci měřeného akupacku, bude zřejmě vysoká, jelikož na zobrazeném grafu je možné vidět, že i po uplynutí jedné minuty zcela nedozněl tento dynamický jev.

12.2 VA charakteristika fotovoltaického panelu

Pro zatěžování panelu byla využita elektronická zátěž s nastavitelným proudem. Parametry zátěže: napětí až 200 V, proud až 20 A a výkon až 150 W.

Měření proběhlo 2.5.2024 v 9:15 ráno. Počasí bylo slunečné, s lehkou oblačností. teplota vzduchu byla 18°C. Naměřené hodnoty jsou vykresleny v grafu níže:



Obr. 32: Voltampérová charakteristika fotovoltaického panelu SZ-110-36M

Za předpokladu, že oba zakoupené panely mají identické vlastnosti, můžeme říci, že při těchto podmínkách by jejich sériové spojení generovalo napětí v bodu maximálního výkonu 45,4 V.

Následující tabulka zobrazuje porovnání naměřených význačných hodnot s těmi, které uvádí výrobce panelu. Rozdílnost těchto veličin je způsobena podmínkami testování a nevhodným úhlem mezi panely sluncem.

Tab. 1: Porovnání naměřených a výrobcem udávaných hodnot fotovoltaického panelu

	V_{oc}	I_{sc}	V_{mp}	I_{mp}	P_{mp}
hodnoty udávané výrobcem	28,3 V	4,9 A	23,81 V	4,62 A	110 W
naměřené hodnoty	28,1 V	3,76 A	22,7 V	3,4 A	77,18 W

13 Cenová kalkulace

Tab. 2: Vyčíslení ceny zařízení

součástka	cena [/ks]	jeden systém [ks]	zakoupeno [ks]	jeden systém [Kč]	vývojová cena [Kč]
ESP32-S3	125,98	1	2	125,98	251,96
LCD	345,90	1	2	345,90	691,80
ADS1115	47,29	3	6	141,87	283,74
MCP23017	158,00	1	2	158,00	316,00
WCS1800	110,42	5	5	552,10	552,10
DS3231	28,50	1	1	28,50	28,50
Relé 1	11,86	3	6	35,58	71,16
Relé 2	79,86	4	8	319,44	638,88
řídící DPS	220,00	1	2	220,00	440,00
výkonová DPS	220,00	1	2	220,00	440,00
měřící DPS	220,00	1	1	220,00	220,00
XY6020L	585,57	1	1	585,57	585,57
měníč 230 V	2 014,00	1	1	2 014,00	2 014,00
měníč USB	147,44	2	3	294,88	442,32
MPPT	1 875,00	1	1	1 875,00	1 875,00
fotovoltaický panel	1 149,50	2	2	2 299,00	2 299,00
Akumulátor SC4500	4 999,00	1	1	4 999,00	4 999,00
				14 434,82 Kč	16 149,03 Kč

Jak je možné vidět v tabulce výše, cena jednoho kusu zařízení je zhruba 14 400 Kč. Tato cena nezahrnuje drobné součástky jako tranzistory, rezistory, vodiče, BMS záložního systému, nebo měniče 12 V a 3.3 V.

Pokud tuto kalkulaci využijeme pro porovnání s dříve zmiňovanými komerčními produkty, získáme výslednou tabulku:

Tab. 3: Porovnání sestaveného zařízení s komerčně dostupnými zařízeními

název	sestrojené zařízení	Bluepalm BP-300OK	Bluepalm BP-S500F3	EcoFlow RIVER 2	EcoFlow RIVER 2 Max	Jackery Explorer 240
kapacita baterie [Wh]	374,4	294,4	518	256	512	240
výkon FV [W]	220	120	240	110	220	65
vstupní napětí FV [V_{oc}]	60	24	32	30	50	30
Výkon FV panelů [W]	220	120	200	110	220	80
výkon měniče [W]	500	300	800	300	500	200
USB výkon [W]	130	100	100	60	100	24
počet USB výstupů [USB-A / USB-C]	2 / 2	2 / 1	2 / 1	2 / 1	3 / 1	2 / 0
výkon 12 V [W]	240	120	120	100	126	120
displej	barevný dotykový	segmentový	segmentový	segmentový	segmentový	segmentový
cena [Kč]	12 135	4 190	8 990	5 790	12 490	4 899
cena panelů výrobce [Kč]	2 299	6 299	6 299	6 490	11 990	4 299
cena komplet [Kč]	14 434	10 489	15 289	12 280	24 480	9 198

Jak je možné vidět z porovnání výše, cena výsledného zařízení je s ohledem na nabízené parametry vyšší než cena komerčních řešení. Pokud ovšem od ceny odečteme cenu baterie (4 999 Kč) a fotovoltaických panelů (2 299 Kč) získáme cenu 7 046 Kč. Tato cena může být dále snížena, například využitím levnějšího způsobu měření proudů. Cena po odečtení fotovoltaických panelů a baterie již může být atraktivnější, pokud zájemce disponuje akumulátorem, který může jednoduše využít v tomto navrhnutém systému.

14 Závěr

Současný stav techniky v oblasti obnovitelných zdrojů energie představuje významný posun ve snížení závislosti na konvenčních zdrojích energie, ať už v oblasti dopravy, tak v domácnostech. Mezi nejvýznamnější obnovitelné zdroje energie patří fotovoltaické systémy, sloužící buď jako doplňující zdroje elektrické energie, nebo jako zdroje hlavní. Bakalářská práce s názvem „Fotovoltaický systém využívající akumulátorového packu elektrické koloběžky“ se zabývá návrhem a realizací malého mobilního ostrovního fotovoltaického systému, s jehož využitím se počítá na letních dětských táborech v oblasti bez dostupné elektrické distribuční sítě. První část práce vysvětluje základy obnovitelných zdrojů. Do větší hloubky je rozebrána fotovoltaika, konkrétně princip přeměny slunečního záření na elektrickou energii a základní druhy fotovoltaických článků. Poté jsou nastíněny možné způsoby zapojení systémů využívajících fotovoltaických panelů.

Druhá část práce se zaměřuje na malé ostrovní systémy a dále sumarizuje konkrétní požadavky na malý ostrovní systém, včetně porovnání komerčních řešení. Poté se práce zabývá konkrétní realizací malého ostrovního systému. Prvním krokem tohoto návrhu bylo obecné schéma zapojení, výběr vhodných komponent, především elektrické koloběžky, ze které byl využit akumulátorový pack. Poté, co byl vybrán vhodný akupack, se výběr odvíjel od jmenovitého napětí tohoto akupacku, tedy 36 V. Jelikož se jedná o méně využívanou napěťovou hladinu, bylo nutné brát na tuto skutečnost zřetel při výběru dalších komponent systému. Dalšími významnými funkčními celky byl MPPT měnič, fotovoltaické panely, střídač, USB moduly, programovatelný stejnosměrný zdroj, a komponenty řídicího systému.

Po výběru komponent následoval popis uživatelského rozhraní, návrh desek plošných spojů a tvorba programu nadřazeného řídicího systému. Na závěr byla provedena cenová bilance vzniklého zařízení a porovnání s komerčními řešeními.

Již během výroby a kompletace zařízení vznikaly náměty na možná vylepšení. Hlavní možné vylepšení představuje implementace komunikace se stejnosměrným zdrojem XY6020L, který je v aktuální podobě nutné ovládat pomocí řídicího panelu dodaného výrobcem.

Z cenové kalkulace vychází, že se tento systém může vyplatit v případě, že zájemce již disponuje nějakým akumulátorovým packem, který již buďto nevyhovuje svému primárnímu účelu, nebo jej jen v danou chvíli nepotřebuje. Dle mého názoru se jedná o perspektivní myšlenku, jelikož s přibývajícím množstvím elektrických dopravních prostředků bude množství akumulátorů růst. Sestrojený systém je využitelný do jmenovitého napětí akupacku 48 V, tedy maximálního napětí 60 V. Získané zkušenosti a koncepty v této práci lze dle mého názoru přenést i na systémy využívající zcela jiných parametrů. Může se jednat o mobilní ostrovní systémy, systémy pro využití v obytných vozech, ale i o stacionární fotovoltaické systémy sloužící pro dům nebo skupinu domů.

Dalším vylepšením, které bude spíše estetického rázu, bude využití barevné škály zobrazované pomocí LED pásku, kdy se bude měnit barva dané diody na základě odebíraného výkonu.

Literatura

- [1] LIBRA, Martin a Vladislav POULEK. Fotovoltaika: teorie i praxe využití solární energie. Praha: Ilsa, 2009, 160 s. ISBN 978-80-904311-0-2.
- [2] MASTNÝ, Petr. Obnovitelné zdroje elektrické energie [online]. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011, 257 s. [cit.7.5.2024]. ISBN 978-80-01-04937-2
- [3] HASELHUHN, Ralf. Fotovoltaika: Budovy jako zdroj proudu. Ostrava: HEL, 2011, 176 s. [cit.7.5.2024]. ISBN 978-80-86167-33-6
- [4] Co byste měli znát před instalací domácí fotovoltaické elektrárny [online]. [cit. 8.5.2024]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/22068-co-byste-meli-znat-pred-instalaci-domaci-fotovoltaicke-elektrarny>
- [5] Bluepalm BP-3000K [online]. [cit. 4.5.2024]. Dostupné z: <https://schuss-home.at/en/energy/portable-power-stations/portable-power-station-300-watt>
- [6] Nabíjecí bateriová stanice Bluepalm BP-3000K 294Wh [online]. [cit. 6.5.2024]. Dostupné z: <https://www.hornbach.cz/p/nabijeci-bateriova-stanice-bluepalm-bp-300ok-294wh/10693672/>
- [7] Bluepalm BP-S500F [online]. [cit. 4.5.2024]. Dostupné z: <https://schuss-home.at/en/energy/portable-power-stations/portable-power-station-800-watt>
- [8] Nabíjecí bateriová stanice Bluepalm BP-S500F 518Wh [online]. [cit. 4.5.2024]. Dostupné z: <https://www.hornbach.cz/p/nabijeci-bateriova-stanice-bluepalm-bp-s500f-518wh/10652558/>
- [9] EcoFlow RIVER 2 [online]. [cit. 4.5.2024]. Dostupné z: <https://ecoflow.cz/products/ecoflow-river-2>
- [10] EcoFlow RIVER 2 Max [online]. [cit. 4.5.2024]. Dostupné z: <https://ecoflow.cz/products/ecoflow-river-2-max>
- [11] Jackery Explorer 240 [online]. [cit. 4.5.2024]. Dostupné z: <https://www.jackery.cz/jackery-explorer-250>
- [12] Jackery Explorer 240 [online]. [cit. 4.5.2024]. Dostupné z: <https://www.jackery.com/products/explorer-240-portable-power-station>
- [13] ICharger MPPT-6048 [online]. [cit. 6.5.2024]. Dostupné z: <https://www.easun-energy.com/products/easun-solar-charge-controller-mppt-60a>
- [14] Xiaomi Electric Scooter 4 Pro (2nd Gen) [online]. [cit. 6.5.2024]. Dostupné z: <https://www.mi.com/global/product/xiaomi-electric-scooter-4-pro-2nd-gen/specs>
- [15] Concept Crossader 4.5 SC4500 [online]. [cit. 6.5.2024]. Dostupné z: https://www.concept.cz/elektricka-kolobezka-crossader-4-5-sc4500_d170248.html
- [16] Mi Electric Scooter Pro 2 [online]. [cit. 6.5.2024]. Dostupné z: <https://www.xiaomicesko.cz/mi-electric-scooter-pro-2.html>
- [17] Fotovoltaický solární panel SZ-110-36M [online]. [cit. 6.5.2024]. Dostupné z: <https://www.hadex.cz/g958f-fotovoltaicky-solarni-panel-12v110w-sz-110-36m1080x510x30mmshingle/>

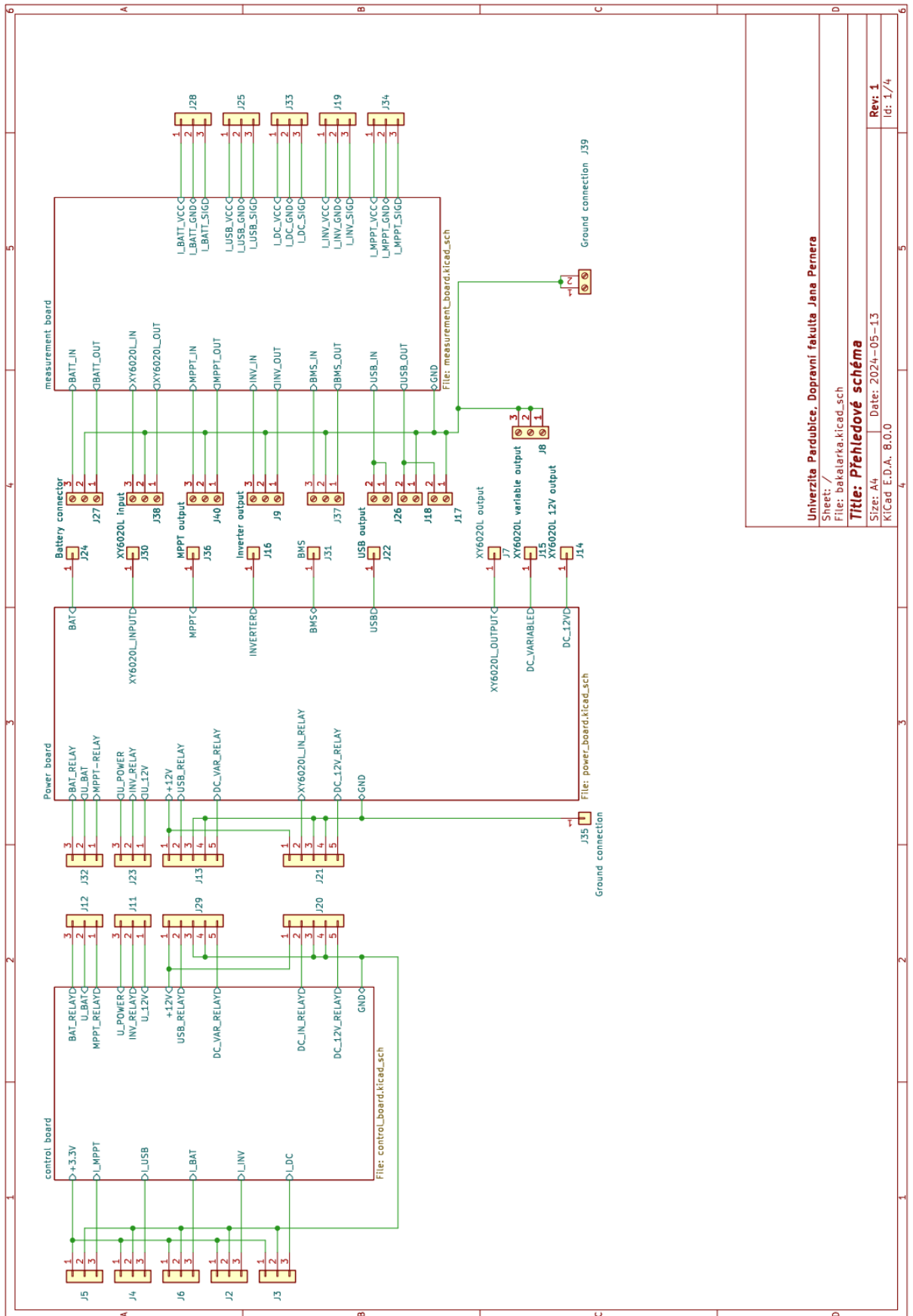
- [18] XY6020L-Modbus [online]. [cit. 6.5.2024]. Dostupné z: <https://github.com/tinkering4fun/XY6020L-Modbus/tree/main>
- [19] XY6020L DIY Laboratorní zdroj 20A 1200W [online]. [cit. 6.5.2024]. Dostupné z: https://www.laskakit.cz/xy6020l-diy-laboratorni-zdroj-20a-1200w/?fbclid=IwAR3i8b997r2IyvrS5_GOesuKglXcEhrAine9luIoEkXTdTF54Toot4Fzg7E
- [20] Datasheet G5LE-1A-E DC12 [online]. [cit. 7.5.2024]. Dostupné z: <https://www.tme.eu/Document/70ebc44b3d55d9a7b27221e9cb1c5c0c/G5LE.pdf>
- [21] Nejpoužívanější pojmy ve fotovoltaice [online]. [cit. 9.5.2024]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/11772-nejpouzivanejsi-pojmy-ve-fotovoltaice>
- [22] Solar power [online]. [cit. 9.5.2024]. Dostupné z: https://www.mpoweruk.com/solar_power.htm
- [23] Which solar charge controller: PWM or MPPT? [online]. [cit. 10.5.2024]. Dostupné z: <https://www.victronenergy.com/upload/documents/Technical-Information-Which-solar-charge-controller-PWM-or-MPPT.pdf>
- [24] 500 W pure sine wave inverter [online]. [cit. 11.5.2024]. Dostupné z: https://vi.aliexpress.com/item/1005001315049716.html?spm=a2g0o.productlist.main.5.6c4b27deec8Nyo&algo_pvid=10722fea-3f03-42b0-bf41-bfba9893098c&algo_exp_id=10722fea-3f03-42b0-bf41-bfba9893098c-2&pdp_npi=4%40dis%21CZK%211752.58%211472.1%21%21%2174.42%21%21%40211b812f16997911163385277e666b%2112000015666656662%21sea%21CZ%212541467626%21&curPageLogUid=c0W2Sd52aLbj&gatewayAdapt=glo2vnm
- [25] DC12 - 96 V PD 65 W PD/QC2.0 3.0 USB Module [online]. [cit. 11.5.2024]. Dostupné z: https://vi.aliexpress.com/item/1005005880627663.html?spm=a2g0o.home.moretolove.4.15782145hauSS7&gps-id=pcJustForYou&scm=1007.13562.333647.0&scm_id=1007.13562.333647.0&scm-url=1007.13562.333647.0&pvid=28f88a79-2589-4233-ab3b-c68be658b02e&t=gps-id%3ApcJustForYou%2Cscm-url%3A1007.13562.333647.0%2Cpvid%3A28f88a79-2589-4233-ab3b-c68be658b02e%2Ctpp_buckets%3A668%232846%238112%231997&pdp_npi=4%40dis%21CZK%21164.53%21141.47%21%21%216.92%21%21%402103253916982588563257529e5085%2112000034683583027%21rec%21CZ%212541467626%21&gatewayAdapt=glo2vnm
- [26] Lithiové trakční akumulátory pro elektromobilitu [online]. [cit. 11.5.2024]. Dostupné z: https://dk.upce.cz/bitstream/handle/10195/72770/CKDV_UPCE_18_ELEKTRO.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [27] Datasheet WCS1800 [online]. [cit. 12.5.2024]. Dostupné z: <https://www.winson.com.tw/uploads/images/WCS1800.pdf>
- [28] Datasheet MCP23017 [online]. [cit. 12.5.2024]. Dostupné z: <https://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/20001952c.pdf>

- [29] Datasheet ADS1115 [online]. [cit. 12.5.2024]. Dostupné z: https://www.ti.com/lit/ds/symlink/ads1115.pdf?ts=1715498467561&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.ti.com%252Fproduct%252FADS1115
- [30] Datasheet ESP32-S3 [online]. [cit. .5.2024]. Dostupné z: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-s3_datasheet_en.pdf
- [31] Why Use a Real-Time Operating System in MCU Applications [online]. [cit. 1.5.2024]. Dostupné z: https://www.ti.com/lit/wp/spry238/spry238.pdf?ts=1714505262586&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F
- [32] Datasheet WCS1800 [online]. [cit. 3.5.2024]. Dostupné z: <https://www.winson.com.tw/uploads/images/WCS1800.pdf>
- [33] What is a Real-Time Operating System (RTOS)? [online]. [cit. 3.5.2024]. Dostupné z: <https://www.digikey.cz/cz/maker/projects/what-is-a-realtime-operating-system-rtos/28d8087f53844decafa5000d89608016>
- [34] Vodní elektrárna Kamýk [online]. [cit. 12.5.2024]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/o-cez/vyrobní-zdroje/obnovitelné-zdroje/voda/vodní-elektrárny/ceska-republika/kamýk-58151>
- [35] ABB successfully commissions Thornton Bank offshore wind connection [online]. [cit. 12.5.2024]. Dostupné z: <https://new.abb.com/news/detail/12795/abb-successfully-commissions-thornton-bank-offshore-wind-connection>

Seznam příloh

Příloha A	Schématy zapojení
Příloha B	Popis komunikačního rozhraní
Příloha C	Rendery DPS z programu KiCad
Příloha D	Doplňující fotografie
Příloha E	CD s kompletním programem i všemi schématy zapojení v plném rozlišení

Příloha A:



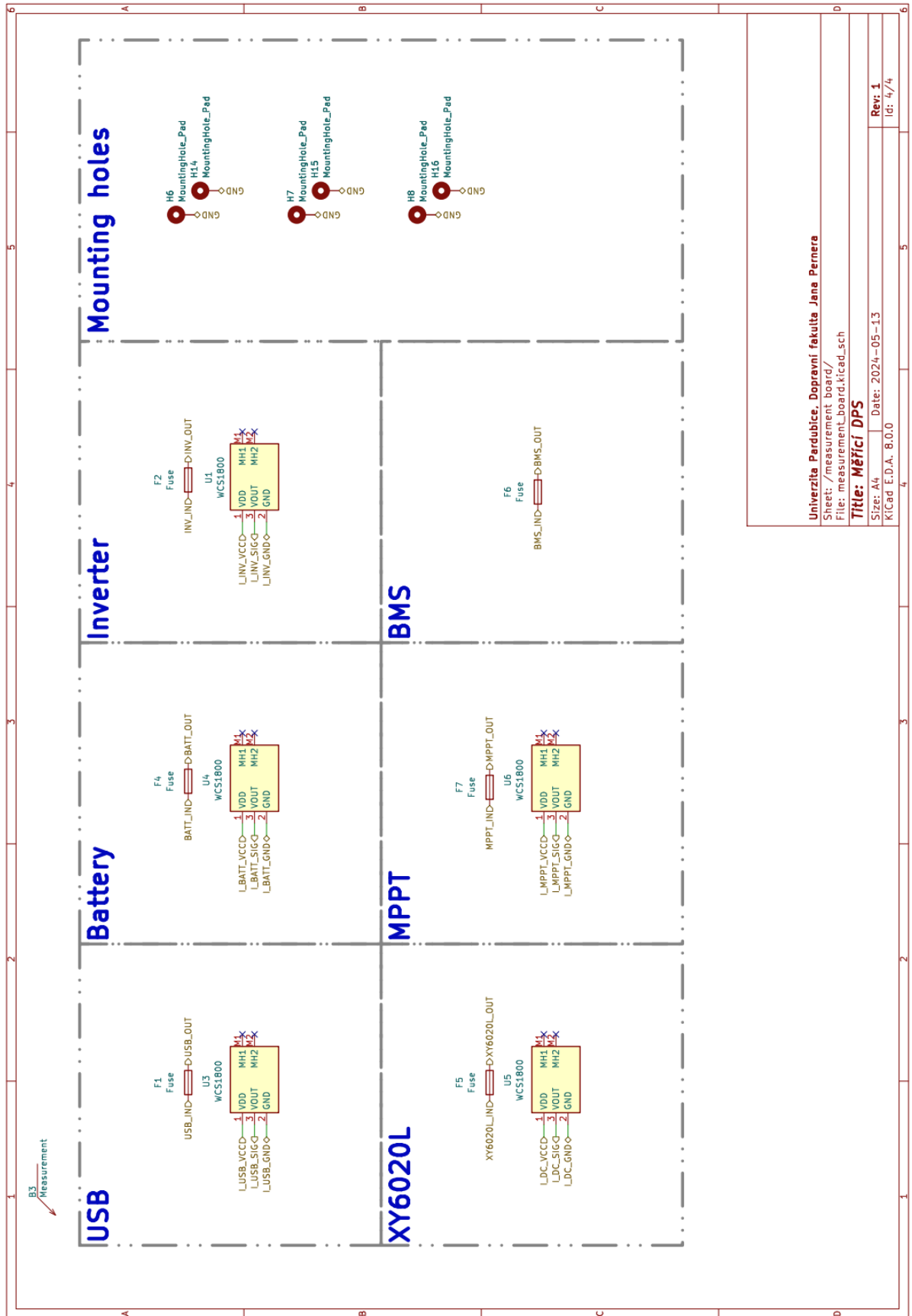
Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera

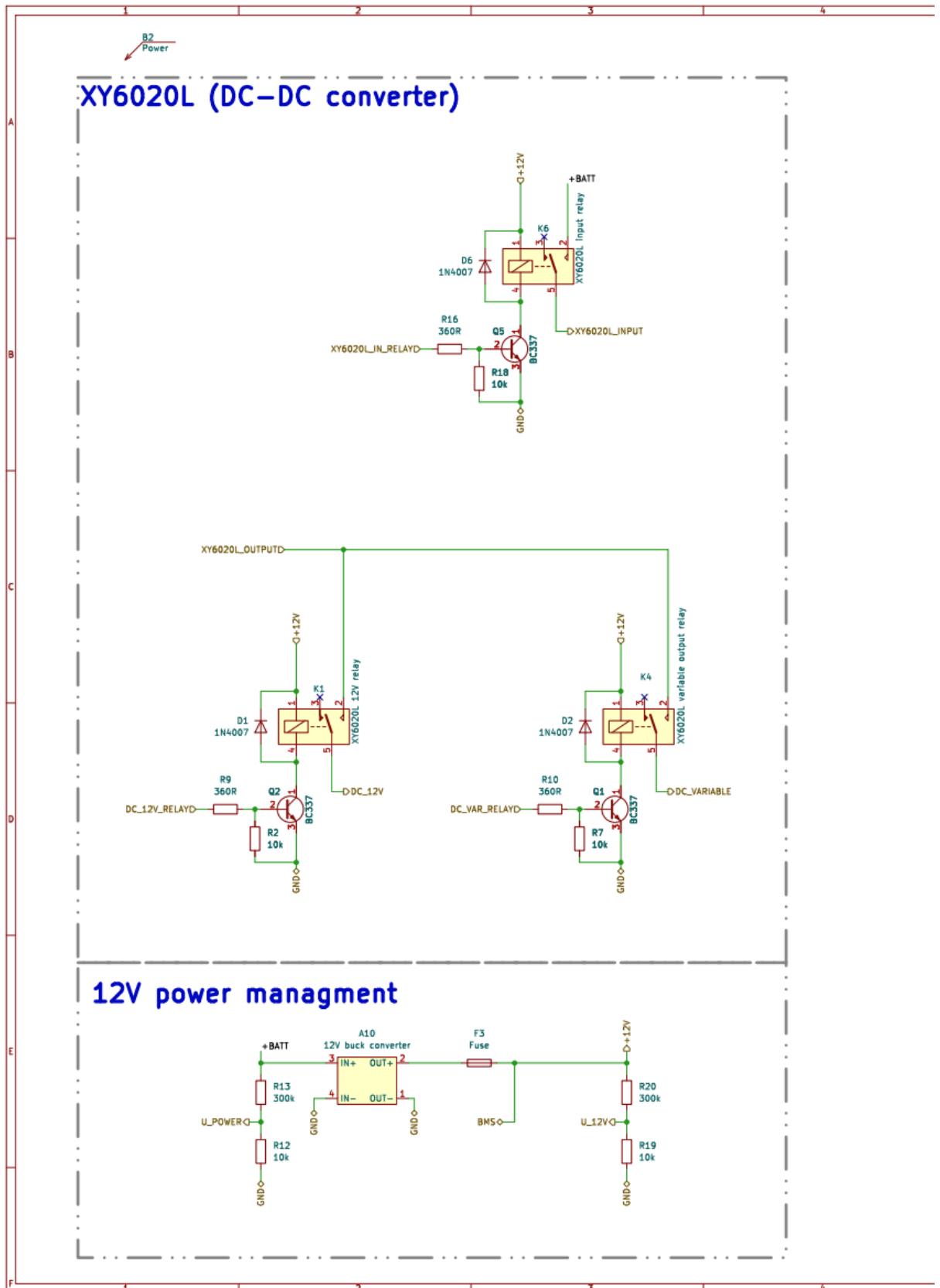
Sheet: /
File: bakalarka.kicad.sch

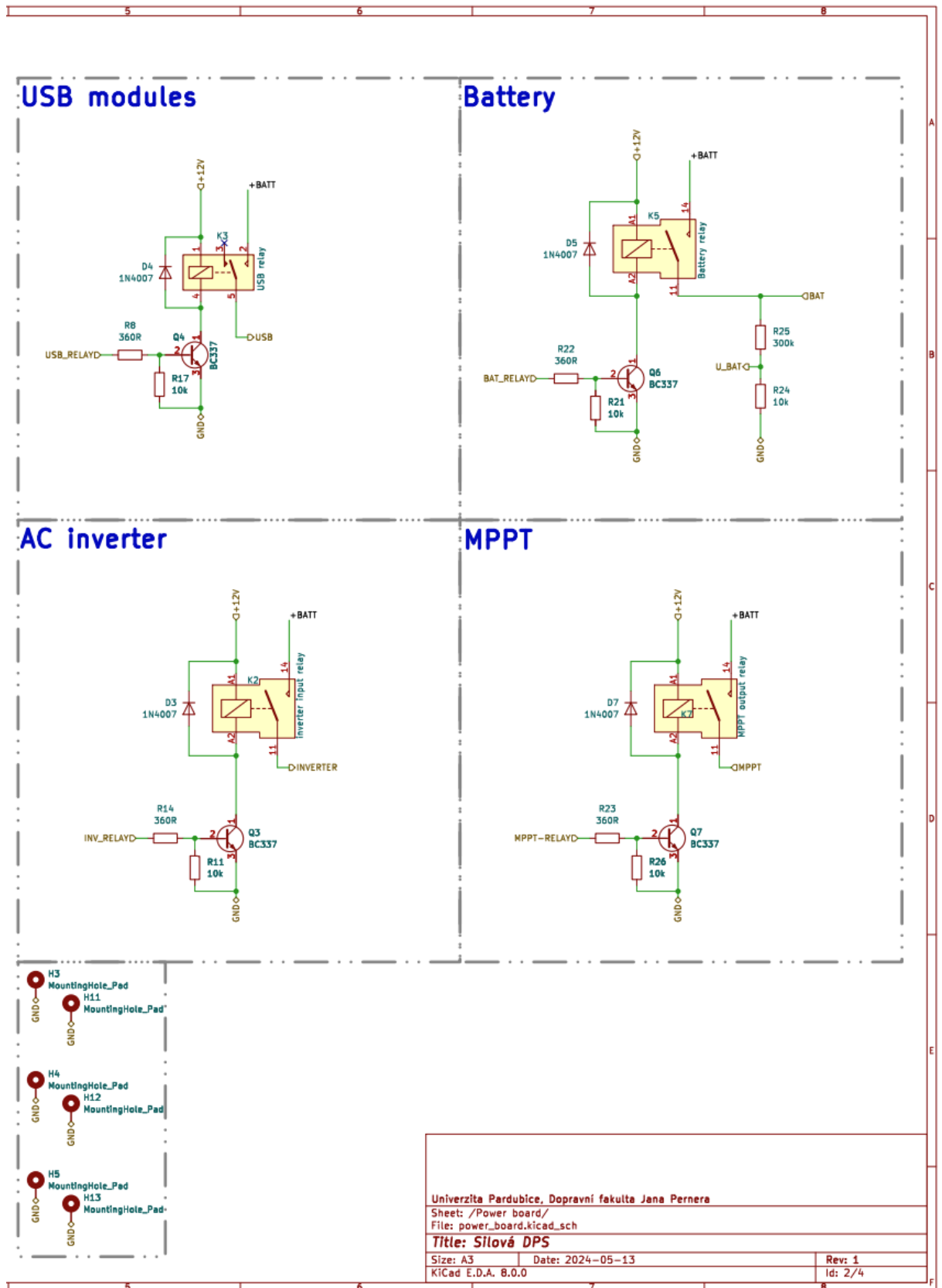
Title: Přehledové schéma

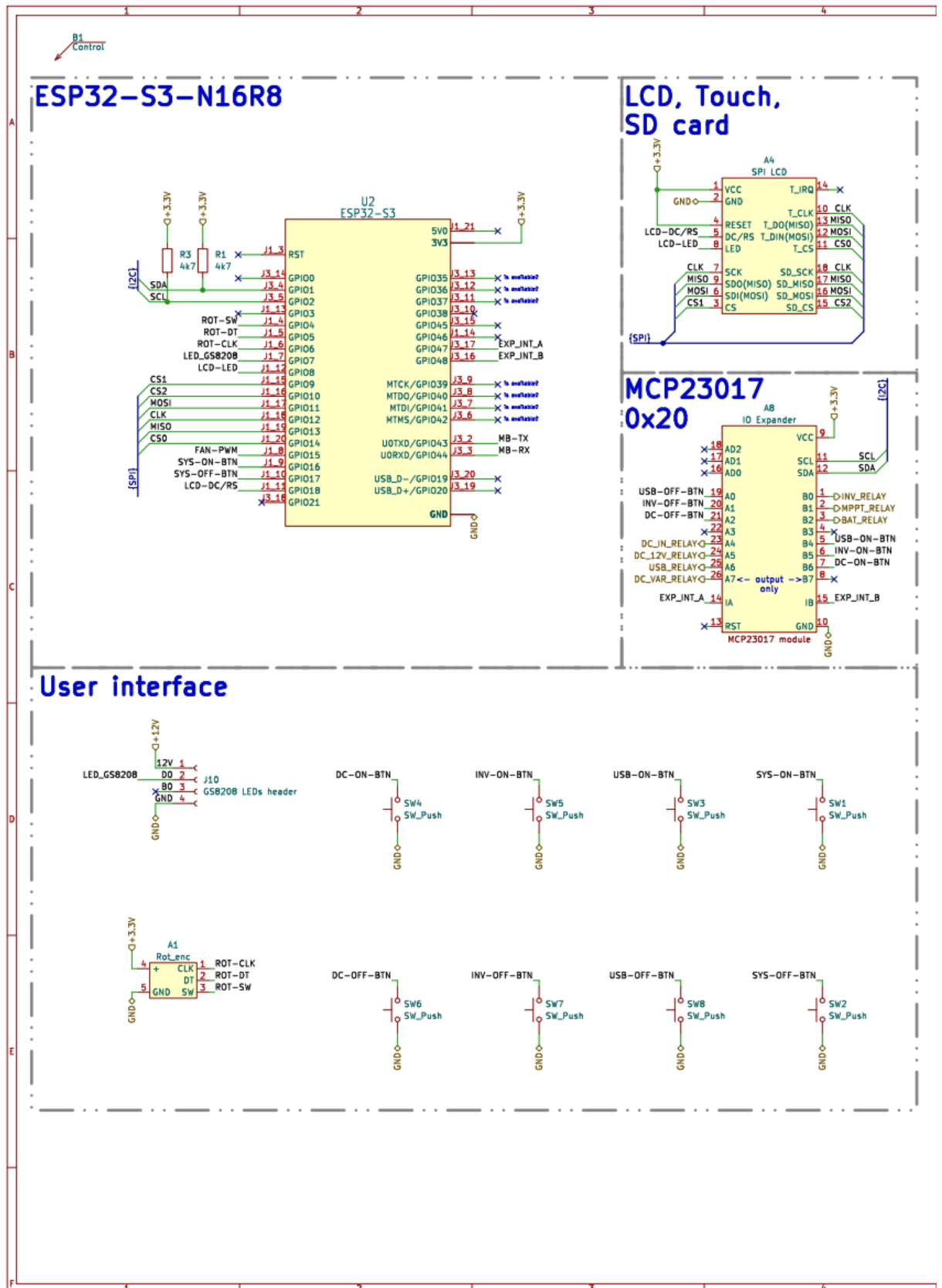
Size: A4 Date: 2024-05-13
KiCad E.D.A. 8.0.0

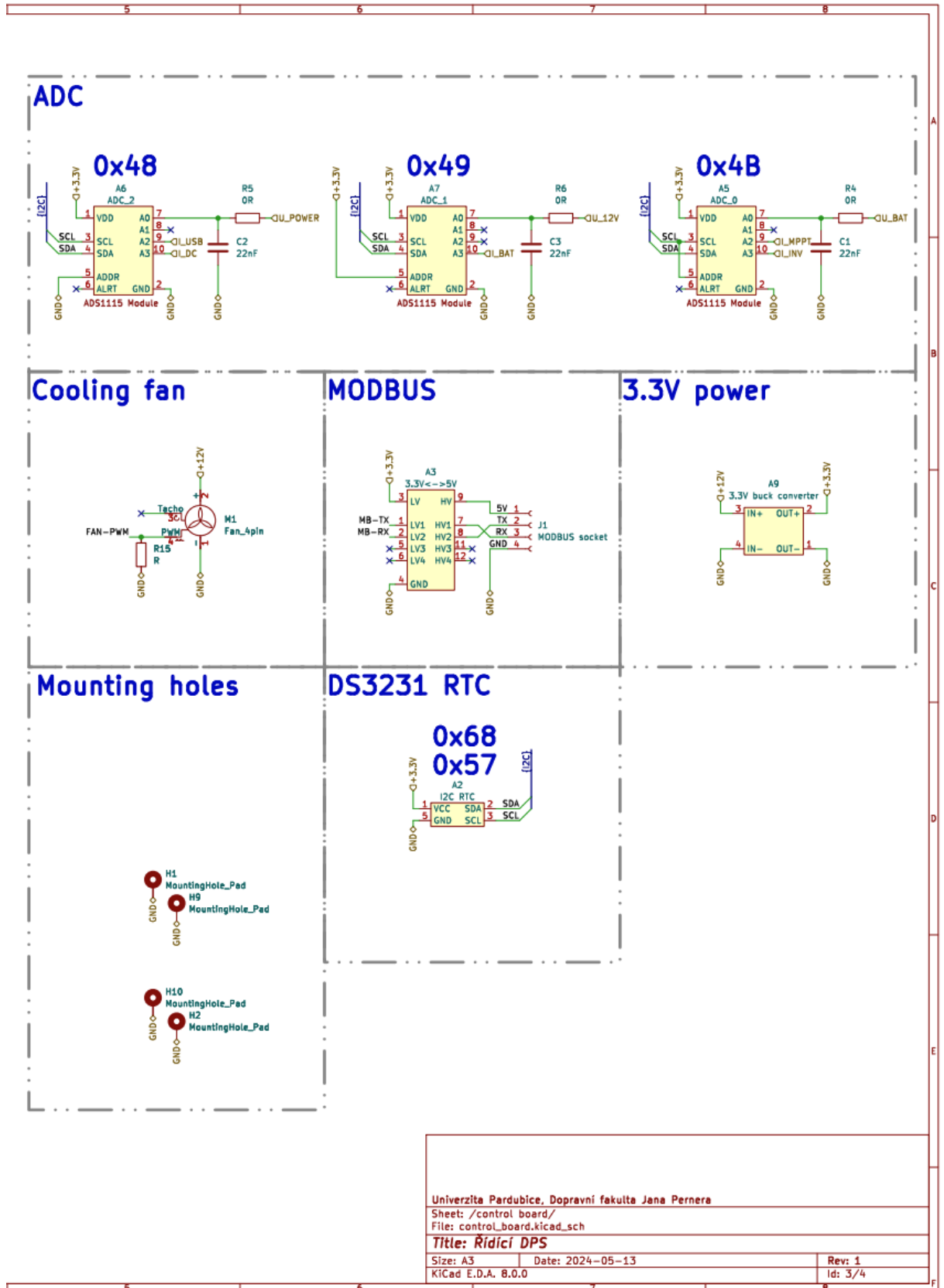
Rev: 1
Id: 1/4











Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera		
Sheet: /control board/		
File: control_board.kicad_sch		
Title: Řídící DPS		
Size: A3	Date: 2024-05-13	Rev: 1
KiCad E.D.A. 8.0.0		Id: 3/4

Příloha B:

index	výstup	jednotka
0	USB	-
1	MPPT	-
2	střídač	-
3	baterie	-
4	DC zdroj	-

index	proměnná baterie	jednotka
0	maximální napětí baterie	mV
1	minimální napětí baterie	mV
2	vnitřní odpor	mΩ
3	maximální záporný proud	mA
4	napěťový násobitel	-
5	zisk AD převodníku pro měření napětí	-

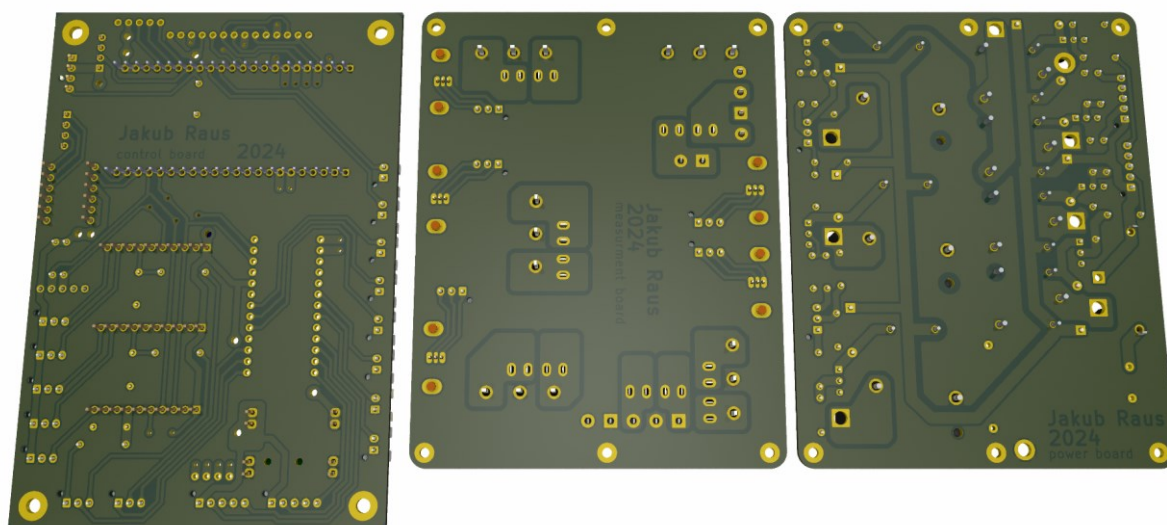
index	napětí	jednotka
0	baterie	mV
1	silový obvod	mV
2	12 V obvod	mV

index	ostatní proměnné	jednotka
0	napěťový násobitel 12 V obvodu	-
1	zisk AD převodníku pro měření napětí 12 V obvodu	-
2	napěťový násobitel silového obvodu	-
3	zisk AD převodníku pro měření napětí silového obvodu	-
4	minimální napětí 12 V obvodu	mV

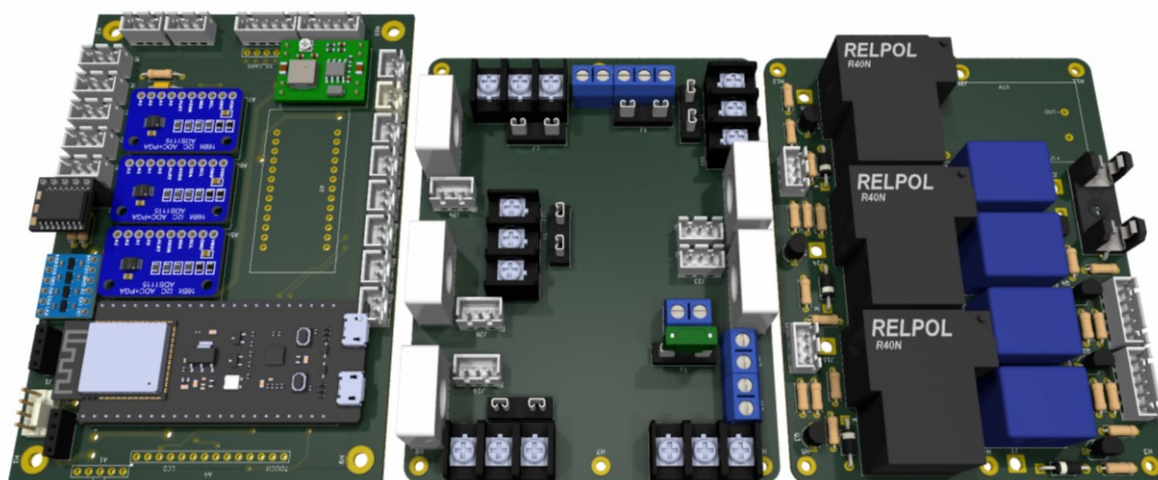
index	proměnná výstupu	jednotka
0	maximální proud	mA
1	proudový násobitel	-
2	zisk AD převodníku pro měření proudu	-

požadavek	příkaz	doplnění příkazu	příklad	vysvětlení	odpověď		
nastavit stav výstupu	S	-	S1:H	sepne MPPT vstup	S1:H		
získat stav výstupu	G	-	G1	vrátí stav MPPT vstupu	G1:H		
nastavit proměnnou	V	VM	VM1A0:2000	M1 - výstup 1 - MPPT	VM1A0:2000		
				A0 - proměnná 0 - maximální proud			
				2000 - 2000 mA			
VB	VB2:250	B2 - vnitřní odpor baterie	VB2:250				
		250 - 250 mΩ					
VC	VC0:1000	C0 - 12V napěťový násobitel	VC0:1000				
		1000 - 1000					
získat proměnnou	W	WM	WM1A0	vrátí maximální proud MPPT	WM1A1:2000		
				WB		vrátí vnitřní odpor baterie v mΩ	WB2:250
				WC		vrátí napěťový násobitel 12 V obvodu	WC0:1000
získat napětí	U	-	U0	U0 - napětí baterie	U0:41000		
získat proud	A	-	A0	A0 - proud USB	A0:2000		

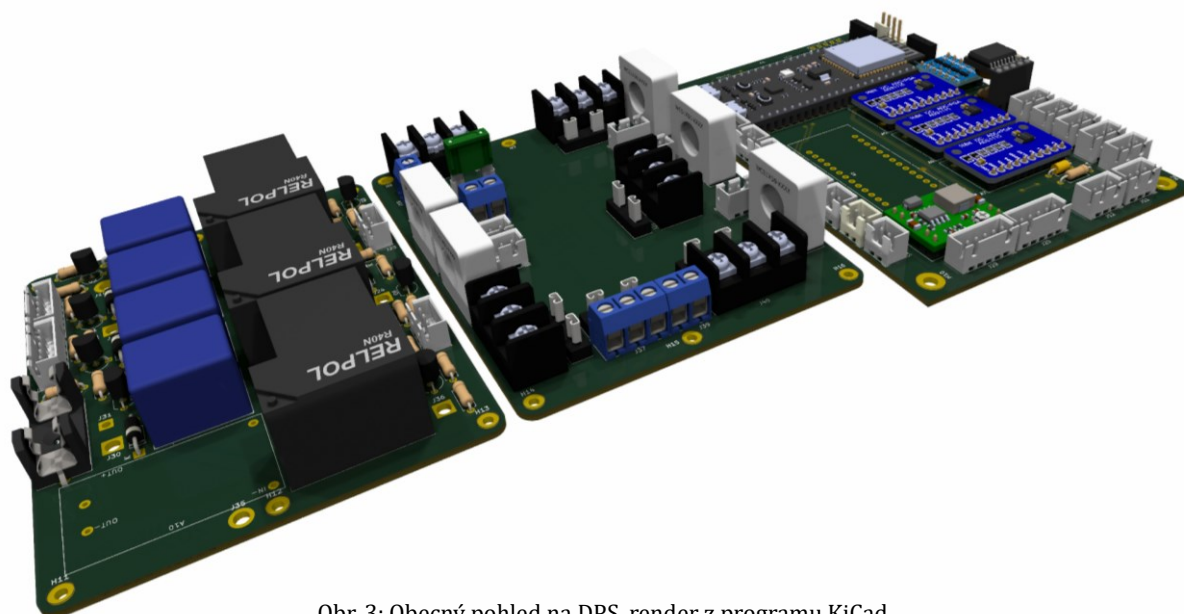
Příloha C:



Obr. 1: Pohled na stranu spojů DPS, render z programu KiCad

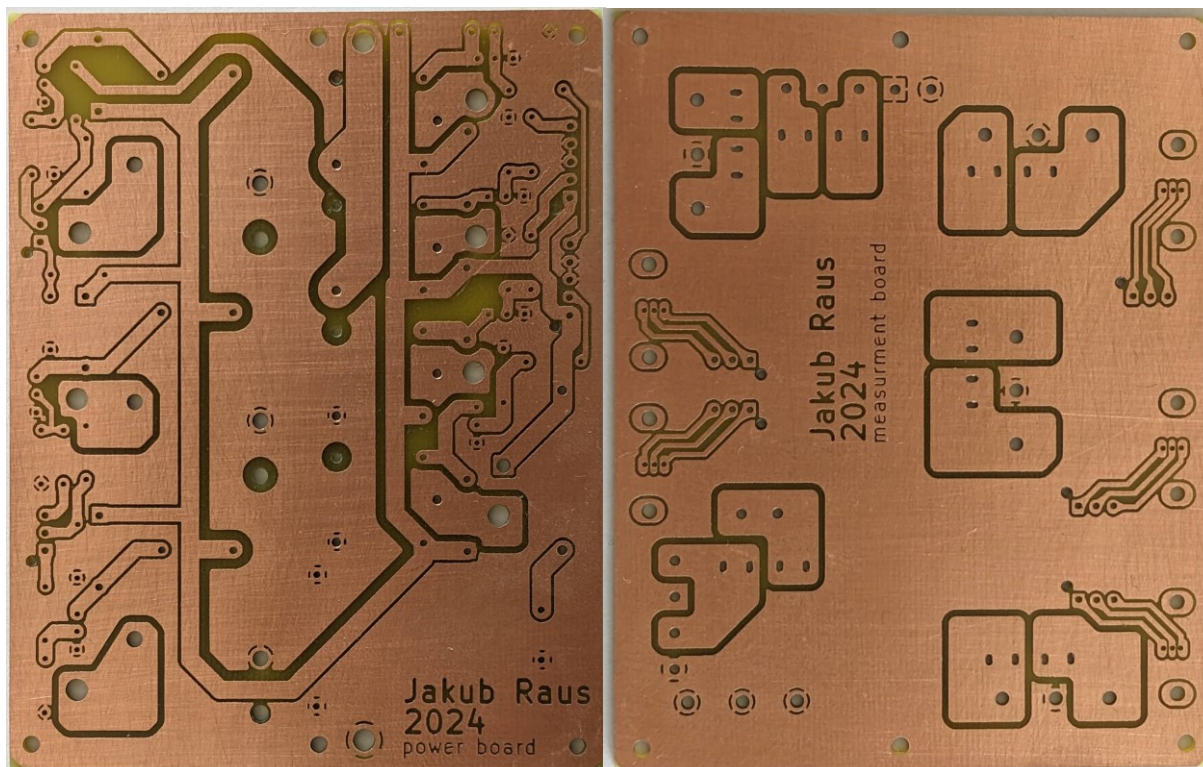


Obr. 2: Pohled na stranu součástek DPS, render z programu KiCad

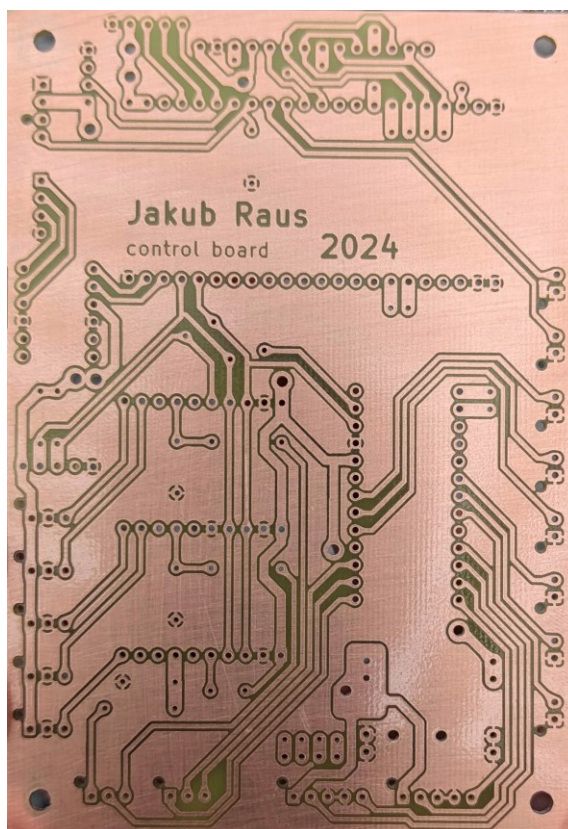


Obr. 3: Obecný pohled na DPS, render z programu KiCad

Příloha D:



Obr. 1: Pohled na vyrobené desky, silová DPS vlevo, měřící vpravo



Obr. 2: Pohled na vyrobenou řídicí desku



Obr. 3: Detail konektoru spojující elektrokoloběžku s akupackem



Obr. 4: Akupack elektrokoloběžky Concept SC4500