



FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ
KATEDRA ELEKTROMECHANIKY A VÝKONOVÉ ELEKTRONIKY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
ZAŘÍZENÍ PRO SBĚR A REPREZENTACI DAT MĚŘENÝCH
JEDNOÚČELOVÝM STROJEM

Vypracoval: Lukáš Čížek

Vedoucí práce: Ing. Jiří Žahour

Plzeň 2016

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Lukáš ČÍŽEK**
Osobní číslo: **E13B0272P**
Studijní program: **B2644 Aplikovaná elektrotechnika**
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**
Název tématu: **Zařízení pro sběr a reprezentaci dat měřených jednoúčelovým strojem**
Zadávající katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

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

Cílem práce je zhotovit zařízení pro sběr dat ze sběrnice RS-485 a jejich následnou reprezentaci přes ethernet.

1. Seznamte se s jednodeskovými počítači a vyberte vhodný jednodeskový počítač pro tuto aplikaci, výběr zdůvodněte.
2. Navrhněte pomocné obvody pro komunikaci pro sběrnici RS-485.
3. Navrhněte napájecí zdroj zařízení (včetně ochrany před neočekávaným odpojením napájení, zabraňte ztrátě uložených dat.)
4. Realizujte navržené zařízení.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**

Rozsah kvalifikační práce: **30 - 40 stran**

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

Seznam odborné literatury:

Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

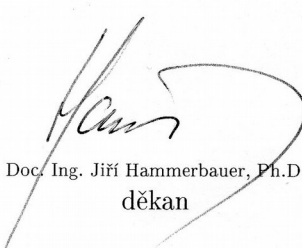
Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jiří Žahour

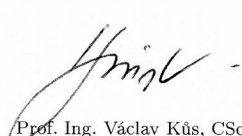
Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

Datum zadání bakalářské práce: **15. října 2015**

Termín odevzdání bakalářské práce: **2. června 2016**


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Prof. Ing. Václav Kůs, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2015

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce pojednává o návrhu a realizaci zařízení pro automatizovaný sběr dat měřených jednoúčelovým strojem. Navržené zařízení přijímá data přes rozhraní RS-485 a následně je reprezentuje skrze rozhraní ethernet za pomoci jednodeskového počítače Raspberry Pi. Úvod práce rozvádí, k jakým účelům se v průmyslu automatizovaný sběr dat využívá, druhá část práce pojednává o návrhu hardware zařízení a jeho konstrukci. Třetí část se věnuje softwarovému vybavení zařízení a v závěru jsou shrnuty poznatky a výsledky po krátkodobém testování zařízení.

KLÍČOVÁ SLOVA

sběr dat, jednodeskový počítač, mikrokontrolér, komunikační rozhraní

ABSTRACT

This bachelor thesis is based on designing and realization of device for automated data collecting, which are measured by single purpose machine. Designed devices can receive data through RS-485 interface and transmit them with the help of single board computer Raspberry Pi through ethernet interface. The introduction part deals with purposes, where data collecting is used. Next part is about designing and constructing of hardware of the device. The third part deals with software of device and in the conclusion is a summary of results, obtained in a short time while the device has been tested.

KEYWORDS

data collecting, single board computer, microcontroller, communication interface

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu literatury, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

.....

podpis

V Plzni dne 1. června 2016

Lukáš Čížek

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat všem, kteří mi umožnili realizovat tuto práci, zvláště pak vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Jiřímu Žahourovi za cenné rady a čas, který mi při návrhu, konstrukci a programování zařízení věnoval.

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	VI
SEZNAM TABULEK.....	VII
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	VIII
1. Úvod.....	1
2. Koncepce navrhovaného zařízení.....	2
2.1. Napájení zařízení.....	3
2.2. Komunikační sběrnice.....	4
3. Návrh zařízení.....	11
3.1. Jednodeskový počítač.....	11
3.2. Základní deska.....	13
3.3. Napájení.....	16
4. Oživování zařízení.....	29
5. Konstrukce zařízení.....	30
6. Software zařízení.....	32
6.1. Software MCU MC9S08DZ128.....	32
6.2. Software SBC Raspberry Pi 2 model B.....	34
7. Závěr.....	40
8. Použitá literatura.....	41
PŘÍLOHA A – Schémata.....	43
PŘÍLOHA B – Osazovací plány.....	48
PŘÍLOHA C – Výkresy vodivých cest.....	57
PŘÍLOHA D – Fotografie zařízení.....	59

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 - Blokové schéma celého zařízení.....	2
Obr. 2 - Blokové schéma napájení zařízení.....	3
Obr. 3 - Blokové schéma komunikací.....	4
Obr. 4 - Časový průběh komunikace na lince RS-485, převzato s úpravami z [7].....	5
Obr. 5 - Definice klidového stavu na dvou vodičové lince RS-485, převzato z [1].....	5
Obr. 6 - Standardní zpráva Profibus DP/FMS [2].....	7
Obr. 7 - Časový průběh komunikace pomocí rozhraní UART, převzato s úpravami z [3]....	8
Obr. 8 - Schéma připojení zařízení na I2C sběrnici, překresleno dle [8].....	9
Obr. 9 - Časový průběh komunikace pomocí rozhraní I2C, převzato s úpravami z [8].....	9
Obr. 10 - Ochrana proti přepětí a přepólování napájení.....	14
Obr. 11 - Zapojení relé pro spínání napájení k SBC.....	15
Obr. 12 - Napěťový posun rozhraní UART.....	16
Obr. 13 - Zapojení modulu 5V zdroje a nabíječe akumulátorů.....	18
Obr. 14 - Průběh nabíjení Li-ion článků, převzato s úpravami z [11].....	19
Obr. 15 - Zapojení modulu s baterií (část balancování a nouzového odpojení článků).....	21
Obr. 16 - Zapojení modulu s baterií (část měření napětí).....	23
Obr. 17 - Zapojení diferenciálního zesilovače pro měření napětí (pro výpočet).....	24
Obr. 18 - Zapojení diferenciálního zesilovače pro měření proudu (pro výpočet).....	25
Obr. 19 - Zapojení modulu pro měření teploty.....	28
Obr. 20 - Plán rozmístění modulů uvnitř šasi.....	30
Obr. 21 - Fotografie zařízení.....	31
Obr. 22 - Fotografie zařízení bez horního a předního krytu.....	32
Obr. 23 - Fotografie zařízení bez horního a předního krytu.....	32
Obr. 24 - Zjednodušený vývojový diagram programu MCU.....	34
Obr. 25 - Zjednodušený vývojový diagram programu datalogger.jar.....	38
Obr. 26 - Zjednodušený vývojový diagram programu pro práci s RTC obvodem.....	40

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 - Základní přehled dostupných jednodeskových počítačů s cenou do 80 USD.....12

Tab. 2 - Parametry použité paměťové microSD karty [6].....13

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

- AC - alternating current
- *střídavý proud*
- AD - analog to digital
- *analogově digitální*
- DA - digital to analog
- *digitálně analogový*
- DC - direct current
- *stejnoseměrný proud*
- DPS - deska plošných spojů
- FTP - file transfer protocol
- *protokol pro přenos souborů*
- GPIO - general purpose input/output
- *univerzální vstupy/výstupy*
- HDMI - high definition multimedia interface
- *rozhraní vysokého rozlišení*
- HW - hardware
- SW - software
- I2C - inter – integrated circuit communication
- *multi-masterové sériové rozhraní*
- LCD - liquid crystal display
- *display z tekutých krystalů*
- LED - light emitting diode
- *svítivá dioda*
- MCU - microcontroller unit
- *mikrokontrolér*
- PLC - programmable logic controller
- *programovatelný automat*
- PWM - pulse width modulation
- *pulzně šířková modulace*

- RTC - real time clock
- *hodiny reálneho času*
- SBC - single board computer
- *jednodeskový počítač*
- SDA - serial data
- *data sériové komunikace*
- SCL - serial clock
- *hodiny sériové komunikace*
- UART - universal asynchronous receiver/transmitter
- *univerzální asynchronní sériové rozhraní*
- USB - universal serial bus
- *univerzální sériové rozhraní*
- USD - United States dollar
- *americký dolar*

1. ÚVOD

Sběr dat z automatizovaných výrobních linek je jednou z důležitých součástí průmyslových výrobních procesů. Získaná data se následně používají např. jako doklad, že při výrobě byly dodrženy všechny potřebné parametry procesu pro dosažení určitých vlastností výrobku. Data lze také výhodně použít i při diagnostice porouchaného výrobního zařízení nebo při jeho testování. Proto je důležité, aby systém na záznam a případné zpracování dat byl dostatečně robustní a nedocházelo tak k vynechání záznamu v průběhu funkce zařízení nebo ke ztrátě dat při poruše nebo výpadku napájení. Také je velmi vhodné, aby data byla reprezentována i lidem přehlednou formou, např. pomocí grafů nebo tabulek, a aby z nich případně samo zařízení umělo automaticky generovat formuláře nebo protokoly.

Dnes se na tuto funkci používají průmyslové počítače, které všechny výše uvedené aspekty splňují. Nevýhodou tohoto řešení může být jejich vyšší pořizovací cena, jež může být překážkou, chce-li firma poskytující automatizované výrobní stroje dobře konkurovat na trhu. Z tohoto důvodu vzešel požadavek na návrh zařízení, které by bylo levnější, než běžně dostupné průmyslové počítače, ale dokázalo by je s obstojnými výsledky nahradit v systémech využívající sběr dat při výrobním procesu.

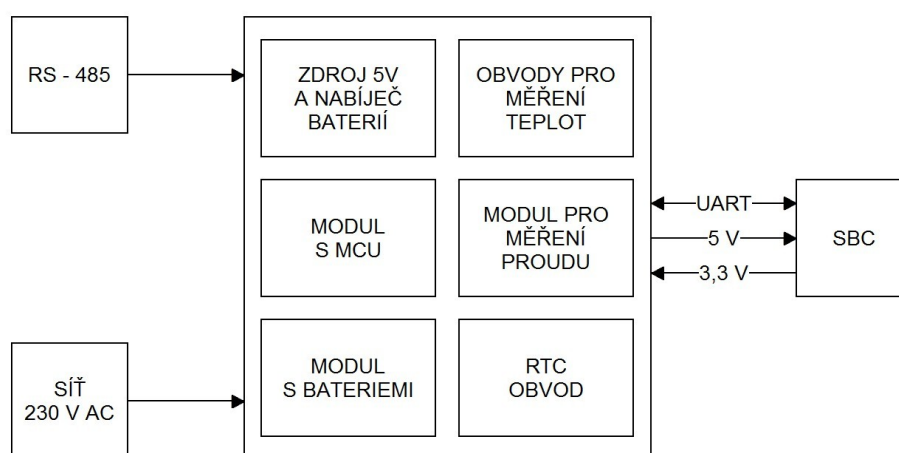
Cílem mé bakalářské práce je návrh zařízení vhodného pro sběr dat, jež by dokázalo nahradit drahé průmyslové počítače v tomto odvětví, a dále konstrukce jednoho prototypu, který ověří, zda mnou pojatá koncepce zařízení vyhovuje kladeným požadavkům.

2. KONCEPCE NAVRHOVANÉHO ZAŘÍZENÍ

Jak již bylo zmíněno v úvodu, mnou navrhované zařízení by mělo zastoupit průmyslové počítače v oblasti sběru a reprezentace dat jako levnější alternativa, z čehož vyplývají základní požadavky na zařízení:

1. Možnost grafické reprezentace dat, případně automatického vyplňování protokolů
2. V průběhu zpracování nesmí dojít ke ztrátě nebo přerušení příjmu zaslanych dat
3. Zabránění ztrátě dat při neočekávaném vypnutí nebo poruše napájení
4. Nižší pořizovací náklady oproti průmyslovým počítačům

Vzhledem k výše sepsaným požadavkům byl použit jednodeskový počítač (SBC) spolupracující s mikrokontrolérem (MCU) a pomocnými obvody. Dále zařízení obsahuje jednoduchý záložní zdroj elektrické energie pro případ neočekávané ztráty napájení. SBC obstarává tvorbu lidem přehledného záznamu, uložení dat a jejich následnou reprezentaci přes ethernet. MCU slouží zejména jako vyrovnávací paměť při komunikaci mezi jednoduše strojem a SBC, obsluhuje pomocné obvody a signalizuje základní stavy zařízení pomocí panelu LED diod. Pomocné obvody slouží k měření napětí, proudu a teplot na akumulátoru záložního zdroje elektrické energie. Takto koncipované řešení by mělo zajistit dostatečnou spolehlivost zařízení.

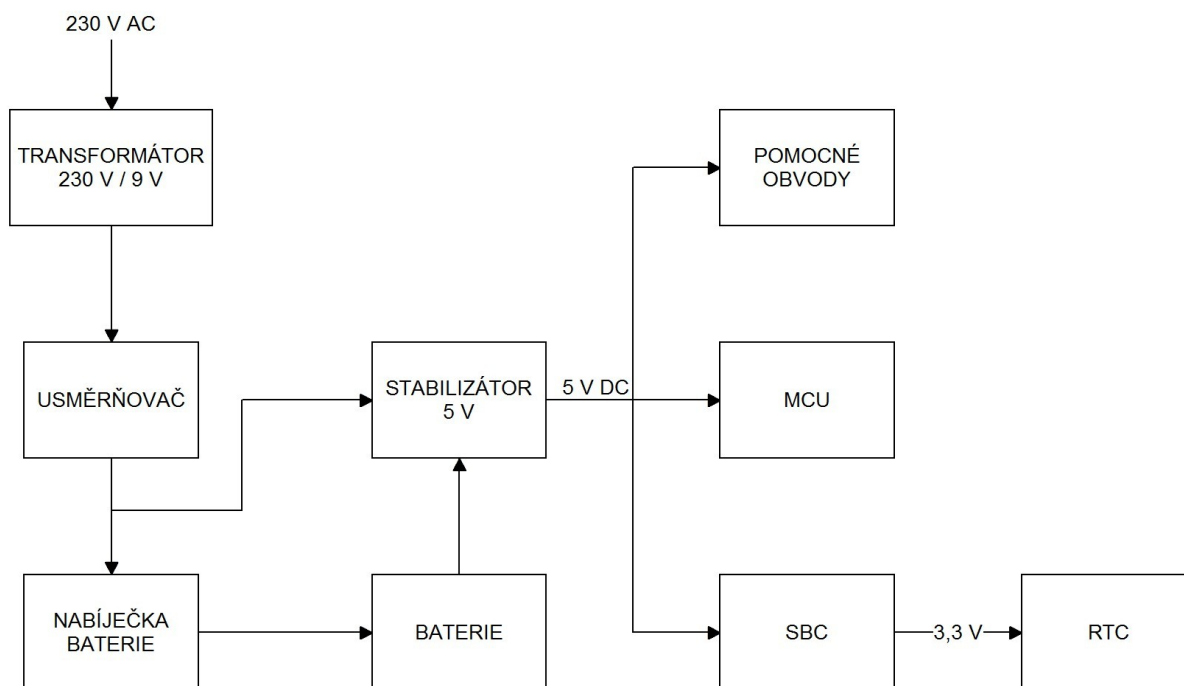


Obr. 1 - Blokové schéma celého zařízení

2.1. NAPÁJENÍ ZAŘÍZENÍ

Navrhované zařízení bude umístěno přímo v rozvaděči jednocelového stroje, kde je standardně k dispozici připojení na rozvod 230 V AC. Proto bylo rozhodnuto pro koncept napájení znázorněný na obrázku 2. Alternativně je možné zařízení napájet i ze zdroje 12 V DC nebo 12 V AC, který bývá součástí některých jednocelových strojů (tento způsob napájení je popsán níže).

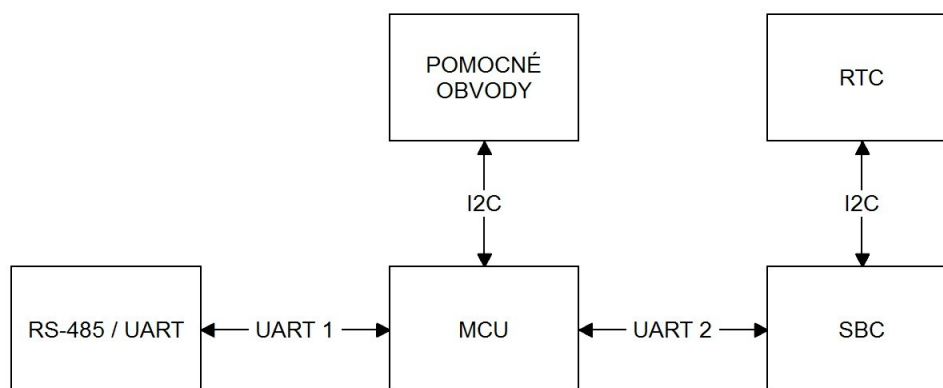
Snížovací transformátor sníží napětí z 230 V na 9 V. Následně je usměrněno a přivedeno na 5V DC/DC měnič a nabíječku baterií, která spolu s akumulátory tvoří jednoduchý záložní zdroj energie. Z větve 5 V DC je napájen MCU, SBC a další pomocné obvody. Interní stabilizovaný zdroj SBC 3,3 V DC napájí RTC obvod. Alternativní způsob napájení předpokládá vynechání snížovacího transformátoru a připojení 12 V DC nebo 12 V AC přímo na usměrňovač.



Obr. 2 - Blokové schéma napájení zařízení

2.2. KOMUNIKAČNÍ SBĚRNICE

Pro správnou funkci zařízení je nutné, aby spolu všechny obvody komunikovaly. Pro zamezení konfliktů při komunikaci a pro zvýšení její spolehlivosti, bylo použito více oddělených rozhraní, viz obrázek 3. Toto řešení zároveň umožňuje přerozdělení priorit jednotlivým sběrnicím a okamžitou nebo alespoň rychlejší obsluhu komunikace mezi jednoúčelovým strojem a SBC.

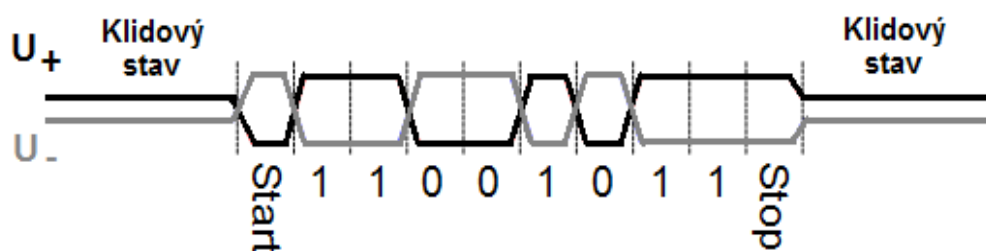


Obr. 3 - Blokové schéma komunikací

Jak je patrné z obrázku 3, sběrnice RS-485 je pomocí převodníku převedena na UART a připojena na MCU. Komunikace mezi MCU a SBC je zajištěna pomocí druhého rozhraní UART. Pomocné obvody jsou s MCU propojeny přes I2C. SBC je přes vlastní I2C sběrnici propojen s RTC obvodem pro uchování času v případě, že dojde k vypnutí zařízení. Níže je popsán základní princip všech použitých komunikačních rozhraní.

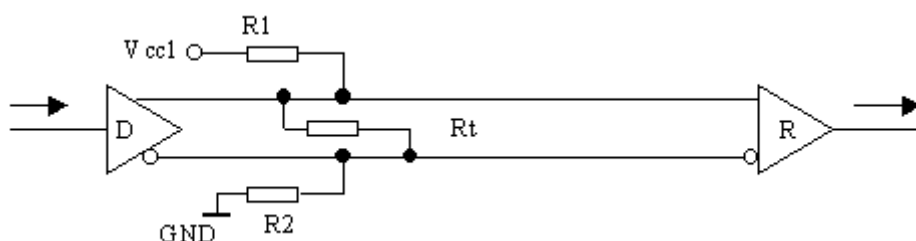
RS-485 [1]

Sběrnice RS-485 se používá pro komunikaci více zařízení, které jsou připojeny na společné signálové vodiče označované jako A a B (příp. U+ a U-). Většina systémů používá při komunikaci po této sběrnici architekturu typu Master-Slave. V tomto případě má každá jednotka Slave svou unikátní adresu a komunikuje pouze tehdy, pokud se na sběrnici objeví požadavek na komunikaci. Zpravidla se tento požadavek skládá z adresy daného Slave zařízení a příkazu, který detailněji specifikuje, co má Slave zařízení provádět. Požadavek generuje zařízení typu Master, což může být řídicí počítač, PLC atd.



Obr. 4 - Časový průběh komunikace na lince RS-485, převzato s úpravami z [7]

Fyzická stránka sběrnice RS-485 se skládá z dvojice kroucených vodičů - tzv. twisted pair, čímž je zaručena základní ochrana proti elektromagnetickému rušení, protože pokud vodiče procházejí rušivým polem, naindukují se do obou vodičů přibližně stejně velké napětí. Stav na sběrnici je následně vyhodnocen z rozdílu napětí mezi vodiči. Konkrétně se vyhodnocuje, na kterém vodiči je záporné a na kterém kladné napětí (zpravidla se používá úroveň +2 V a -2 V), jak je znázorněno na obrázku číslo 4. Proto je důležité definovat klidový stav linky v případě, že žádné zařízení nevysílá. To se provádí pomocí děliče složeného ze tří rezistorů, jak je zobrazeno na obrázku číslo 5. Dalším důležitým aspektem je vhodné zakončení vedení, aby se zamezilo odrazům signálu. V průmyslové praxi je složité přesně impedanci vedení určit, a tak se používají tzv. terminátory, což jsou rezistory s hodnotou odporu několik set ohmů. Vzhledem k nižším komunikačním rychlostem v průmyslu tato nepřesnost nemá na přenos dat žádný vliv.



Obr. 5 - Definice klidového stavu na dvou vodičové lince RS-485, převzato z [1]

Dvou vodičová verze RS-485 umožňuje sice obousměrný přenos dat, ale je nutné řídit směr komunikace. Proto byla vyvinuta i čtyřvodičová verze RS-485, kde jeden pár vodičů slouží pro komunikaci jedním směrem a druhý pár pro komunikaci směrem druhým.

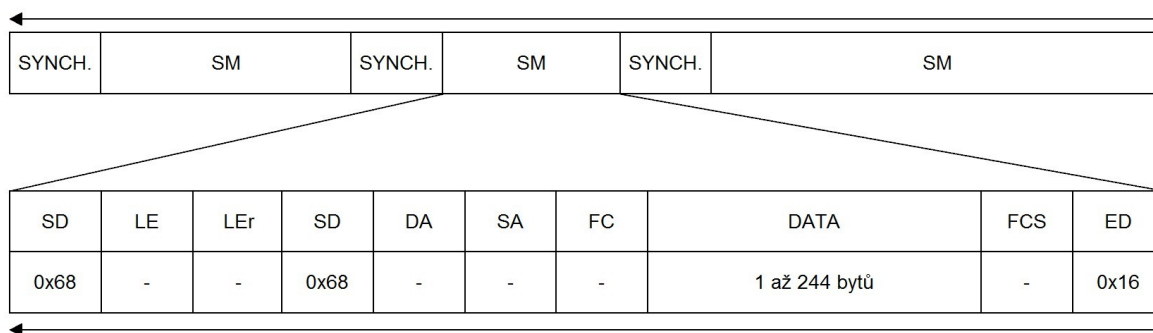
Výhodou RS-485 je, že ji lze použít až do vzdálenosti 1,2 km bez nutnosti použití opakovačů. Čím delší je vzdálenost vedení, tím nižší však musí být i komunikační rychlost, neboť vlivem parazitních kapacit a indukčností vedení dochází k deformaci časového průběhu signálu. Na přenos dat může mít nezanedbatelný vliv i rušení. Nevýhodou RS-485 je zejména fakt, že nejsou standardizované konektory pro připojení ke sběrnici a chaos je také v označování vodičů sběrnice u jednotlivých výrobců zařízení.

Profibus [2]

Profibus je průmyslové komunikační rozhraní, jehož specifikace byly přijaty jako evropská norma EN 50170 v roce 1996. Pro mnou navrhované zařízení má největší význam Profibus DP/FMS, jež pro přenos dat používá právě sběrnici RS-485, ale odstraňuje její hlavní nedostatky (viz výše). Profibus DP/FMS v dnešní době vytlačuje RS-485 v oblasti průmyslové automatizace a proto je vhodné, aby mnou navrhované zařízení podporovalo krom základní RS-485 i tuto komunikaci.

Oproti RS-485 standard Profibus DP/FMS definuje kromě fyzické vrstvy i vrstvu linkovou a aplikační, které dále rozšiřují možnosti sběrnice RS-485 a snižují pravděpodobnost chyb a kolizí při komunikaci. Také řeší předávání řízení komunikace u multi-masterového typu komunikace, kdy je na sběrnici připojeno více zařízení typu Master.

Pro přenos dat se používá stíněná kroucená dvojlinka, jejíž vodiče jsou barevně odlišeny (vodič A – zelená, vodič B- červená), aby nedošlo k jejich záměně, která by znemožnila správnou funkci komunikace. Síť Profibus je rozdělena do segmentů, tedy do úseků zakončenými tzv. terminátory (zpravidla jsou integrované do standardních konektorů). V každém segmentu sítě může být maximálně 32 komunikačních stanic. Pokud je potřeba komunikace většího počtu stanic, je nutné síť rozdělit do více segmentů pomocí tzv. repeaterů – opakovačů.

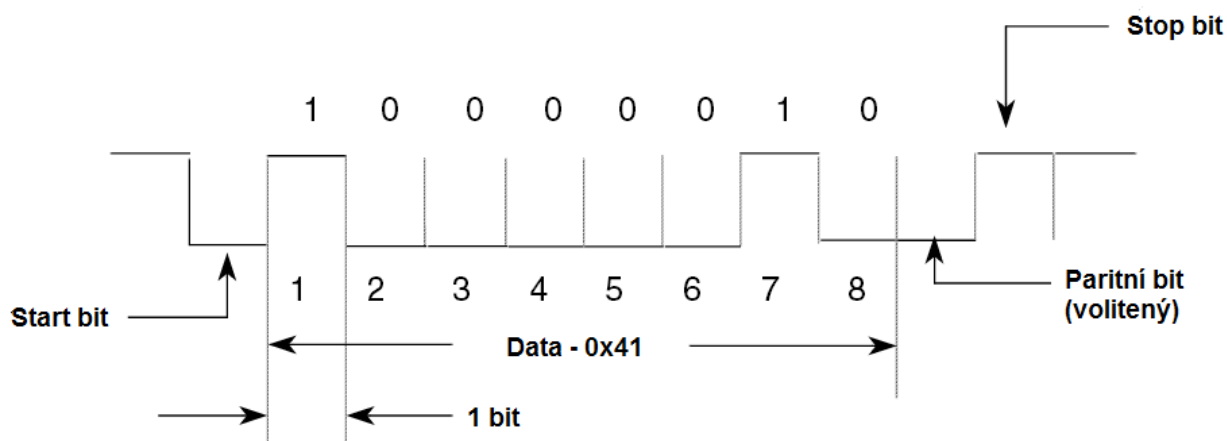


Obr. 6 - Standardní zpráva Profibus DP/FMS [2]

Standardní zpráva Profibus DP/FMS začíná oddělovačem (SD – start delimiter), pokračuje informací o délce zprávy (LE - length), která se kvůli bezpečnému přenosu ještě jednou opakuje (LEr – length repetition). Následuje další oddělovač (SD – start delimiter), adresa zařízení, kterému je zpráva určena (DA – destination address), adresa zařízení, jež zprávu odesílá (SA – source address), a informace o typu zprávy (FC – function code). Poté se odesílají data o délce 1 až 244 bytů, následuje kontrolní součet (FCS – frame checking sequence) a oddělovač (ED – end delimiter). Délkou dat se rozumí počet bytů od bytu DA (včetně) do posledního bytu dat (včetně), tedy bez tzv. hlavičky zprávy (SD, LE, LEr a SD) a bytů FCS a ED. Kontrolní součet je dán sumou hodnot jednotlivých bytů modulo 256. Jednotlivé zprávy posílané po Profibus rozhraní se navíc oddělují synchronizačními časy (SYNCH.) o délce 33 Tbitů. 1 Tbit je definován jako převrácená hodnota nastavené přenosové rychlosti.

UART [3]

UART (universal asynchronous receiver/transmitter) je univerzální asynchronní rozhraní pro přenos dat mezi dvěma zařízeními. Vlastní přenos dat prostřednictvím rozhraní UART se uskutečňuje pomocí dvou vodičů – jedním pro vysílání a druhým pro příjem dat. To zabraňuje možnosti výskytu kolize. V klidu je na obou vodičích hodnota log. 1. Začátek přenosu dat je rozpoznán pomocí poklesu na log. 0 – tzv. start bitem. Po něm následuje 0-8 datových bitů, volitelně paritní bit a zakončení stop bitem, viz obrázek 7. Pro správnou funkci komunikace je důležité, aby obě strany měly nastavenou správnou komunikační rychlost, protože při komunikaci nejsou přenášeny žádné synchronizační impulzy nebo bity a vzorkování příchozích dat se odvozuje pouze od začátku start bitu.



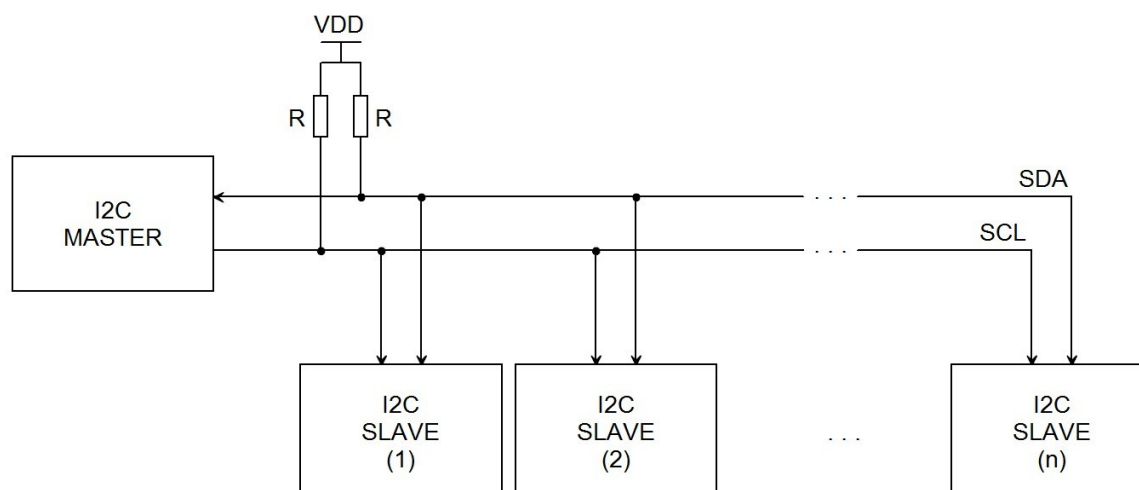
Obr. 7 - Časový průběh komunikace pomocí rozhraní UART, převzato s úpravami z [3]

Výhodou této komunikace je, že její HW (hardwarová) realizace je velmi jednoduchá, protože UART bývá integrován přímo v MCU a přímo jej podporuje i mnoho dalších integrovaných obvodů. Dnes jsou navíc i velmi rozšířené obvody pro převod rozhraní UART na USB (universal serial bus). Pro realizaci komunikace mezi dvěma UART zařízeními, dokonce není potřeba ani žádných externích součástek. Nevýhodou může být, že tuto komunikaci lze spolehlivě používat maximálně na vzdálenosti několika desítek cm.

I2C [4]

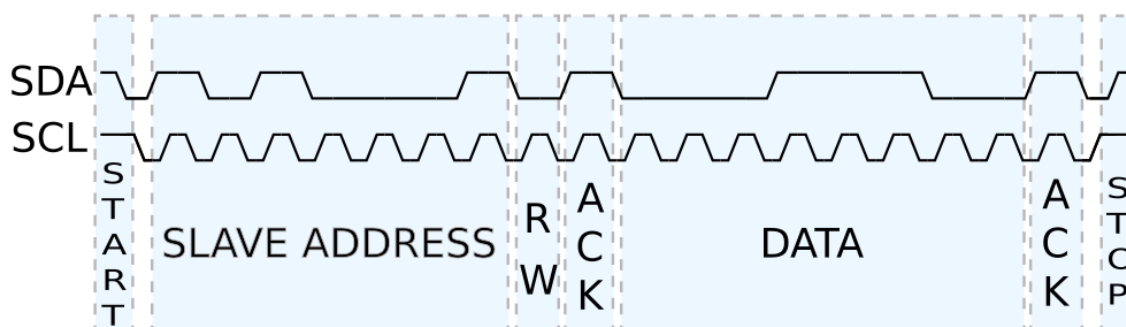
Tato sběrnice se používá pro komunikaci mezi více zařízeními, které jsou připojeny na společné signálové vodiče SDA (serial data) a SCL (serial clock). Vodič SDA slouží pro obousměrný přenos dat a SCL pro přenos synchronizačních impulzů. Opět se zde využívá komunikace založené na architektuře Master-Slave, která již byla popsána u komunikace RS-485.

Zapojení sběrnice je znázorněno na obrázku 8. Důležitou součástí sběrnice I2C jsou dva tzv. pull-up odpory, které definují klidový stav sběrnice. Hodnota těchto dvou odporů není kritická a odvíjí se od nastavené přenosové rychlosti komunikace a délky vedení I2C.



Obr. 8 - Schéma připojení zařízení na I2C sběrnici, překresleno dle [8]

V klidovém stavu je na obou vodičích stav log. 1. Začátek přenosu dat je rozpoznán pomocí start bitu, kdy SCL setrvává v log. 1 a SDA poklesne do log. 0. Následně zařízení Master začne generovat synchronizační impulzy na vodiči SCL a po vodiči SDA se vysílají/přijímají data o délce 8 bitů. Důležitý je fakt, že změna stavu na vodiči SDA je podmíněna tím, že vodič SCL musí být v log. 0 (vzorkování dat SDA se provádí při SCL v log. 1). Po odeslání dat následuje potvrzovací bit – tzv. acknowledge (ACK), který generuje zařízení, jež data přijímalo. Pokud přenos proběhl správně, má tento bit hodnotu log. 0, pokud přenos selhal nebo má-li dojít k ukončení přenosu, má tento bit hodnotu log. 1. Po ukončení přenosu následuje stop bit, kdy se SDA změní na log. 1 při SCL v log. 1. Tím se sběrnice dostane do klidového stavu. Důležitou součástí přenosu je adresa Slave zařízení, se kterým Master komunikuje. Skládá se ze 7 (u některých zařízení i z 10) bitů tvořících adresu a R/W bitu, který udává, jestli se bude jednat o zápis nebo čtení.



Obr. 9 - Časový průběh komunikace pomocí rozhraní I2C, převzato s úpravami z [8]

Kolizi na sběrnici I2C je zabráněno tím, že lze začít vysílat pouze v případě, kdy je sběrnice v klidovém stavu. Pokud by však došlo k tomu, že dvě zařízení začnou vysílat ve stejný čas, nebude tento konflikt destruktivní. Destrukci obvodů v případě kolize je zabráněno zapojením vysílačů, které pro přenos dat používají tranzistory s otevřeným kolektorem. Tranzistory uvnitř vysílací části integrovaných obvodů v případě odesílání dat pouze „přizemňují“ sběrnici a proud tekoucí vysílací částí obvodů je omezen externím rezistorem, viz obrázek 8).

Složitější obvody umožňují detekovat vzniklou kolizi na sběrnici. V případě zjištěné kolize okamžitě ukončí vysílání, aby nenarušily již probíhající komunikaci. Vysílání opakují poté, co se sběrnice I2C opět dostane do klidového stavu.

Výhodou I2C je, že se v poslední době velmi rozšířila, a tak je dnes taktéž zakomponována do mnohých integrovaných obvodů. Většina dnes dostupných MCU přímo v sobě mají integrované řešení pro zařízení typu Slave i Master. Nevýhodou I2C může být, že tuto komunikaci lze spolehlivě používat maximálně na vzdálenosti několika desítek cm.

3. NÁVRH ZAŘÍZENÍ

Při návrhu prototypu zařízení se předpokládalo rozdělení do modulů, což by usnadnilo případné opravy, pokud by při navrhování zařízení došlo chybám. V následující kapitole bude popsán výběr, návrh a funkce jednotlivých modulů. Schéma i podklady pro výrobu byly vytvořeny v programu Eagle ve verzi 7.4.0 od společnosti Cad Soft Computer GmbH.

3.1. JEDNODESKOVÝ POČÍTAČ

SBC jsou malé počítače realizované na jednom plošném spoji, který nese všechny potřebné komponenty. Základem jednodeskových počítačů je ve většině případů procesor na architektuře RISC, doplněný operační pamětí RAM, jejíž velikost se dnes u běžně dostupných SBC pohybuje od stovek MB do jednotek GB. Dále bývají vybaveny adaptérem pro paměťové karty, na kterých je uložen operační systém a data. Většina SBC nemá možnost připojení pevného disku, zejména z důvodu vyššího odběru standardních pevných disků. Mnoho modelů SBC má integrovanou i grafickou kartu. Výhodou SBC je možnost jejich rozšiřování pomocí GPIO (general purpose input/output) portů, které jsou vyvedeny přímo z procesoru, a tak je bez dalších převodníků možná např. komunikace přes UART, I2C nebo lze přímo pomocí GPIO portu řídit některé procesy. Spolu s faktem, že mají menší spotřebu než běžné počítače, není žádným překvapením, že je lze nalézt na pozicích méně náročných multimediálních center, malých serverů, v domácí automatizaci atd. Jako operační systém většina těchto zařízení používá různé linuxové distribuce. Dnes lze SBC pořídit od přibližně 500 Kč, ale špičkové modely často svou cenou přesáhnou i částku 10 000 Kč.

V tabulce 1 je stručný přehled dnes běžně dostupných SBC, jejichž cena nepřekračuje 80 USD (přibližně 2 000 Kč). Toto cenové omezení jsem zvolil proto, aby celkové výrobní náklady mnou navrhovaného zařízení nepřekročily cenu nejlevnějších průmyslových počítačů, které by bylo možné použít pro tuto aplikaci. V tabulce nejsou uvedeny SBC odvozené od Raspberry Pi, např. Banana Pi, Orange Pi, jež pouze doplňují základní platformu Raspberry Pi o některé nové vlastnosti, jako je např. přítomnost WiFi, bluetooth, SATA konektoru, atd.

Tab. 1 - Základní přehled dostupných jednodeskových počítačů s cenou do 80 USD

	Raspberry Pi 2 Model B	BeagleBone Black	Odroid C1	DragonBoard 410 C	Olinuxino A10 LIME
Procesor	Broadcom BCM2836	TI Sitara AM3358	Amlogic S805	Qualcomm Snapdragon 410	Allwinner A10
Jádro	4 x Cortex A7	1x Cortex A8	4x Cortex A5	4x Cortex A53	1x Cortex A8
Frekvence	900 Mhz	1 Ghz	1,5 Ghz	1,2 Ghz	1 Ghz
Grafický čip	Broadcom VideoCore IV	PowerVR SGX 530	Mali 450	Adreno 306	Mali 400
RAM	1 GB	512 MB	1 GB	1 GB	512 MB
Interní paměť	-	4 GB	-	8 GB	-
Externí paměť	microSD	microSD	microSD, eMMC	microSD	microSD
Video výstup	HDMI kompozitní video	HDMI	HDMI	HDMI	HDMI
Ethernet	100 Mbit/s	100 Mbit/s	1 GB/s	-	100 Mbit/s
Konektivita	4 x USB 2.0 camera input 40 pin GPIO	2 x USB 2.0 65 pin GPIO	5 x USB 2.0 Console port 40 pin GPIO	3 x USB 2.0 Wifi, Bluetooth camera input 40 low speed GPIO 60 high speed GPIO	3 x USB 2.0 160 GPIO
Cena	35 USD	55 USD	35 USD	75 USD	25 USD

SBC v mnou navrhovaném zařízení bude do grafické podoby zpracovávat data přijímaná z rozhraní UART a dále bude hostovat malý server, odkud budou data přístupná dalším uživatelům. Z toho vyplývají vyšší požadavky na HW SBC zajišťující plynulý běh programů, tedy zejména na parametry procesoru a paměti RAM. Při výběru konkrétního modelu bylo nutné přihlídnout i k dalším faktorům, jako je např. dostupnost, cena, stáří daného modelu a v neposlední řadě i zkušenosti ostatních uživatelů, dispozice návodů a popř. i velká a fungující komunita vývojářů a uživatelů, neboť jsem doposud neměl s SBC žádné zkušenosti.

Po zvážení výše zmíněných požadavků bylo rozhodnuto zařízení realizovat s pomocí SBC Raspberry Pi 2 Model B. Tento SBC splňuje všechny výše zmíněné požadavky a dokonce je v podobných aplikacích používán. Výhodou Raspberry Pi je i to, že přímo pro tuto platformu existuje několik ověřených operačních systémů založených na

linuxu. Na jaře roku 2015 se Raspberry Pi 2 stalo i oficiálně podporovaným HW pro běh operačního systému Windows 10 ve verzi určené pro embedded zařízení.

Raspberry Pi 2 Model B [5] [6]

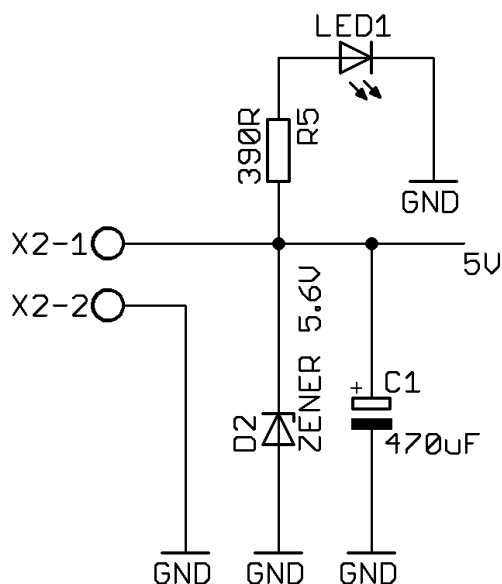
Jako médium pro systém i ukládání dat slouží společná microSD paměťová karta. Životnost dnes běžně dostupných flash pamětí, jež se v paměťových kartách používají, je až 100 000 přepisů. To se může jevit jako velmi vysoká hodnota, ale při špatném zacházení s flash pamětí může dojít k poměrně rychlému selhání paměti. Aby se zamezilo rychlému opotřebování a následnému selhání paměťové karty, je vhodné použít souborový systém bez journalování, tedy bez zapisování podrobných záznamů o právě prováděné činnosti s paměťovým médiem. Journalování má význam hlavně u zařízení s pevnými disky, u nichž může dojít k selhání napájení. To však není tento případ. Proto byl na kartě použit souborový systém ext2. Další omezení zápisů na kartu je možné realizovat tak, že se sbíraná data neukládají na paměťovou kartu okamžitě, ale zapisují se po blocích. Jako paměťové médium byla v rámci vývoje použita paměťová microSD karta třídy 10 s kapacitou 16 GB od výrobce Kingston, ale pro ostrý provoz zařízení se předpokládá její nahrazení vhodným typem průmyslové paměťové karty, čímž d získat větší spolehlivost záznamu dat.

Tab. 2 - Parametry použité paměťové microSD karty [6]

Kapacita paměti	Rychlost		Třída	UHS
	zápisu	čtení		
16 GB	10 MB/s	40 MB/s	10	1

3.2. ZÁKLADNÍ DESKA

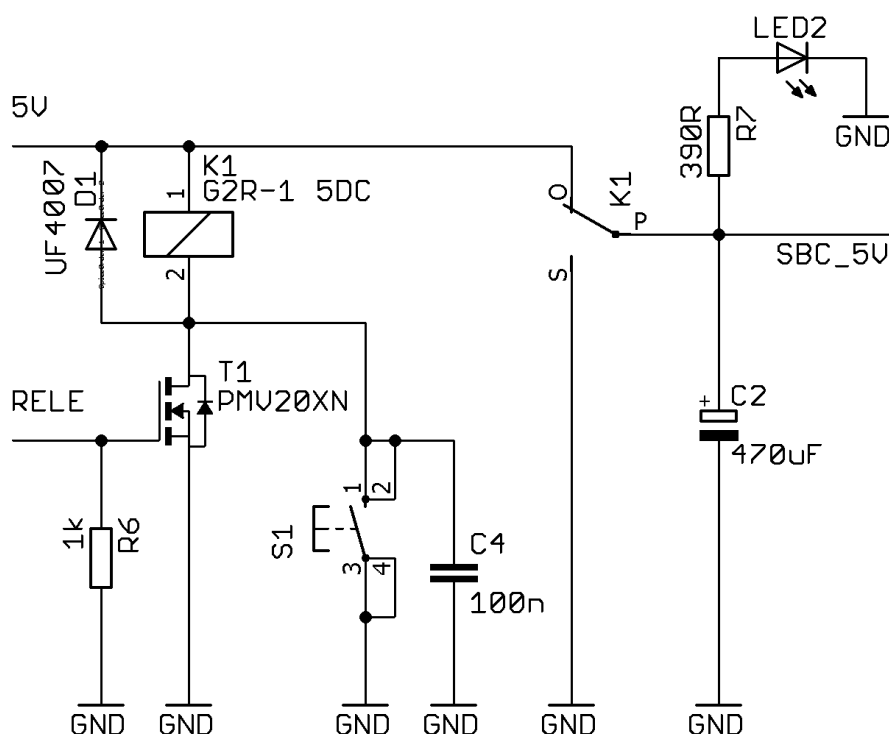
Základní deska ze zdroje rozvádí napájení k jednotlivým modulům a zároveň propojuje všechny komunikační sběrnice s dalšími obvody. Dále přímo na základní desce je integrován převodník RS-485/UART, MCU a RTC obvod pro SBC. Základní deska je doplněna vhodným konektorem pro propojení s SBC Raspberry Pi 2 Model B a konektory pro propojení I2C komunikace a napájení k dílčím pomocným obvodům. Dále je osazena svorkovnicí pro připojení ke zdroji napájení.



Obr. 10 - Ochrana proti přepětí a přepólování napájení

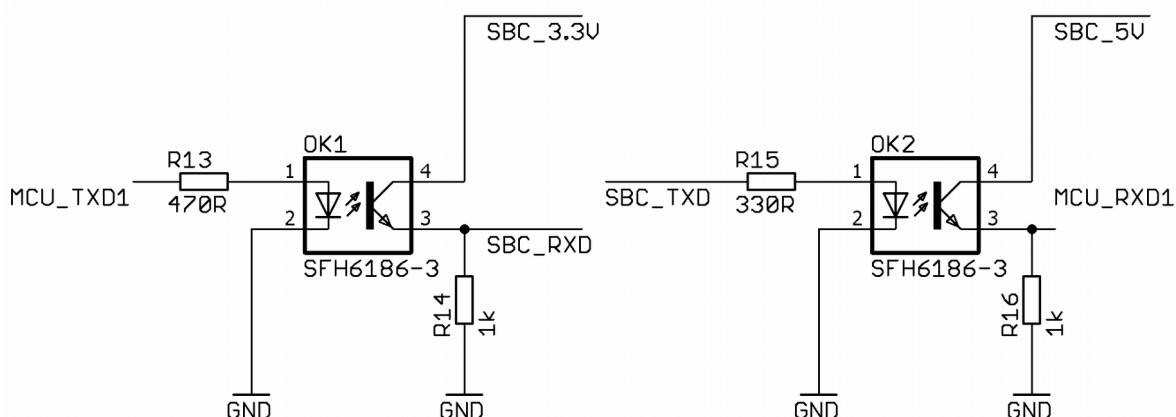
Při návrhu desky bylo potřeba zajistit ochranu proti přepětí a přepólování zdroje, které by mohlo zničit veškerou elektroniku připojenou k základní desce. Ochrana je zařízena Zenerovo diodou D2, která se v případě přepětí otevře a vytvoří mezi konektorem zdroje malou impedanci, jež vybaví trubičkovou pojistku. Ta je součástí modulu zdroje napájení, viz obrázek 13. V případě přepólování zdroje ochrana funguje obdobně, jen s tím rozdílem, že dioda je otevřena v propustném směru. K diodě D2 byl paralelně připojen filtrační kondenzátor C1 a LED dioda LED1 pro signalizaci připojeného napájení. Zapojení je znázorněno na obrázku 10.

Dále bylo nutné umožnit odpojení napájení SBC. Raspberry Pi v případě restartování vyžaduje i odpojení napájení, aby mohlo být opětovně spuštěno. Pro tento účel bylo vybráno relé, jež je spínáno pomocí N-MOSFET tranzistoru T1 (viz obrázek 11). Pro ochranu tranzistoru je paralelně k cívce relé připojena rychlá dioda D1, která zamezí vzniku napěťových špiček. Reset SBC je možné provést buď pomocí MCU nebo pomocí servisního tlačítka S1. Toto řešení zároveň umožňuje odpojit SBC v případě selhání hlavního zdroje a nutnosti vypnutí zařízení do doby, než bude opět obnovena funkce primárního zdroje. Tím lze dosáhnout významného snížení spotřeby zařízení při provozu na baterie.



Obr. 11 - Zapojení relé pro spínání napájení k SBC

Jak již bylo řečeno, součástí základní desky je MCU. Výběr MCU byl podmíněn zejména přítomností interních komunikačních obvodů, neboť byla potřeba dostupnosti jednoho I2C a dvojice nezávislých UART rozhraní. Nakonec byl tuto aplikaci vybrán MCU MC9S08DZ96 od Firmy NXP. MCU předává data z RS-485/UART převodníku pomocí rozhraní UART do SBC (podrobněji viz kapitola 6.1). Dále monitoruje stav zařízení skrze pomocné obvody a obsluhuje některé ochrany (viz kapitoly 3.3., 3.4., 5.1.). Tento typ MCU je zároveň vybaven vnitřní programovatelnou EEPROM pamětí o velikosti 2 kB, což v případě potřeby umožňuje uložit nezpracovaná data před vypnutím zařízení a dokončit jejich zpracování až po opětovném připojení napájení. MCU byl doplněn externím krystalem 16MHz, protože časování odvozené od externího krystalu je přesnější a teplotně nezávislé, na rozdíl od časování odvozeného od interního RC oscilátoru MCU. Tím se lze vyvarovat drobným změnám komunikačních rychlostí, ke kterým by mohlo dojít vlivem teplotního driftu interního oscilátoru. To by mohlo způsobit problémy u komunikací, které předpokládají pevně nastavenou komunikační rychlost, v tomto případě u rozhraní UART.



Obr. 12 - Napěťový posun rozhraní UART

Vzhledem k tomu, že Raspberry PI má 3,3 V vstupy i výstupy, bylo nutné posunout napěťové úrovně rozhraní UART mezi MCU a SBC. Mnou navržené řešení je znázorněno na obrázku 12. Napěťový posun byl proveden pomocí dvojice optočlenů. Optočlen OK1 posouvá napěťovou úroveň z 5 V na 3,3 V, čili ve směru komunikace MCU → SBC, a naopak OK2 posouvá napěťovou úroveň ze 3,3 V na 5 V, tedy ve směru komunikace SBC → MCU. Rychlost spínání optočlenů je kritická pro správnou funkci tohoto řešení. S použitými optočleny SFH6186 lze spolehlivě přenášet data až rychlostí 9 600 Baudů. Výhodou tohoto řešení je galvanické oddělení GPIO brány SBC od základní desky, čímž lze v některých případech zabránit zničení SBC. Nevýhodou je omezení maximální komunikační rychlosti.

Jako převodník RS-485/UART byl zvolen IO SN65HVD117 od firmy Texas Instruments, jehož zapojení přímo vychází z katalogu výrobce [8]. Obdobná je situace i u RTC obvodu BQ3200DR od téhož výrobce [9]. Schéma modulu je v příloze této práce a na přiloženém CD, kde lze dále nalézt i všechny soubory nutné pro výrobu DPS.

3.3. NAPÁJENÍ

Zdroj napájení dodává elektrickou energii do celého zařízení. Rozhodl jsem se jej rozdělit do dvou modulů. První modul obsahuje DC/DC měnič napětí a nabíječ akumulátorů, druhý obsahuje akumulátory a prvky zajišťující jejich ochranu. Mnou konstruované zařízení bude napájené ze síťového rozvodu 230 V, a tak byl do zařízení implementován napájecí snižovací transformátor 230 V AC / 9 V AC s výkonem 12 VA TS12/013 od výrobce Indel.

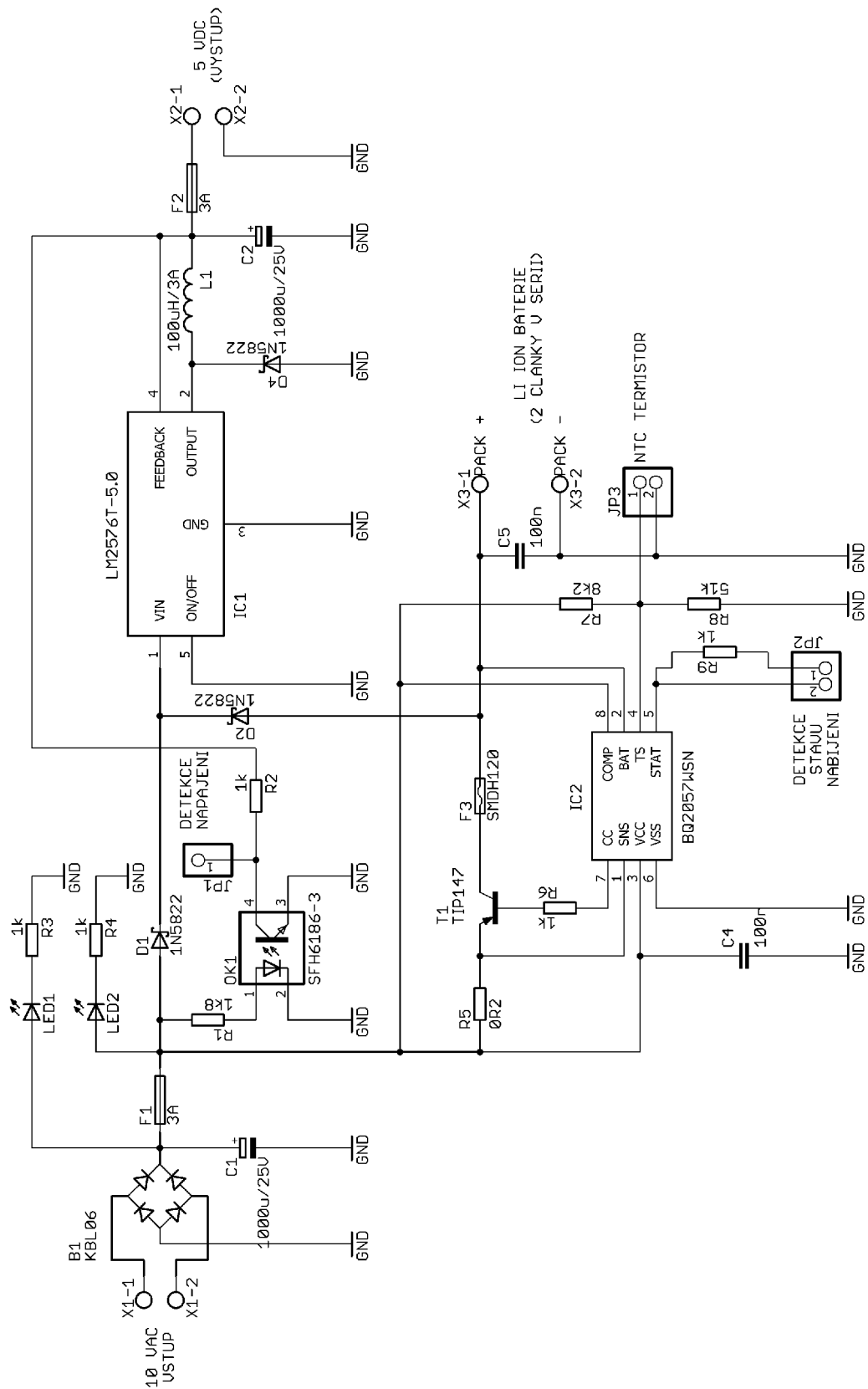
Při návrhu zdroje zařízení jsem nejprve volil použitý typ akumulátoru elektrické energie. Pro výhodné vlastnosti (velká kapacita, velké trvalé vybíjecí proudy, malý paměťový efekt, velmi malé samovybíjení) jsou v zařízení použity Li-Ion články. Protože bylo nutné získat dostatečně velké napětí baterie pro 5V stabilizátor, jsou v modulu s bateriemi zapojeny dva Li-Ion články v sérii.

Modul DC/DC měniče a nabíječe akumulátorů

Vzhledem k potřebě napájet zařízení z baterií při výpadku primárního zdroje elektrické energie bylo nutné, aby obvod zajišťující snížení napětí z baterií na 5 V dosahoval vysoké účinnosti. Tento požadavek není splněn u lineárních stabilizátorů, které přeměňují příliš mnoho energie na teplo a dosahují tak nízké účinnosti. Proto byl použit spínaný DC/DC měnič napětí LM2576T-5.0 od výrobce Texas Instruments, který na výstupu stabilizuje napětí 5 V a je schopen dodat trvalý proud až 3 A. Výhodou tohoto měniče je, že krom řídicí logiky integruje i výkonový spínací tranzistor do jednoho pouzdra. Proto pro jeho funkci je nezbytné jen minimální množství externích součástek. Zapojení stabilizátoru přímo vychází z katalogu výrobce [10]. Zapojení celého modulu je na obrázku 13. Kompletní zapojení modulu včetně souborů pro výrobu DPS lze nalézt na příloženém CD.

Přepnutí na napájení z baterií je provedeno pomocí diody D2, která je při napájení ze sítě polarizována v závěrném směru. V případě poklesu napětí v síťové části obvodu pod hranici napětí baterií se dioda otevře. Jako dioda byla zvolena Schottkyho dioda 1N5822, neboť dosahuje menšího prahového napětí i úbytku napětí v propustném směru než běžné usměrňovací diody (dle katalogu výrobce se na ní při procházejícím proudě 0,3 A vytvoří úbytek napětí 0,525 V).

Je důležité, aby zařízení dokázalo zjistit, zda je napájeno z hlavního zdroje nebo z baterií a podle této informace rozhodlo o vypnutí SBC. Funkci detektoru napájení zastává jednoduchý obvod realizovaný pomocí optočlenu OK1. V případě funkce hlavního zdroje napětí je napájena interní LED dioda a sepnut interní tranzistor (na výstupu je log. 0). V případě napájení z baterií není interní LED dioda připojena ke zdroji a tedy není sepnut interní tranzistor (na výstupu je log. 1). Vyhodnocení stavu provádí MCU, viz kapitola 6.1.



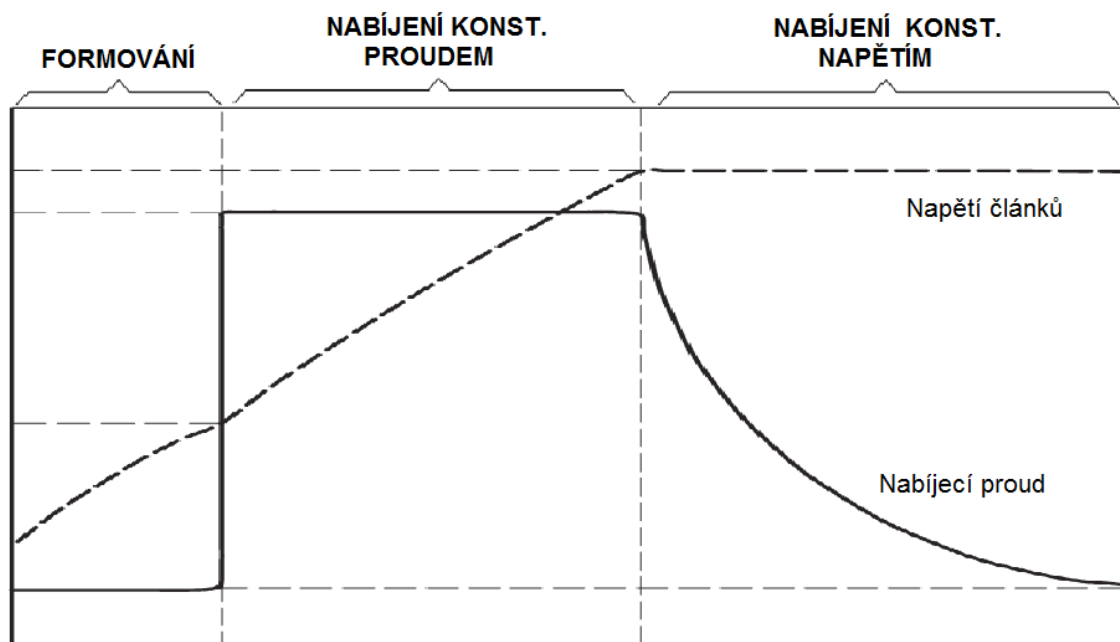
Obr. 13 - Zapojení modulu 5V zdroje a nabíječe akumulátorů

Jako nabíječ akumulátorů byl zvolen integrovaný obvod BQ2057WSN od výrobce Texas Instruments, což je jednoduchá lineární nabíječka určená pro nabíjení dvou článků zapojených v sérii. Zapojení vychází z katalogového, liší se pouze použitým typem regulačního tranzistoru. Na pozici T1 byl použit NPN tranzistor BDX54C. Obvod BQ2057WSN při nabíjení měří teplotu baterie pomocí externího NTC termistoru připojeného přes konektor JP3. V případě překročení nastavené hodnoty teploty ukončí nabíjení a pokračuje až po poklesu teploty pod zvolenou mez. Rezistory pro nastavení rozhodovací úrovně lze určit ze vztahů 1 a 2, kde R_{TH} značí odpor zahřátého termistoru a R_{TC} chladného termistoru. [11]

$$R_7 = \frac{5 * R_{TH} * R_{TC}}{3 * (R_{TH} - R_{TC})} \quad (1)$$

$$R_8 = \frac{5 * R_{TH} * R_{TC}}{2 * R_{TC} - 7 * R_{TH}} \quad (2)$$

Rozhodovací úrovně pro teplotu byly zvoleny na 60°C a 35°. Pro použitý termistor NTCLE100E3103JB0 byly vypočteny hodnoty $R_7 = 8,2 \text{ k}\Omega$ a $R_8 = 51 \text{ k}\Omega$.



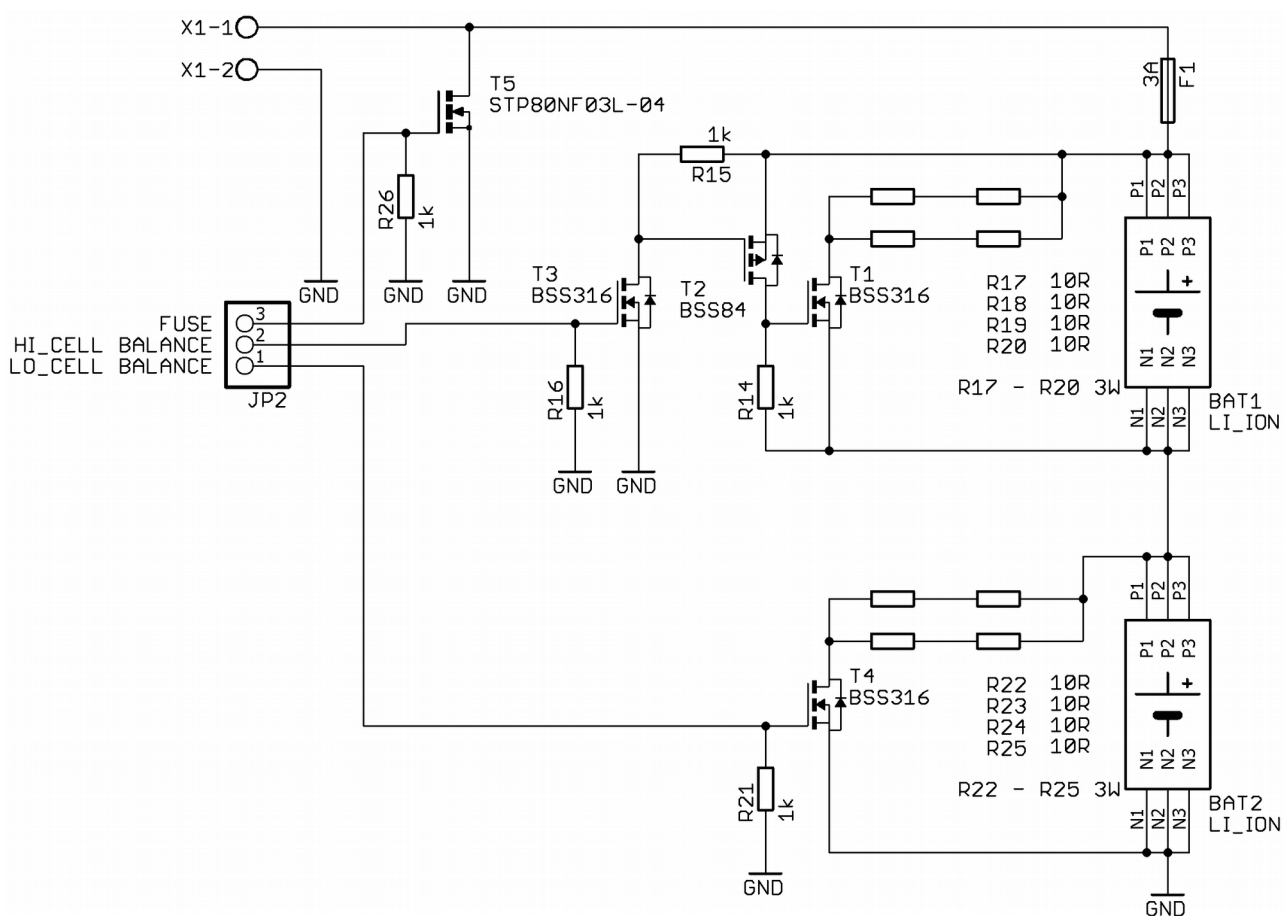
Obr. 14 - Průběh nabíjení Li-ion článků, převzato s úpravami z [11]

Nabíjení článků se skládá ze tří kroků (viz obrázek 14). Nabíjení začíná tzv. formováním, kdy se vybité články nabíjejí velmi malým proudem, dokud jejich napětí nevzroste nad danou mez. Pokud formování trvá příliš dlouho, je nabíjený článek vadný a nabíjení se ukončí. Druhý krok nabíjení se označuje jako nabíjení konstantním proudem. V této fázi se článek nabíjí nastaveným nabíjecím proudem až k hodnotě blízké konečnému nabíjecímu napětí. Nabíjení končí třetí fází označovanou jako nabíjení konstantním napětím, kdy se postupně snižuje nabíjecí proud, dokud neklesne k přibližně 70 mA. Poté se nabíjení ukončí. Opětovné nabíjení se zahájí, pokud napětí článku poklesne o 200 mV (tedy na 4 V).

O průběhu nabíjení obvod informuje pomocí třístavového výstupu STAT. Je-li na výstupu STAT napětí blízké napájecímu, nabíječka je aktivní, tedy dochází k formování článků nebo k jejich nabíjení. Bude-li na výstupu STAT napětí blízké 0 V, bylo nabíjení článků úspěšně dokončeno. Pokud dojde k chybě při nabíjení, je tento stav signalizován přepnutím výstupu STAT do stavu vysoké impedance. Chyba při nabíjení může být způsobena překročením dovolené teploty článků nebo poklesem napájecího napětí nabíječky pod úroveň napětí na baterii.

Modul s Li-Ion baterií

Vzhledem k tomu, že pro napájení při poruše primárního zdroje elektrické energie byly zvoleny Li-Ion články, je nutné zajistit jejich základní ochranu při nabíjení a vybíjení. Li-Ion články poškozuje přebíjení (nad 4,2 V na jeden článek), kdy dojde k chemické reakci, která uvnitř článků vytváří plyny. Vzniklé plyny mohou vybavit tlakovou pojistku uvnitř článku a článek se znehodnotí, v horším případě ale může dojít až k roztržení článku. To může způsobit požár, protože uvolněné lithium ze článku začne reagovat se vzdušnou vlhkostí. Při této reakci dochází k rozkladu vodních par na vodík a kyslík, navíc je doprovází vznik velkého tepla. Li-Ion články dále poškozuje podvybití (pod 2,5 V na jeden článek) nebo déle trvající zkrat. Provozní teplota Li-Ion článků by neměla překročit hranici 60 °C. Pro zajištění plné ochrany baterií a zabránění jejich poškození, zničení a v krajním případě i požáru, je tedy nutné monitorovat proud tekoucí skrze baterie, napětí na jednotlivých člancích a teploty článků. [12]



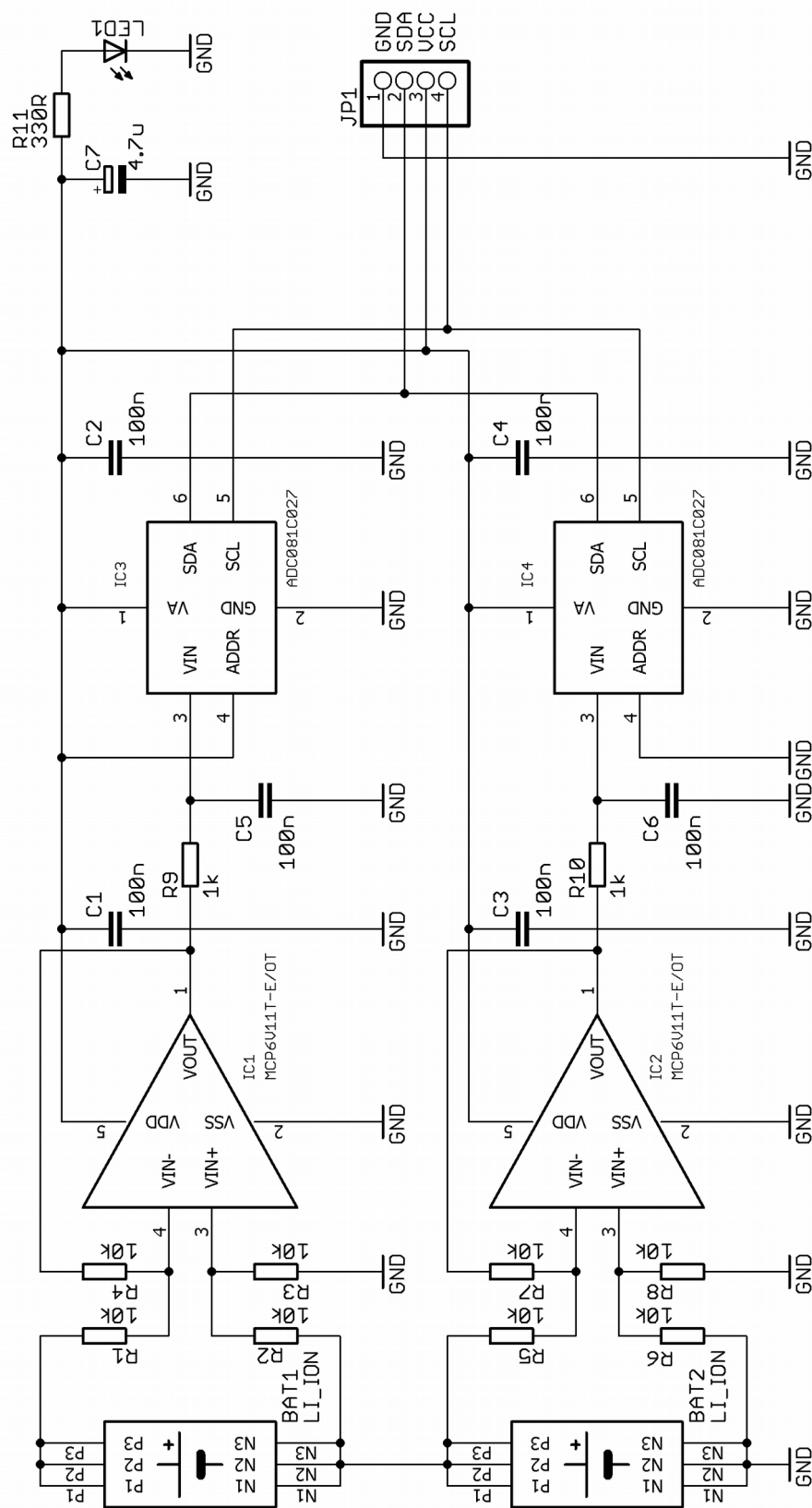
Obr. 15 - Zapojení modulu s baterií (část balancování a nouzového odpojení článků)

Ochrana článků je zajištěna jejich nouzovým odpojením, které se provede sepnutím tranzistoru T5, čímž se vybaví trubičková pojistka F1 (viz obrázek 15). K nouzovému odpojení dojde při přebití některého z článků, přehřátí článků nebo pokud se budou články nabíjet nebo vybíjet příliš velkým proudem.

Jako doplňková ochrana je použito balancování článků. Balancování zajišťuje, aby oba články měly stejnou velikost napětí. V případě, že by oba články neměly stejné napětí, hrozí, že při nabíjení baterie dojde k přebití článku a jeho destrukci, protože nabíječka měří napětí na celé baterii, nikoliv na jednotlivých člancích. (pozn. U mnou navrhovaného zařízení by vlivem ochrany nouzovým odpojením ke zničení článků a potažmo celého zařízení dojít nemělo, protože by se odpojila celá baterie od nabíječky. Tím by se však ztratila možnost záložního napájení, dokud by oba články a pojistka F1 nebyly vyměněny).

Balancování nižšího článku je zajištěno pomocí tranzistoru T4, který bude při sepnutí mařit energii z článku na sériově-paralelní kombinaci rezistorů R22 až R25 o celkovém odporu 10Ω . Balancování vyššího článku je zajištěno tranzistorem T1, který při sepnutí bude taktéž mařit energii na sériově-paralelní kombinaci rezistorů R17 až R20 o celkovém odporu 10Ω . Vzhledem k velikosti napětí U_{GS} je problém sepnutí tranzistoru T1 přímo 5V výstupem MCU, a tak se jeho sepnutí provádí pomocí P-MOS tranzistoru T2, který dokáže sepnout tranzistor T1, a N-MOS tranzistoru T3, který lze sepnout přímo 5V výstupem z MCU.

Měření napětí na článcích je prováděno pomocí dvou přesných rail-to-rail operačních zesilovačů MCP6V11T-E/OT od firmy Microchip a AD převodníku v integrovaném obvodu ADC081C027 od firmy Texas instruments. Použitý AD převodník pracuje na principu postupné aproximace a dosahuje rozlišení až 8 bitů, což při napájecím napětí 5V odpovídá přibližně 0,02 V. Takové rozlišení je dostatečné pro zajištění základní ochrany Li-Ion článků i jejich balancování. Operační zesilovače jsou zapojeny jako diferenciální zesilovače a měří napětí na jednotlivých článcích. Mezi výstup operačního zesilovače a vstup AD převodníku byl zapojen jednoduchý RC filtr typu dolní propust, který eliminuje vliv rušení od spínaného zdroje, jež by mohlo způsobit kolísání naměřené hodnoty napětí na výstupu operačního zesilovače. Schéma zapojení části měření je znázorněno na obrázku 16. Způsob výpočtu a volba rezistorů nutných pro správnou funkci diferenciálního je naznačen na straně 25 (R1 až R8).



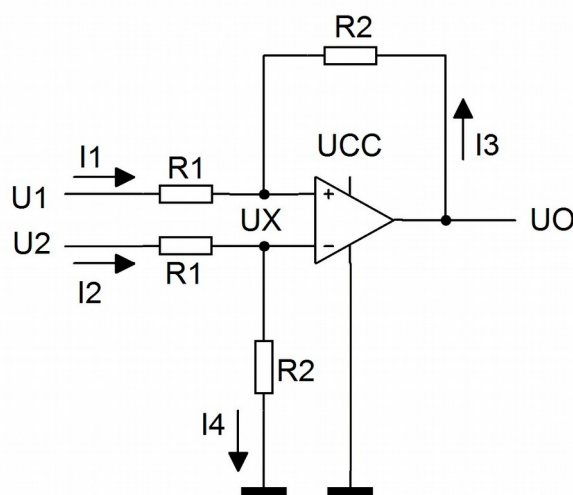
Obr. 16 - Zapojení modulu s baterií (část měření napětí)

Pro diferenciální zesilovač znázorněný na obrázku 17 lze vypočítat velikost výstupního napětí U_0 pomocí Kirchhoffových zákonů. Průběh samotného výpočtu znázorňují vztahy 3 až 5.

$$U_x = U_2 * \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (3)$$

$$i_1 = -i_3 \rightarrow \frac{U_1 - U_2 * \frac{R_2}{R_1 + R_2}}{R_1} = - \frac{U_0 - U_2 * \frac{R_2}{R_1 + R_2}}{R_2} \quad (4)$$

$$U_0 = U_2 * \frac{R_2}{R_1} - U_1 * \frac{R_2}{R_1} \quad (5)$$



Obr. 17 - Zapojení diferenciálního zesilovače pro měření napětí (pro výpočet)

Vzhledem k mezím, v nichž se pohybuje napětí článků (0 až 4,2 V), je vhodné zvolit rezistory s takovým odporem, aby nedošlo k zesílení nebo zeslabení měřeného napětí (tedy $U_1 - U_2 = U_0$, což je splněno pokud $R_1 = R_2$), ale ani k přílišnému zatěžování baterií a tedy k jejich vybíjení. Proto byly pro měření zvoleny přesné SMD rezistory s výrobní tolerancí 1 % a jmenovitým odporem 10 k Ω . Schéma modulu je v příloze této práce a na přiloženém CD, kde lze navíc nalézt i všechny soubory nutné pro výrobu DPS.

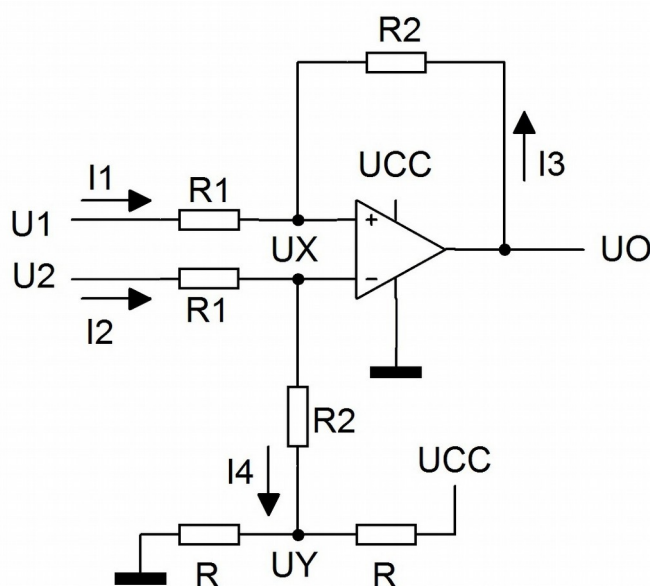
Jak již bylo zmíněno výše, výstupní napětí diferenciálního zesilovače se přivádí na vstup AD převodníku, který jej převede na osmibitovou informaci. Změřenou hodnotu napětí lze poté vypočítat pomocí vztahu 6, resp. po dosazení hodnot ze vztahu 7.

$$U_{\text{ČLÁNKU}} = \frac{U_{CC}}{2^{\text{ROZLIŠENÍ}} - 1} * \text{BYTE}_{(\text{DEC})} \quad (6)$$

$$U_{\text{ČLÁNKU}} = 0,0196 * \text{BYTE}_{(\text{DEC})} \quad (7)$$

$U_{\text{ČLÁNKU}}$ představuje napětí na jednom článku baterie, U_{CC} napájecí napětí AD převodníku, v tomto případě 5V, ROZLIŠENÍ nastavené rozlišení AD převodníku, v tomto případě 8 bitů, a BYTE změřenou hodnotu AD převodníkem vyjádřenou v desítkové soustavě.

Modul pro měření proudu tekoucího skrz baterie



Obr. 18 - Zapojení diferenciálního zesilovače pro měření proudu (pro výpočet)

Měření proudu je převedeno na měření úbytku napětí na známém rezistoru. Jako měřicí rezistor byl zvolen rezistor se jmenovitou hodnotou odporu $R = 0,1 \Omega$, který ani při předpokládaném odběru proudu 1 A nezpůsobí významný úbytek proudu, jež by již znemožnil řádnou funkci navrhovaného zařízení. Pro zjištění velikosti protékajícího proudu rezistorem bylo opět využito diferenciálního zesilovače.

Problémem však je, že zapojení na obrázku číslo 17 neumožňuje měřit velikost napětí při obou polaritách protékajícího proudu (tedy proudu tekoucího do baterií při nabíjení nebo tekoucího z baterií při vybíjení) a proto bylo modifikováno, viz obrázek 18. Podobným způsobem jako v předchozím odstavci poté můžeme určit velikost výstupního napětí operačního zesilovače. Postup výpočtu je znázorněn vztahy číslo 8 až 12.

$$i_2 = i_4 \rightarrow \frac{U_2 - U_X}{R_1} = \frac{U_X - U_Y}{R_2} \quad (8)$$

$$U_Y = U_{CC} * \frac{R}{R+R} = \frac{U_{CC}}{2} \quad (9)$$

$$U_X = U_2 * \frac{R_2}{R_1+R_2} + U_Y * \frac{R_1}{R_1+R_2} \quad (10)$$

$$i_1 = -i_3 \rightarrow \frac{U_1 - U_2 * \frac{R_2}{R_1+R_2} - U_Y * \frac{R_1}{R_1+R_2}}{R_1} = - \frac{U_0 - U_2 * \frac{R_2}{R_1+R_2} + U_Y * \frac{R_1}{R_1+R_2}}{R_2} \quad (11)$$

$$U_0 = U_2 * \frac{R_2}{R_1} - U_1 \frac{R_2}{R_1} + U_Y = \frac{R_2}{R_1} (U_2 - U_1) + U_Y \quad (12)$$

Z provedeného výpočtu je patrné, že přivedením poloviny napájecího napětí operačního zesilovače na vstup, posuneme jeho výstupní napětí při nulovém signálu právě do poloviny napájecího napětí. V tomto případě, se bude napětí měřené na měřicím rezistoru přičítat nebo odčítat (podle polarity) od této hodnoty, a tak bude možné měřit proud tekoucí oběma směry. Vzhledem k relativně malé velikosti úbytku na měřicím rezistoru je vhodné měřené napětí zesílit tak, aby se využil celý rozsah operačního zesilovače a tedy i celý měřicí rozsah měřicího AD převodníku. Součástí modulu s bateriemi je přístrojová pojistka se jmenovitou hodnotou 3A. Aby byl snímač proudu schopen změřit i tuto hodnotu včetně rezervy, než stačí pojistka vybavit, byly zvoleny rezistory se jmenovitou hodnotou odporu $R_1 = 2,2 \text{ k}\Omega$ a $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$ a výrobní tolerancí hodnoty jmenovitého odporu 1 %. Jako operační zesilovač byl použit stejně jako u předchozího modulu integrovaný obvod MCP6V11T-E/OT od firmy Microchip a jako AD převodník ADC081C027 od firmy Texas Instruments. Velikost proudu tekoucího přes

měřicí rezistor poté získáme ze vztahu 13, ve kterém lze napětí U_0 vypočítat pomocí vztahu 14.

$$I = \frac{R_1}{R_2 * R_M} * (U_0 - U_Y) \quad (13)$$

$$U_0 = \frac{U_{CC}}{2^{\text{ROZLIŠENÍ}} - 1} * \text{BYTE}_{(DEC)} \quad (14)$$

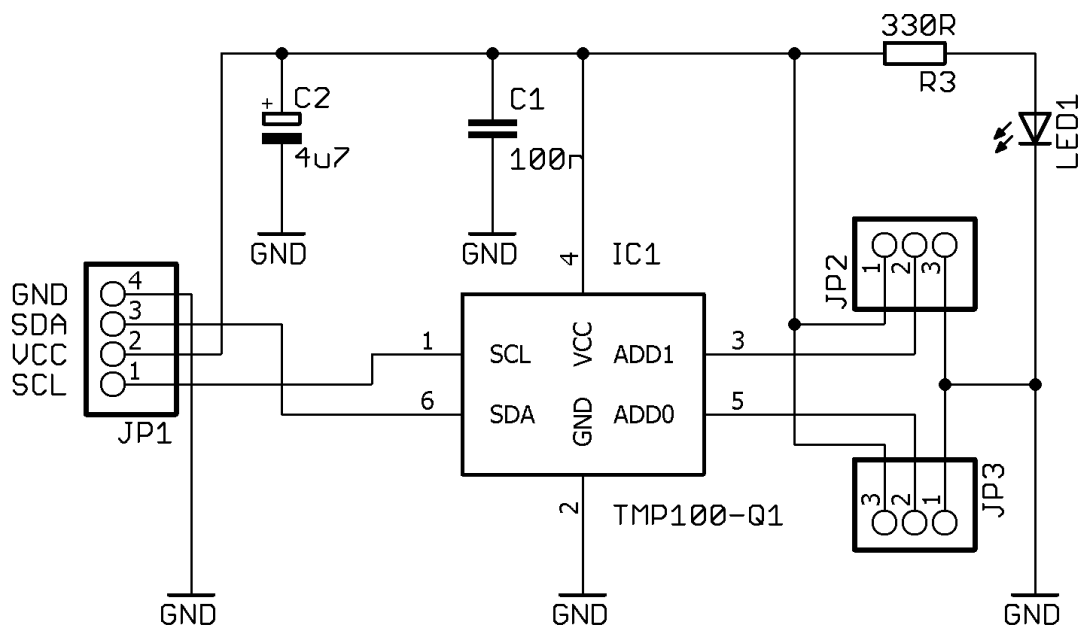
Proud I značí proud tekoucí měřicím rezistorem. Rezistory R_1 a R_2 jsou zapojené u diferenciálního zesilovače a mají hodnotou odporu 2,2 k Ω a 10 k Ω . Rezistor R_M je přesný měřicí rezistor s hodnotou odporu 0,1 Ω . Napětí U_Y slouží pro posun klidového výstupního napětí do poloviny napájecího napětí. Po dosazení lze zpětně vypočítat proud tekoucí měřicím rezistorem ze vztahu číslo 15.

$$I = 0,0431 * \text{BYTE}_{(DEC)} - 5,5 \quad (15)$$

Schéma modulu pro měření proudu vychází z katalogových zapojení použitých integrovaných obvodů. Kompletní zapojení včetně souborů pro výrobu DPS lze nalézt na příloženém CD.

Modul pro měření teploty

Pro monitorování teplot zařízení byl zhotoven modul s integrovaným obvodem TMP101 od firmy Texas Instruments. TMP101 je digitální senzor teploty komunikující skrze I2C rozhraní. Umožňuje měřit teplotu v rozsahu od $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ s přesností $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Zapojení modulu (viz obrázek 19) přímo vychází z katalogu od výrobce [13]. Pro univerzální použití tohoto modulu i v dalších případných aplikacích je možné nastavit I2C adresu obvodu pomocí propojek na konektorech JP2 a JP3. Tento modul je krom sledování teplot baterií využit i ke sledování teploty napájecího transformátoru a modulu se zdrojem a nabíječkou Li-Ion článků. Kompletní zapojení modulu včetně souborů pro výrobu DPS lze nalézt na příloženém CD



Obr. 19 - Zapojení modulu pro měření teploty

4. OŽIVOVÁNÍ ZAŘÍZENÍ

Po osazení modulů bylo nutné vyzkoušet jejich funkčnost. Aby se zamezilo možnosti poškození nebo dokonce zničení celého zařízení, byly oživovány jednotlivé moduly odděleně. Pro napájení v rámci testování byl použit stabilizovaný zdroj s proudovým omezením. Zároveň byl sledován proudový odběr modulů a kontrolován, zda se pohybuje v předpokládaných mezích.

Při oživování modulu a zdroje nabíječky Li-Ion akumulátorů nastal problém s funkčností nabíječky, která nabíjela akumulátory velmi malým proudem (přibližně 30 mA). Tato chyba byla eliminována výměnou regulačního tranzistoru za nový a doplněním blokovačím kondenzátoru ke vstupu napájení obvodu BQ2057WSN. Po výše zmíněných úpravách proud vzrostl na přibližně 400 mA. Dále byl za trubičkovou pojistku F1 přidán transil SMJC12A, čím byla dodatečně vytvořena primitivní přepěťová ochrana.

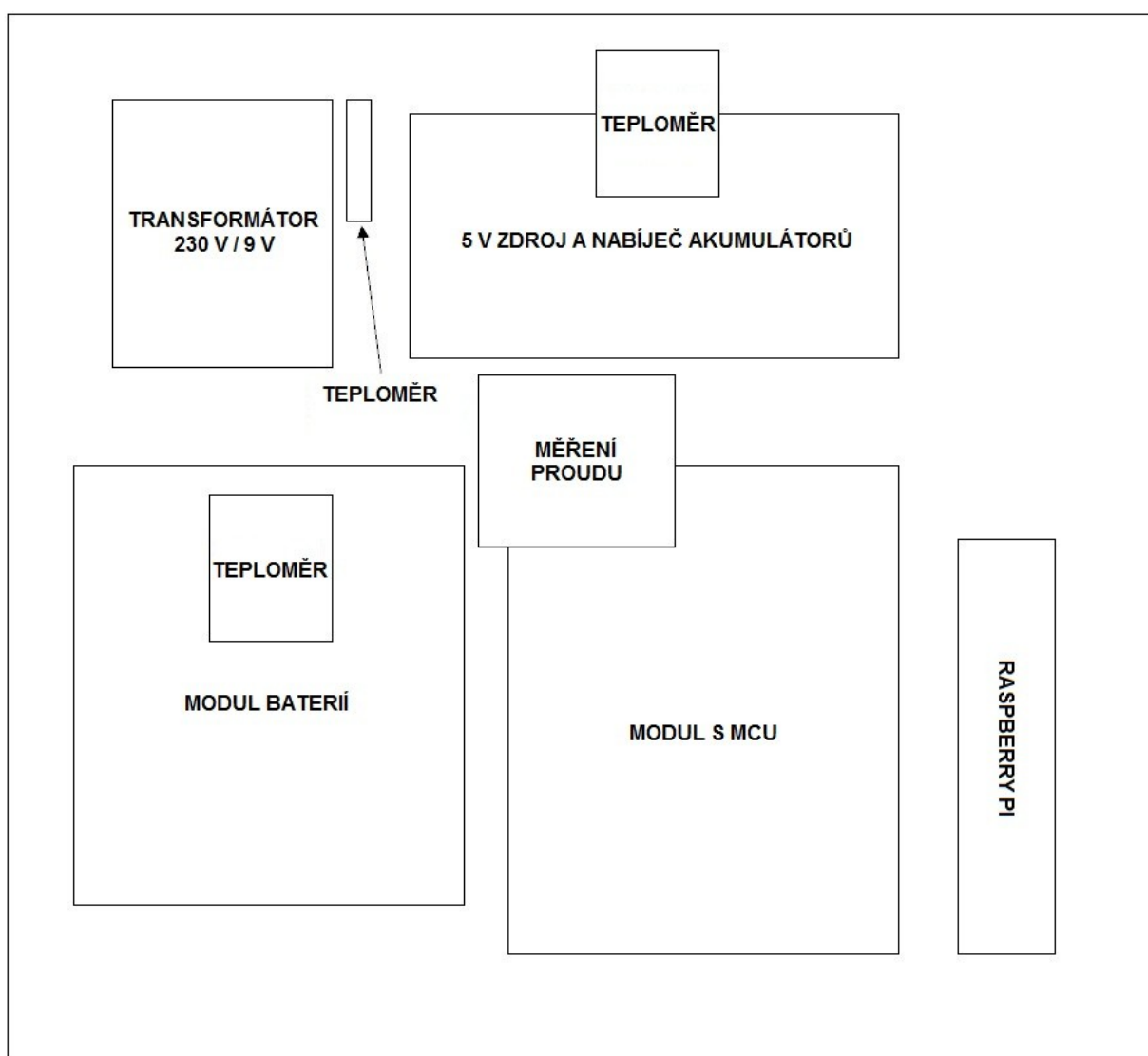
Po osazení modulu s bateriemi bylo zjištěno, že při kreslení schématu došlo k záměně vstupů operačních zesilovačů, jež jsou využívány pro měření napětí baterií. Tato chyba se přenesla i na plošný spoj, kde byla dodatečně opravena, aby mohla být vyzkoušena funkčnost tohoto modulu.

Na modulu základní desky nebyly osazeny součástky R1, R2, R3, neboť jsou součástí Profibus konektoru, a součástky R11, C6 a C7, které v tomto případě nejsou vyžadovány použitým RTC obvodem. Oproti schématu byly dodatečně doplněny některé blokovačí a skupinové kondenzátory, aby se omezilo zvlnění napájení, jež způsobuje spínaný DC/DC měnič.

Při oživování ostatních modulů nebyly zjištěny žádné další problémy nebo nedostatky, a tak se přistoupilo k sestavení kompletního zařízení a jeho programování. Výše zmíněné nedostatky nejsou zahrnuty v dokumentaci přiložené na CD ani ve schématech v příloze této práce, ale budou opraveny v rámci konstrukce další verze zařízení (viz kapitola 7).

5. KONSTRUKCE ZAŘÍZENÍ

Zařízení je realizováno v plastovém šasi o šířce 237mm, hloubce 218 mm a výšce 93 mm, v níž je připevněna pomocí čtveřice šroubů s metrickým závitem M4 o délce 35 mm základna z 2 mm tlustého pozinkovaného plechu. K základně jsou přišroubovány jednotlivé moduly pomocí šroubů s metrickým závitem M3 o délce 15 mm. Moduly pro měření teploty jsou připevněny pomocí závitových tyčí M3 tvarovaných tak, aby senzory byly co nejbližší k měřeným objektům.



Obr. 20 - Plán rozmístění modulů uvnitř šasi

Šasi, v níž je zařízení umístěné, obsahuje na zadní straně ventilační otvory. Proto byl do této části zařízení umístěn napájecí transformátor a modul zdroje a nabíječky, neboť se předpokládá, že právě tyto dva prvky budou největším zdrojem tepla, které je vhodné odvětrat. Základní deska je připojena na ochranný vodič PE pomocí zelenožlutého ochranného vodiče síťového rozvodu a záporný pól zdroje napětí přes upevňovací šrouby jednotlivých modulů. Na přední části šasi je přístup ke konektoru RJ-45 SBC a na zadní straně je přes kabelové průchodky vyveden trojžilovým kabelem síťový přívod 230 V AC a stíněná kroucená dvoulinka pro Profibus DP/FMS.

Takto řešen je pouze první výrobní prototyp z důvodu nutné mechanické ochrany při časté manipulaci, ke které docházelo při odlaďování zařízení. Další zařízení tohoto typu budou umístěny přímo v rozvaděčích jednoúčelových strojů na plechové základně bez krycí plastové krabice, neboť o dostatečnou mechanickou ochranu se postará samotná skříň rozvaděče. Fotografie sestaveného zařízení si lze prohlédnout na přiloženém CD nebo v příloze této práce.

6. SOFTWARE ZAŘÍZENÍ

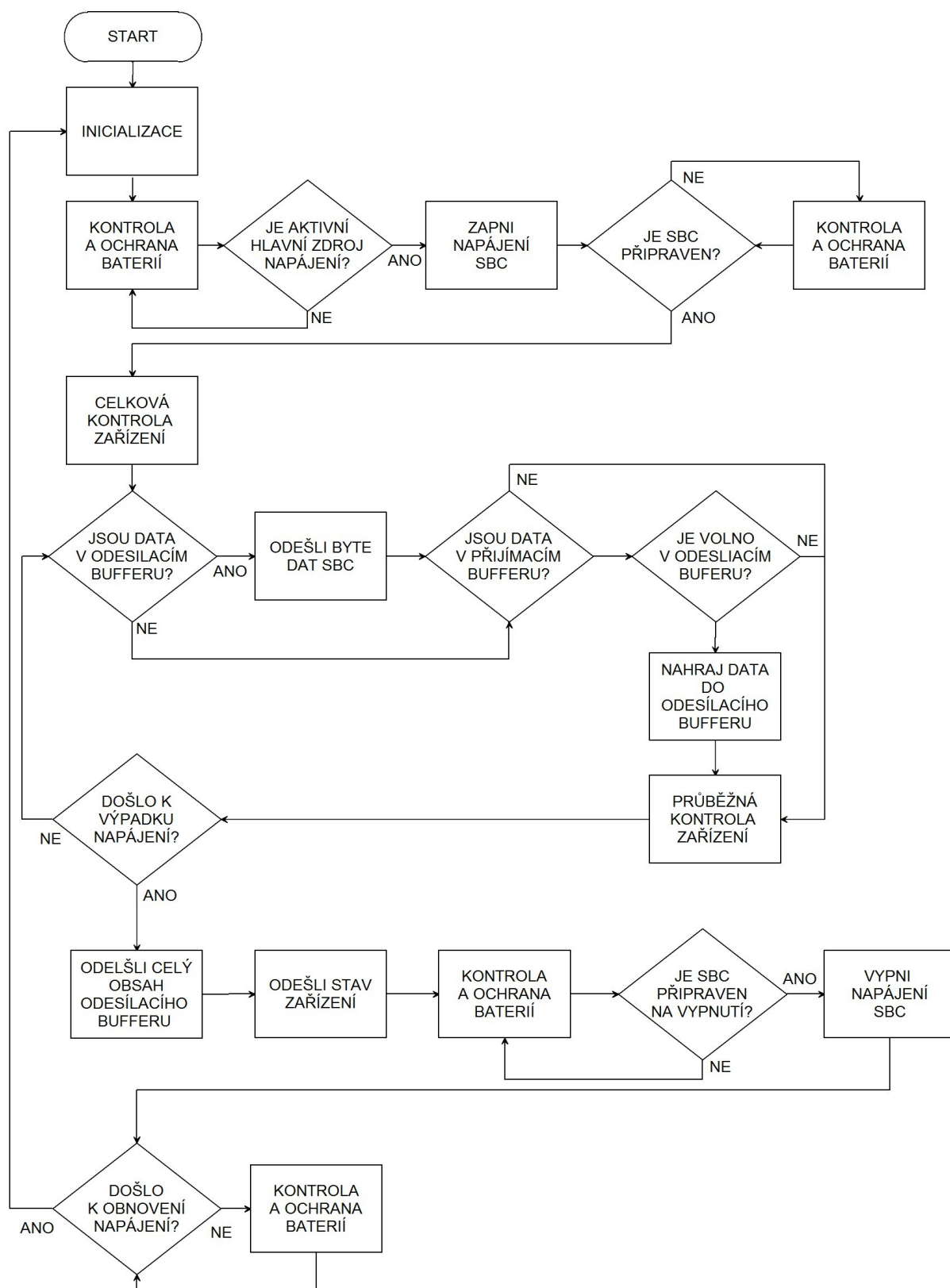
Tato kapitola se skládá ze dvou hlavních částí. V první části (podkapitola 6.1.) je popsán program aplikovaný na MCU. Ve druhé části (podkapitola 6.2) je stručně popsán OS SBC Raspberry Pi, nutné SW vybavení, jež bylo použito při vývoji, a také program, který zpracovává přijatá data.

6.1. SOFTWARE MCU MC9S08DZ128

Program pro ovládání MCU byl napsán v jazyce C v bezplatné verzi vývojového prostředí CodeWarrior od firmy Freescale. Celý projekt programu vytvořený v tomto prostředí je součástí přiloženého CD. Obrázek číslo 21 znázorňuje zjednodušený vývojový diagram programu MCU.

Program MCU začíná inicializačním blokem, v rámci kterého se zajistí, aby bylo vypnuto napájení k SBC Raspberry Pi, provede se nastavení všech I2C teploměrů a AD převodníků a nastaví se směr komunikace převodníku RS-485/UART. Po dokončení inicializace MCU vyčkává na spuštění SBC, kontroluje stav baterií a v případě potřeby aktivuje ochrany baterií. Kontrola stavu baterií je zajištěna měřením teploty v okolí článků, měřením napětí na obou člancích a proudu, který jimi protéká. Pokud je hlavní zdroj napájení aktivní, sepne se napájení k SBC.

V případě, že MCU obdrží přes UART rozhraní zprávu od SBC, že je připraven zpracovávat data, provede MCU celkovou kontrolu zařízení. V rámci celkové kontroly zařízení se provede kontrola stavu baterií, měření teploty transformátoru a DC/DC měniče, zjistí se stav nabíječky akumulátorů a ověří se funkce hlavního zdroje napájení. Veškerá získaná data MCU zapíše do odesílacího bufferu.



Obr. 21 - Zjednodušený vývojový diagram programu MCU

Nyní se chod MCU dostane do cyklu. Při každém průchodu cyklem se na rozhraní UART mezi MCU a SBC odešle byte z odesílacího bufferu. Do odesílacího bufferu se zapisují data o stavu zařízení, které se získávají průběžnou kontrolou stavu zařízení, ale také zprávy přijaté z rozhraní Profibus, které jsou uloženy v přijímacím bufferu. Příjem, rozkódování a ověření úplnosti zpráv je zajištěno programem obsluhující přerušeni vyvolané příjmem bytu dat na rozhraní UART mezi MCU a převodníkem RS-485/UART. Průběžná kontrola zařízení se neprovádí kompletní v každém průchodu cyklu. Tento typ kontroly stavu zařízení se skládá z několika dílčích kroků, přičemž se každý provede jednou za sto průchodů cyklem. Mimo pouhé kontroly se v rámci tohoto bloku programu provádí také aktivace potřebných ochran. Toto řešení bylo zvoleno proto, aby se zamezilo zahlcení MCU neustálým kontrolováním stavu zařízení.

Pokud dojde k výpadku hlavního zdroje napájení, odešlou se SBC všechna data uložená v odesílacím bufferu a poslední zjištěný stav zařízení. Dále se čeká, než MCU obdrží od SBC přes rozhraní UART zprávu, že je připraven ukončit činnost. Poté MCU čeká 20 s, aby měl SBC dostatečnou rezervu na uložení všech dat a vypnutí. Následuje odpojení napájení SBC. V tomto okamžiku se program opět zacyklí, dokud není obnovena funkce hlavního zdroje napájení. V rámci tohoto cyklu pouze monitoruje stav baterií a v případě potřeby se aktivují příslušné ochrany.

6.2. SOFTWARE SBC RASPBERRY PI 2 MODEL B

Pro Raspberry Pi je dnes k dispozici mnoho různých operačních systémů, zpravidla založených na linuxu. Pro účely mnou navrhovaného zařízení byl zvolen operační systém Raspbian v aktuálním vydání Jessie. Raspbian je operační systém založený na linuxové distribuci Debian, který byl poprvé vydán v červnu 2012. Z počátku se jednalo o čistě komunitou vyvíjený produkt, později však vlivem velké obliby tohoto operačního systému mezi uživateli SBC Raspberry Pi zaštitila vývoj přímo organizace Raspberry Pi Foundations, která stojí za vývojem stejnojmenného SBC. Proto lze od tohoto operačního systému očekávat stabilitu běhu a vysokou míru optimalizace na použitý HW. Výhodou je také, kromě nainstalovaných nástrojů pro jednoduché nastavení SBC, již předinstalovaná podpora Javy. [14]

Pro instalaci systému bylo nutné stáhnout obraz distribuce na počítač a vytvořit bootovatelnou SD kartu. Pro tento účel byl použit program Win32DiskImager. Takto připravená SD karta byla vložena do SBC a následně se SBC připojilo přes ethernet k notebooku. Na notebooku byl spuštěn DHCP server, což umožnilo přidělit IP adresu SBC. Pomocí programu Putty skrze protokol SSH byla provedena instalace a základní nastavení systému. Byly nainstalovány nástroje pro práci s UART, I2C, knihovna Pi4J a server vzdálené plochy xrdp. Knihovna Pi4J umožňuje použití GPIO portu včetně komunikačních rozhraní v jazyce Java. Dále byl na SBC nainstalován webový server Apache 2 a FTP (File Transfer Protocol) server Very Secure FTP Deamon, aby bylo možné přenášet skrze rozhraní ethernet uložená data.

Vývoj samotných java programů nutných pro běh tohoto zařízení byl uskutečněn v bezplatném vývojovém prostředí NetBeans ve verzi 8.1 od společnosti Oracle. Výhodou tohoto prostředí je, že umožňuje zkompileované soubory kopírovat a spouštět na vzdáleném zařízení (tzv vzdálený přístup), což velmi usnadňuje vývoj a testování aplikací na embedded zařízení. Pro správnou funkci byly vytvořeny dva programy. První program s názvem datalogger.jar má na starosti komunikaci přes rozhraní UART, zpracování přijatých dat a jejich reprezentaci. Druhý program s názvem i2cbq32000.jar je ovladač pro RTC obvod bq32000.

O automatický start programů se stará skript datalogger.sh, který se spouští po naboování operačního systému. Skript nejprve spustí program i2cbq32000.jar s parametry (viz podkapitola Program pro práci s RTC obvodem), jež způsobí nastavení systémového času podle RTC obvodu. Poté se spustí program datalogger.jar a po jeho ukončení se opět spustí program i2cbq32000.jar s parametry, jež způsobí, že se systémový čas Raspberry Pi zapíše do RTC obvodu. Níže je zobrazen obsah skriptu datalogger.sh, který je též součástí přiloženého CD.

```
#!/bin/bash
sudo java -jar /home/pi/NetBeansProjects/i2cbq32000/dist/i2cbq32000.jar -get -sys
sudo java -jar /home/pi/NetBeansProjects/datalogger/dist/datalogger.jar
sudo java -jar /home/pi/NetBeansProjects/i2cbq32000/dist/i2cbq32000.jar -set -sys
```

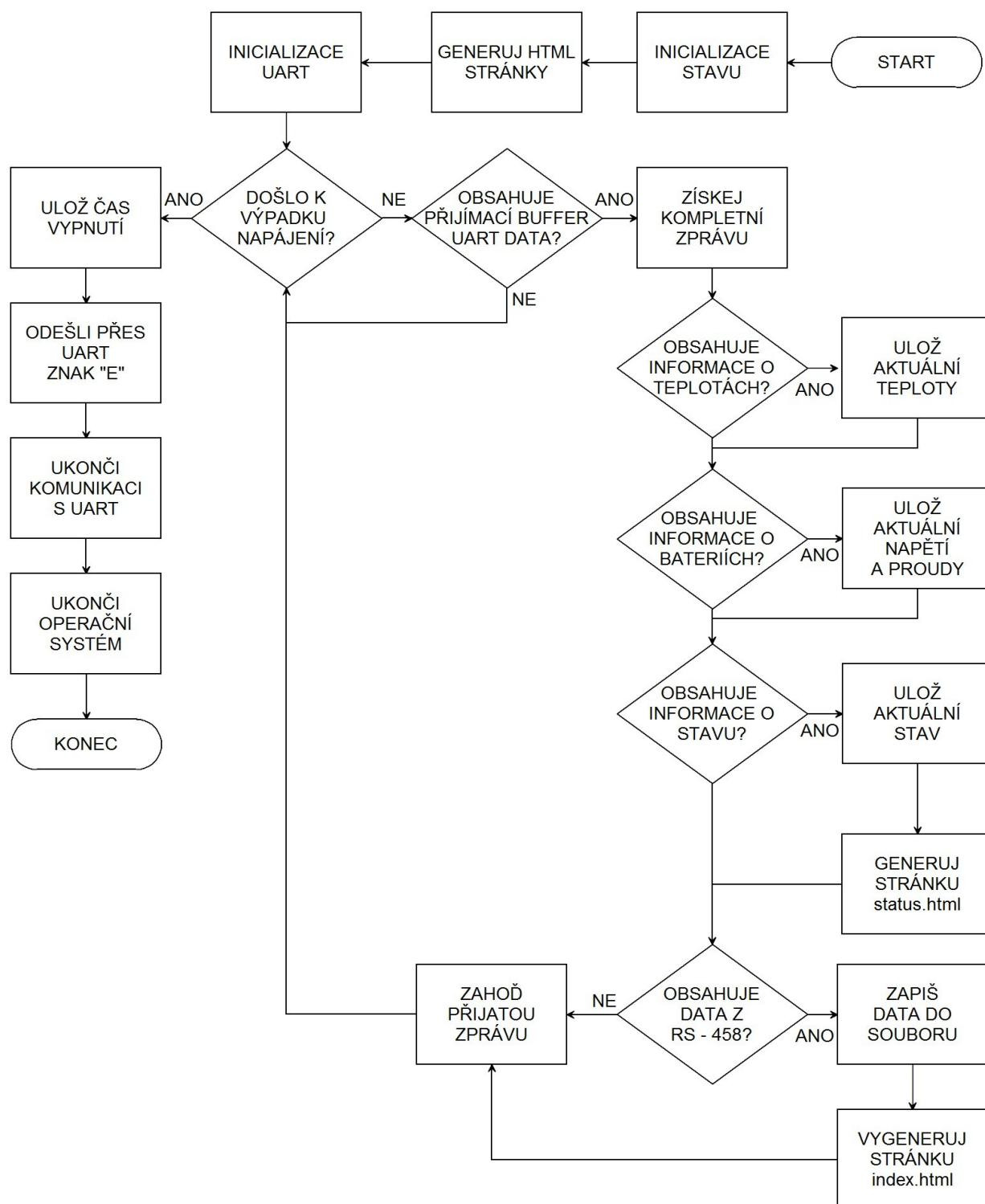
Program pro zpracování přijatých dat

Při spuštění programu datalogger.jar se zaznamená čas spuštění, načte se ze souboru čas vypnutí a zjistí se volné místo na SD kartě. Následně se vygenerují webové stránky index.html a status.html.

Stránka index.html slouží jako hlavní webová stránka a zobrazuje adresy zařízení, od nichž byla přijata data. Stránka status.html slouží k zobrazení posledního uloženého stavu zařízení. Zobrazuje napětí jednotlivých článků baterie, proud tekoucí baterií, teploty, čas zapnutí a posledního vypnutí, volné místo na SD kartě a dále také krátké zprávy, jež upozorňují na chyby, ke kterým při provozu zařízení došlo.

Program pokračuje inicializací rozhraní UART a odesláním znaku „S“, který znamená, že SBC je připraven zpracovávat přijatá data od MCU. Nyní se program uzavře do cyklu, který se ukončí, pokud SBC zjistí, že došlo k výpadku napájení dekodováním bytu stavu, který mu MCU odesílá. V rámci tohoto cyklu se v každém průchodu přečte jeden byte z přijímacího bufferu rozhraní UART, pokud není přijímací buffer prázdný. Z takto přečtených bytů se následně skládá celá zpráva, kterou SBC obdržel od MCU. Dále je tato zpráva rozkódována a zjišťuje se o jaký typ zprávy se jedná. Na základě typu zprávy se dále vyvolávají další instrukce.

Po ukončení cyklu uloží SBC do souboru čas vypnutí, odešle přes rozhraní UART znak „E“, který MCU signalizuje, že se zahájilo vypínání SBC, ukončí komunikaci s rozhraním UART, dá OS příkaz, aby zahájil vypínání a ukončí program datalogger.jar. Na obrázku číslo 22 si lze prohlédnout zjednodušený vývojový diagram programu datalogger.jar. Celý projekt programu vytvořený v prostředí NetBeans je součástí přiloženého CD.



Obr. 22 - Zjednodušený vývojový diagram programu datalogger.jar

Program pro práci s RTC obvodem

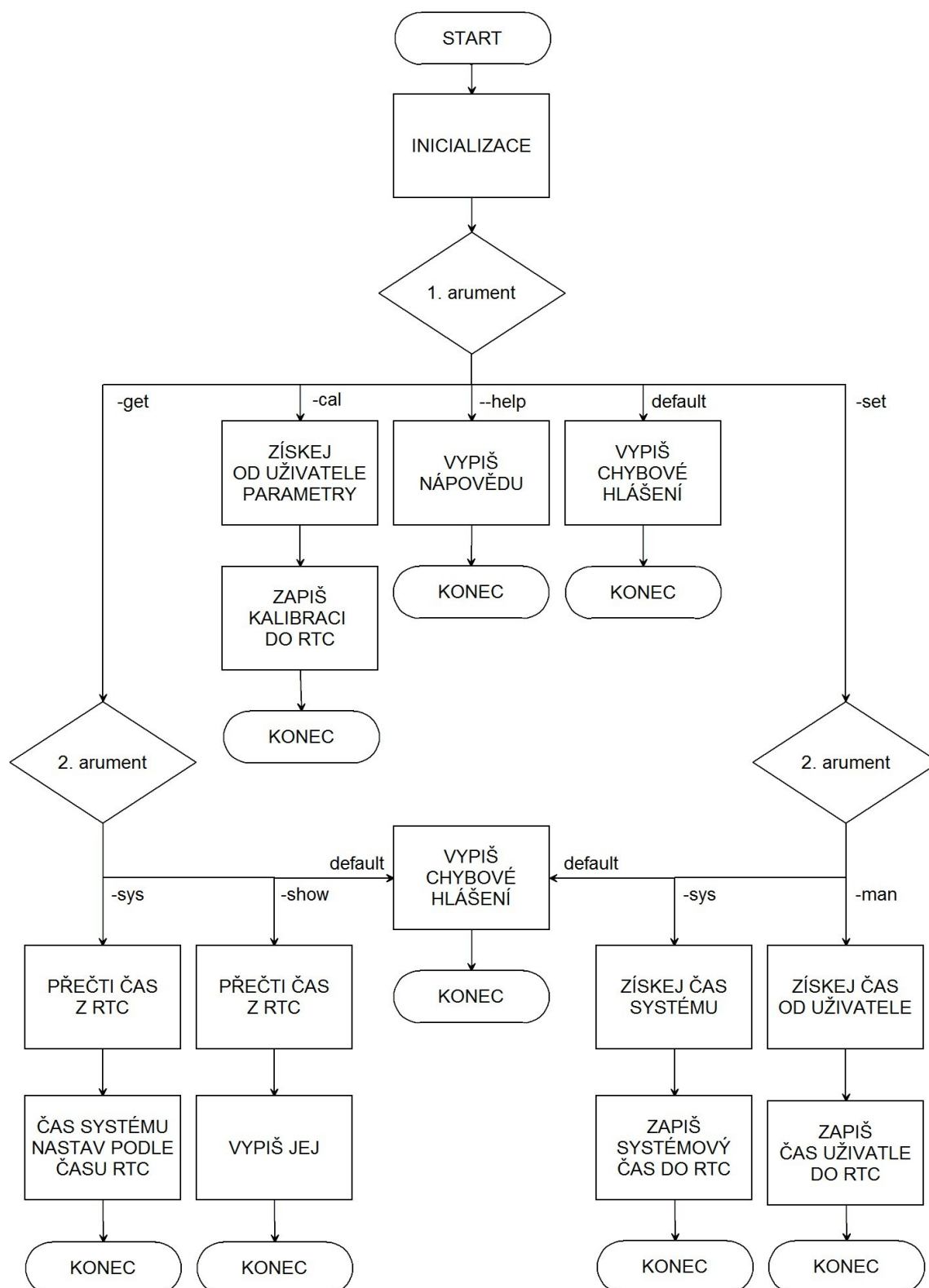
Program `i2cbq32000.jar` je schopen navázat I2C komunikaci s RTC obvodem BQ32000. V případě, že uživatel při spuštění programu zadá jako první parametr za název programu „-get“, budou se číst data z vnitřních registrů RTC obvodu. Druhým parametrem je programu nutné sdělit, jak se má s přečtenými daty z RTC obvodu naložit. Pokud jako druhý parametr uživatel napíše „-show“, vypíše se zjištěný čas v lidem přehledné formě na terminálový výstup. Pokud uživatel jako druhý parametr zadá „-sys“, nastaví se přečtený čas jako systémový čas Raspberry Pi.

Pro uložení času do RTC obvodu je nutné jako první parametr zadat „-set“. V tomto případě druhý parametr umožňuje vybrat zdroj času. Pokud bude druhý parametr „-sys“, uloží se do RTC obvodu systémový čas Raspberry Pi. V případě, že jako druhý parametr zadá uživatel „-man“, může poté zadat manuálně čas, který se do RTC obvodu má uložit.

Dále je součástí programu možnost doladění rychlosti RTC obvodu v případě, že se čas zpožďuje nebo naopak předchází. Pro tuto možnost je nutné napsat při spouštění programu jako parametr „-conf“.

Pomocí parametru „--help“ je možné zobrazit na terminálový výstup nápovědu pro použití toho programu. V případě, že uživatel zadá chybný parametr, bude na to na terminálovém výstupu upozorněn chybovou hláškou.

Na obrázku číslo 23 je znázorněn zjednodušený vývojový diagram tohoto programu. Na začátku programu se provede inicializace – naváže se komunikace s RTC obvodem připojeným na I2C sběrnici. Následně se pomocí přepínačů `switch – case` určí ze zadaných parametrů, jaká činnost se má vykonat. Po ukončení programu se ukončí komunikace s RTC obvodem. Celý projekt programu vytvořený v prostředí NetBeans je součástí příloženého CD.



Obr. 23 - Zjednodušený vývojový diagram programu pro práci s RTC obvodem

7. ZÁVĚR

Cílem práce byl návrh a realizace zařízení pro sběr dat z rozhraní RS-485 s možností reprezentace sesbíraných dat skrze rozhraní ethernet. V rámci této bakalářské práce byly splněny všechny body zadání. Schémata jednotlivých modulů navržených pro zařízení včetně souborů pro výrobu desek plošných spojů je součástí příloženého CD, obdobně jako všechny programy včetně celých projektů pro vývojová prostředí a spouštěcí skript napsaný pro operační systém zařízení. Součástí CD jsou také fotografie zařízení, screenshoty generovaných stránek a dokumentů a elektronická kopie této práce. Součástí tištěné přílohy jsou schémata všech modulů, osazovací výkresy a výkresy vodivých cest plošných spojů.

Zařízení bylo zkoušeno v provozu po dobu přibližně čtyř hodin. Záznam dat funguje spolehlivě a při provozu s funkčním hlavním napájecím zdrojem nedochází k žádným abnormalitám v chodu. Při výpadku napájení SBC automaticky ukončí svou činnost a MCU zajistí vypnutí jeho napájení. Problém se ukázal ve způsobu zálohování elektrické energie pro RTC obvod. Kondenzátor, který RTC má napájet, se při vypnutí SBC začne skrze SBC vybíjet, a tak je schopen uchovat čas pouze v řádu několika minut. Proto by bylo vhodné doplnit RTC obvod vhodnějším způsobem napájení. Dále by bylo vhodné změnit způsob snižování napětí na komunikačním rozhraní UART mezi MCU a SBC tak, aby se umožnily i rychlejší komunikační rychlosti na rozhraní RS-485 při použití tohoto zařízení. Výše zmíněné nedostatky vyžadují velké úpravy plošného spoje základní desky, a tak nebyly v rámci konstrukce tohoto prototypu zařízení provedeny.

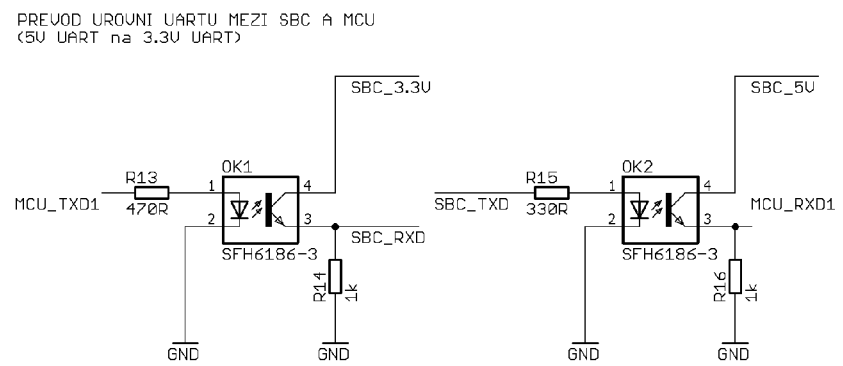
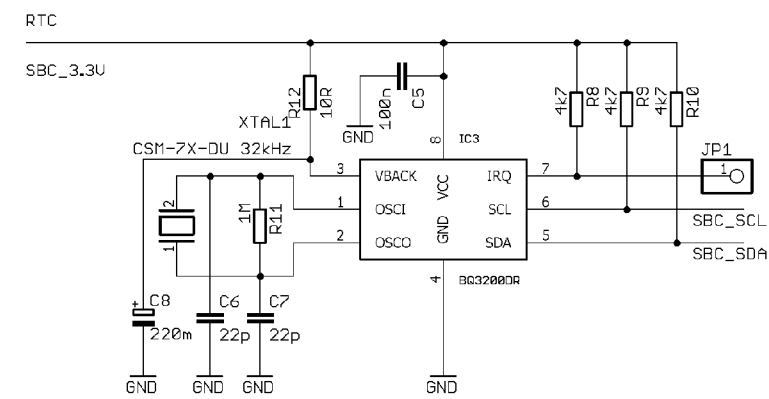
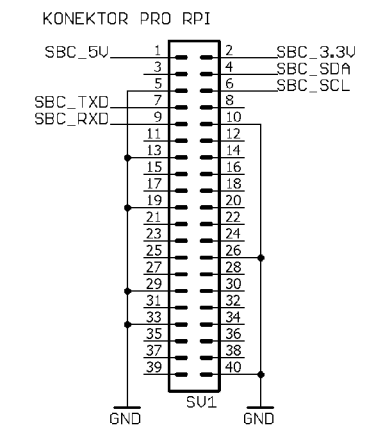
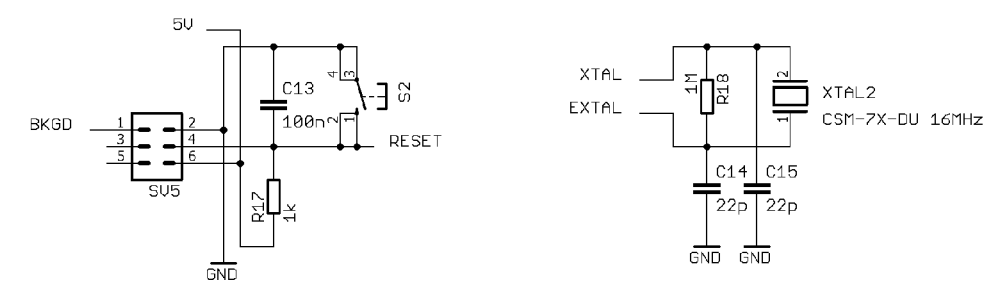
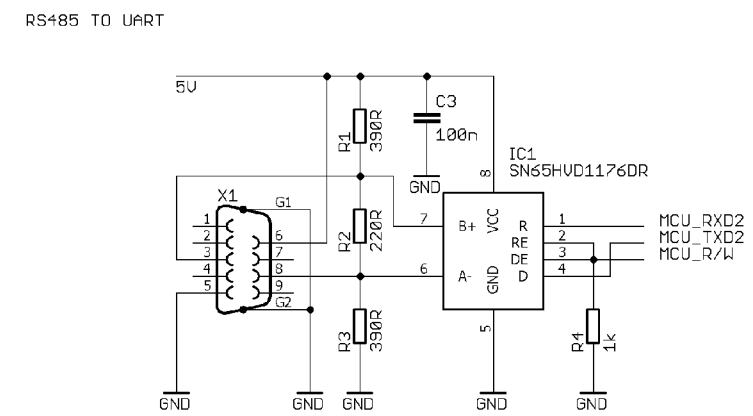
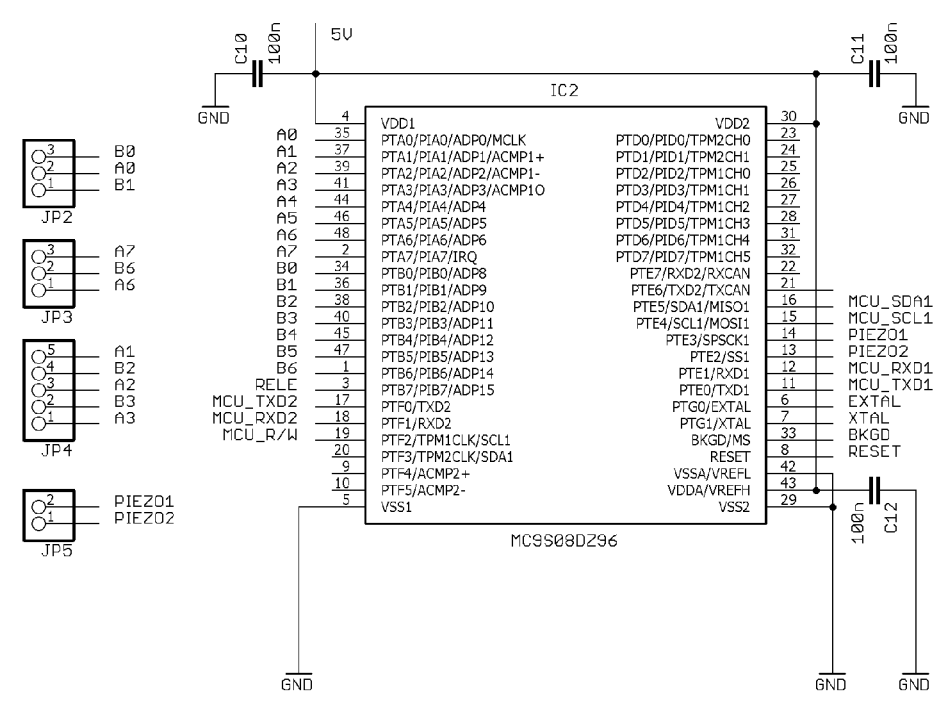
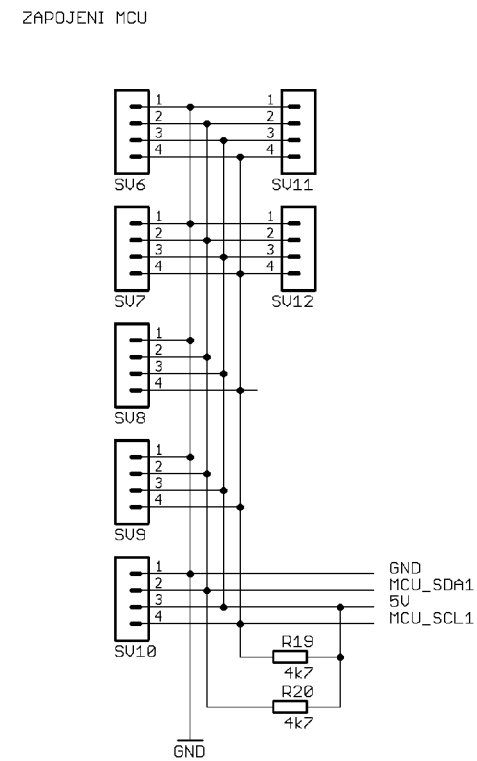
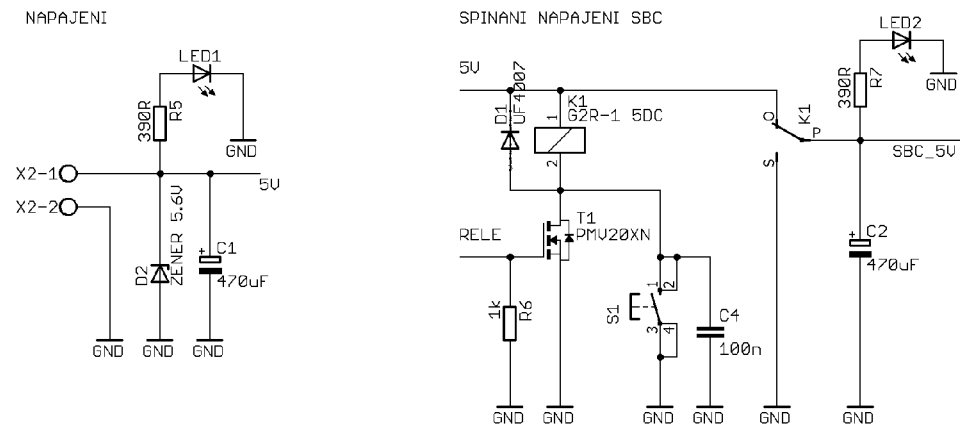
Dále se připravuje dlouhodobý provoz zařízení o délce přibližně dvou měsíců. Následně bude zapojení zařízení upraveno tak, aby se odstranily všechny nedostatky, které byly zmíněny v kapitole 4, v předchozím odstavci a které se případně projeví při dlouhodobém provozu. Nově zkonstruované zařízení bude realizováno na jednom plošném spoji. Software zařízení bude upraven tak, aby bylo možné data reprezentovat prostřednictvím databáze. Zvažuje se také rozšíření zařízení o možnost sběru dat z rozhraní ethernet, protože v poslední době se v průmyslové automatizaci stále zvyšuje počet zařízení komunikujících skrze rozhraní Profinet.

8. POUŽITÁ LITERATURA

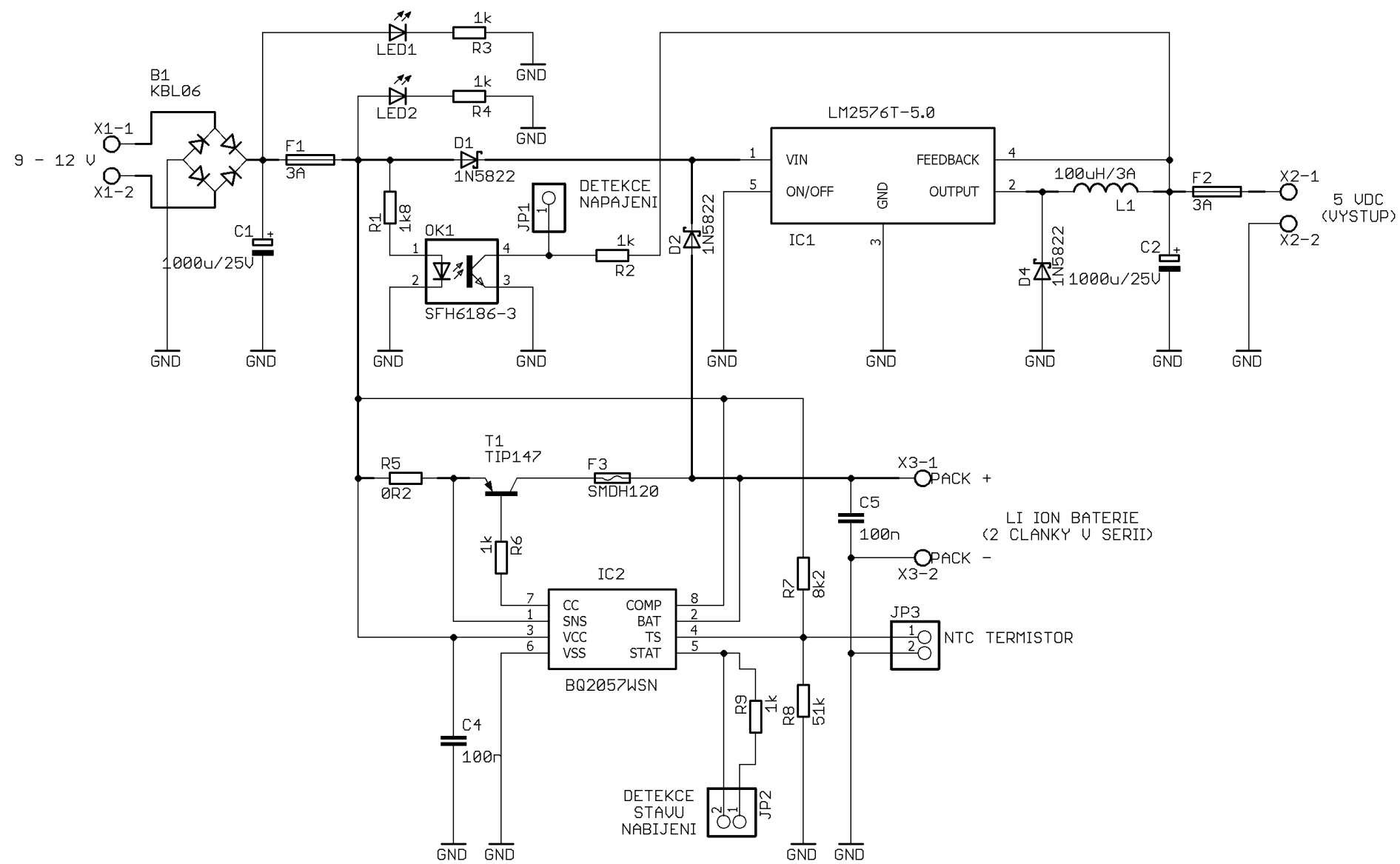
- [1] Přenos dat po linkách RS485 a RS422. *Hw.cz* [online]. 1999 [cit. 2016-02-23]. Dostupné z: <http://vyvoj.hw.cz/teorie-a-praxe/dokumentace/prenos-dat-po-linkach-rs485-a-rs422.html>
- [2] *Network solutions according to IEC 61158/EN 50 170: Profibus*. Německo: Siemens IK PI, 2005.
- [3] *Using the Universal Asynchronous Receiver Transmitter (UART) eTPU Function*. Rev. 0.1. Freescale Semiconductor, 2004.
- [4] Komunikace po sériové sběrnici I2C. *Root.cz* [online]. Česká republika, 2009 [cit. 2016-02-23]. Dostupné z: <http://www.root.cz/clanky/komunikace-po-seriove-sberrnici-isup2supc/#k01>
- [5] *Raspberry PI: Teach, Learn, and Make with Raspberry Pi* [online]. Velká Británie: Raspberry Pi Foundation [cit. 2016-02-23]. Dostupné z: <https://www.raspberrypi.org>
- [6] *MicroSDHC/microSDXC Class 10 UHS-I Card*. USA: Kingston Technology Corporation, 2015.
- [7] RS-485. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2016-02-24]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/RS-485>
- [8] *Profibus RS-485 transreceivers: SN65HVD1176*. June 2013. USA: Texas Instruments, 2003.
- [9] *Real-time clock (RTC): BQ32000*. November 2010. USA: Texas Instruments, 2008.
- [10] *LM2576/LM2576HV Series simple switcher 3A Step-Down Voltage Regulator: LM2576*. April 2013. USA: Texas Instruments, 1999.

- [11] *Advanced linear charge management ic for single and two cell lithium-ion and lithium-polymer: BQ2057WSN*. July 2002. USA: Texas Instruments, 2001.
- [12] *Lithium Ion Batteries: Technical Handbook*. Japonsko: Panasonic, 2007.
- [13] *Digital temperature sensor with I2C interface: TMP101*. USA: Texas Instruments, 2011.
- [14] *Raspbian* [online]. [cit. 2016-05-05]. Dostupné z: <https://www.raspbian.org/>

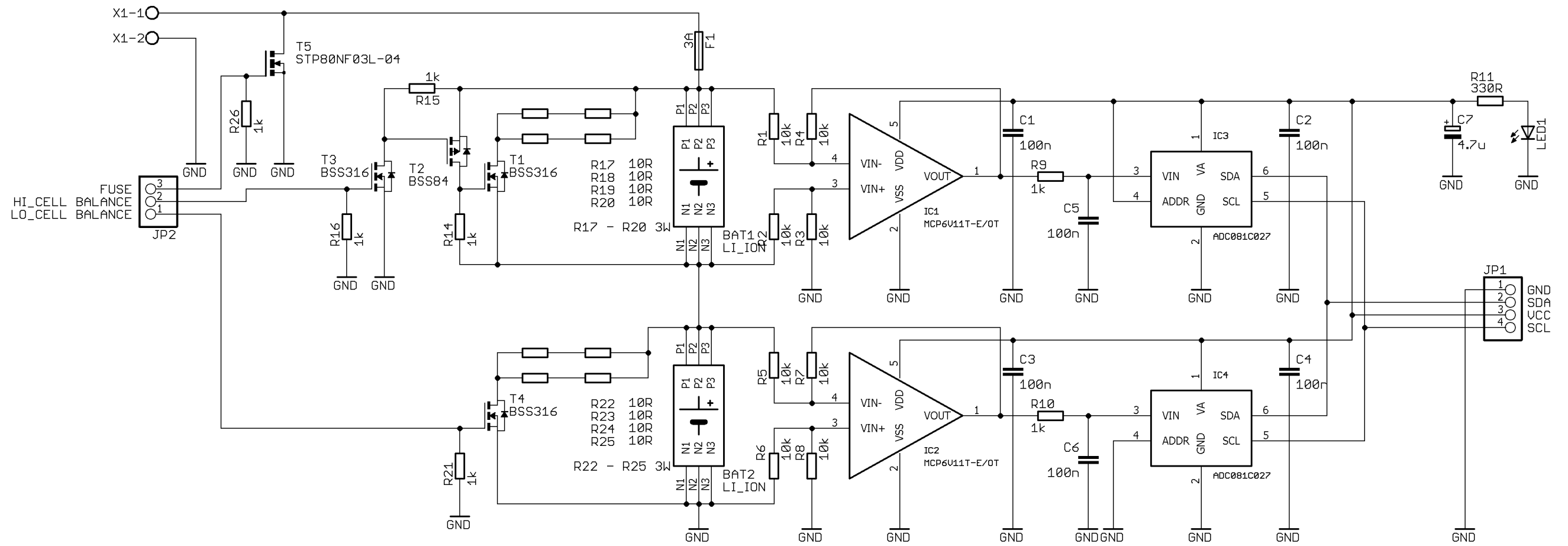
PŘÍLOHA A – SCHÉMATA



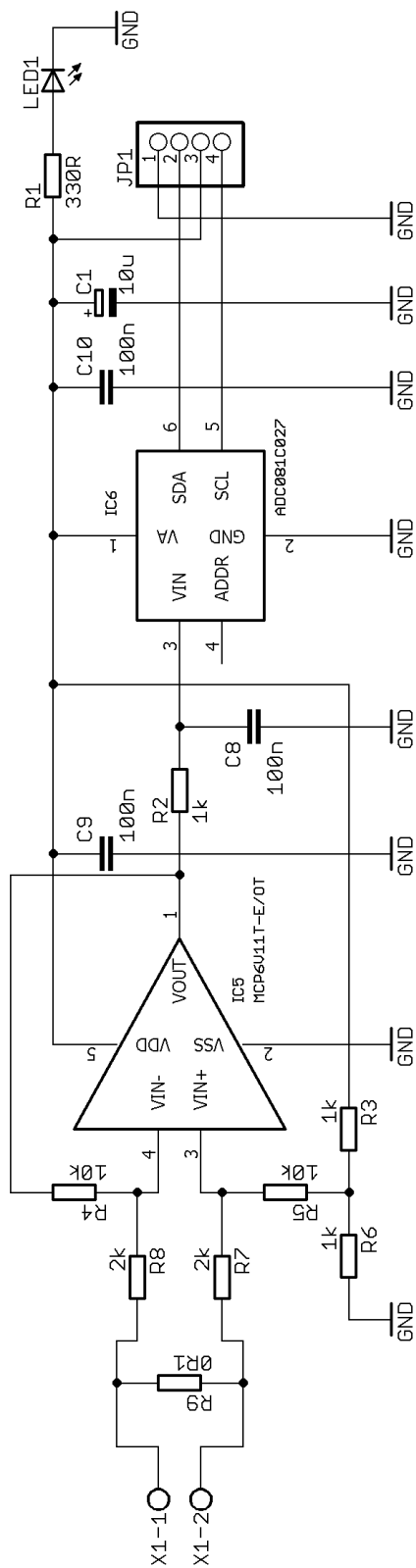
Obr. P1 - Schéma modulu základní desky



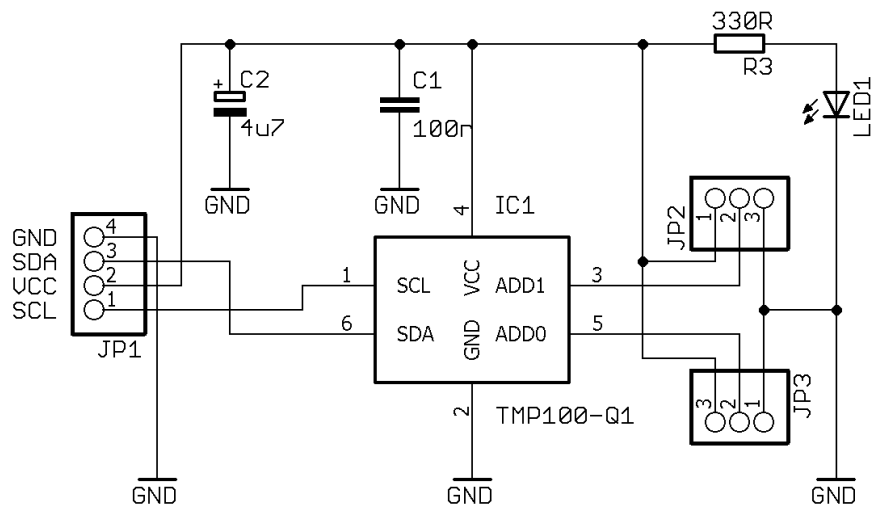
Obr. P2 - Schéma modulu DC/DC měniče a nabíječky Li – Ion akumulátoru



Obr. P3 - Schéma modulu baterie

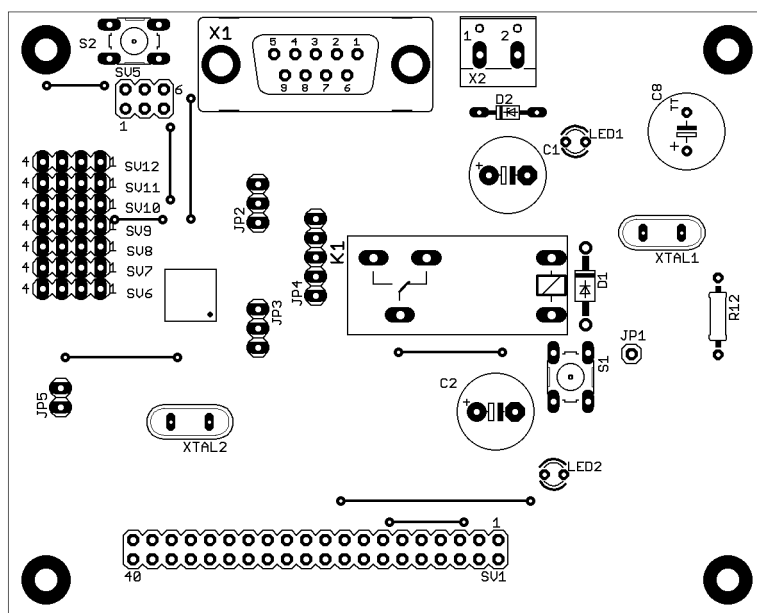


Obr. P4 - Schéma modulu pro měření proudu

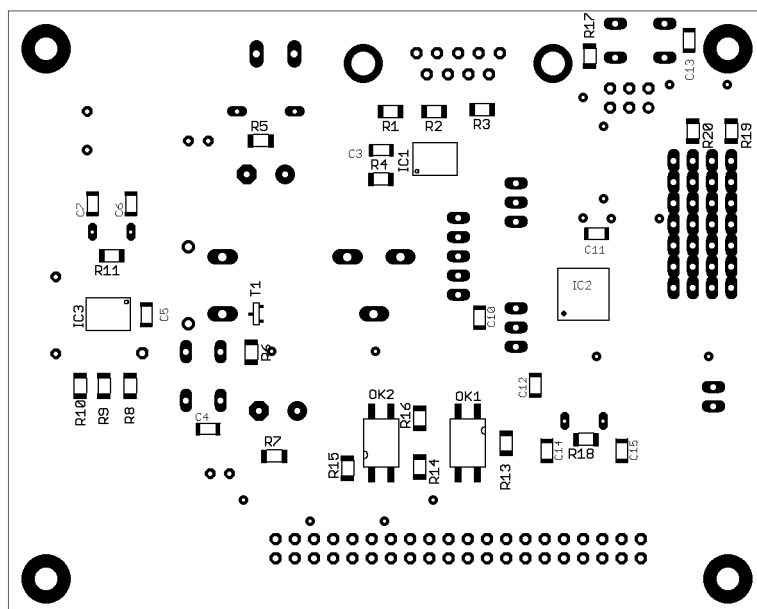


Obr. P5 - Schéma modulu teploměru

PŘÍLOHA B – OSAZOVACÍ PLÁNY



Obr. P6 - Osazovací výkres základní desky (vrchní strana)

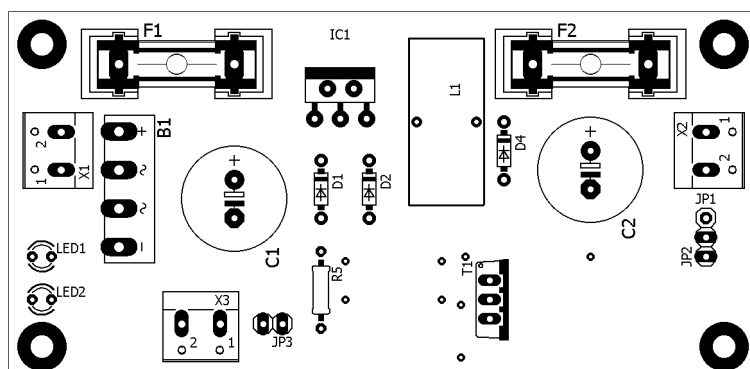


Obr. P7 - Osazovací výkres základní desky (spodní strana)

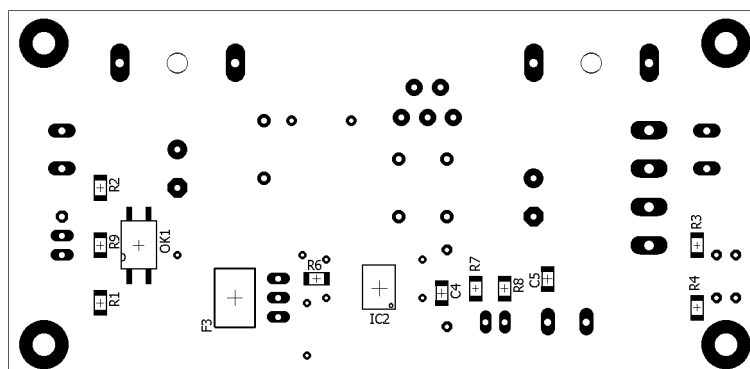
Seznam součástek pro osazení základní desky:

C1	470uF	CPOL-EUE5-10.5
C2	470uF	CPOL-EUE5-10.5
C3	100n	C-EUC1206K
C4	100n	C-EUC1206K
C5	100n	C-EUC1206K
C6	22p	C-EUC1206K
C7	22p	C-EUC1206K
C8	220m	CPOL-EUTT5D10
C10	100n	C-EUC1206K
C11	100n	C-EUC1206K
C12	100n	C-EUC1206K
C13	100n	C-EUC1206K
C14	22p	C-EUC1206K
C15	22p	C-EUC1206K
D1	UF4007	1N4004
D2	ZENER 5.6V	ZENER-DIODEDO34-7
IC1	SN65HVD1176DR	SN65HVD1176DR
IC2	MC9S08DZ96	MC9S08DZ96
IC3	BQ3200DR	BQ3200DR
JP1		PINHD-1X1
JP2		PINHD-1X3
JP3		PINHD-1X3
JP4		PINHD-1X5
JP5		PINHD-1X2
K1	G2R-1 5DC	G2R
LED1		LED3MM
LED2		LED3MM
OK1	SFH6186-3	SFH6186-3
OK2	SFH6186-3	SFH6186-3
R1	390R	R-EU_R1206
R2	220R	R-EU_R1206
R3	390R	R-EU_R1206
R4	1k	R-EU_R1206
R5	390R	R-EU_R1206
R6	1k	R-EU_R1206
R7	390R	R-EU_R1206
R8	4k7	R-EU_R1206
R9	4k7	R-EU_R1206
R10	4k7	R-EU_R1206
R11	1M	R-EU_R1206
R12	10R	R-EU_0207/10
R13	470R	R-EU_R1206
R14	1k	R-EU_R1206
R15	330R	R-EU_R1206
R16	1k	R-EU_R1206
R17	1k	R-EU_R1206
R18	1M	R-EU_R1206
R19	4k7	R-EU_R1206

R20	4k7	R-EU_R1206
S1		10-XX
S2		10-XX
SV1		MA20-2
SV5		MA03-2
SV6		MA04-1
SV7		MA04-1
SV8		MA04-1
SV9		MA04-1
SV10		MA04-1
SV11		MA04-1
SV12		MA04-1
T1	PMV20XN	NMOSSOT23
X1		F09VP
X2		W237-102
XTAL1	CSM-7X-DU 32kHz	XTAL/S
XTAL2	CSM-7X-DU 16MHz	XTAL/S



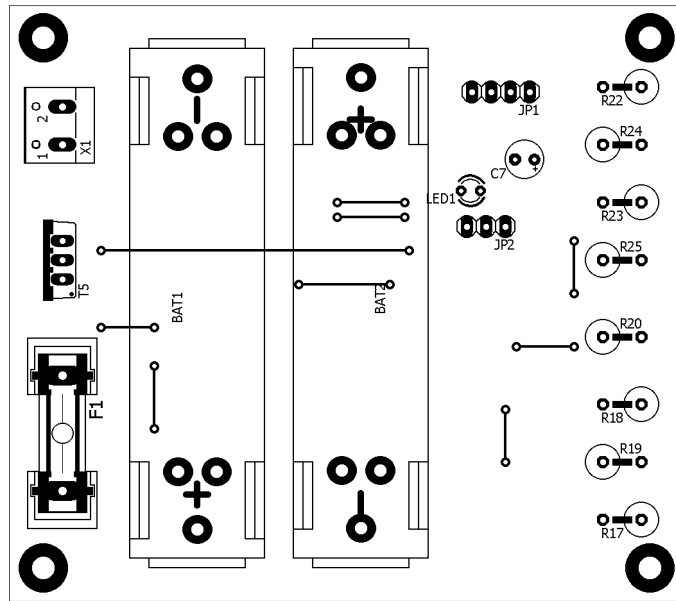
Obr. P8 - Osazovací výkres modulu zdroje a nabíječky baterií (vrchní strana)



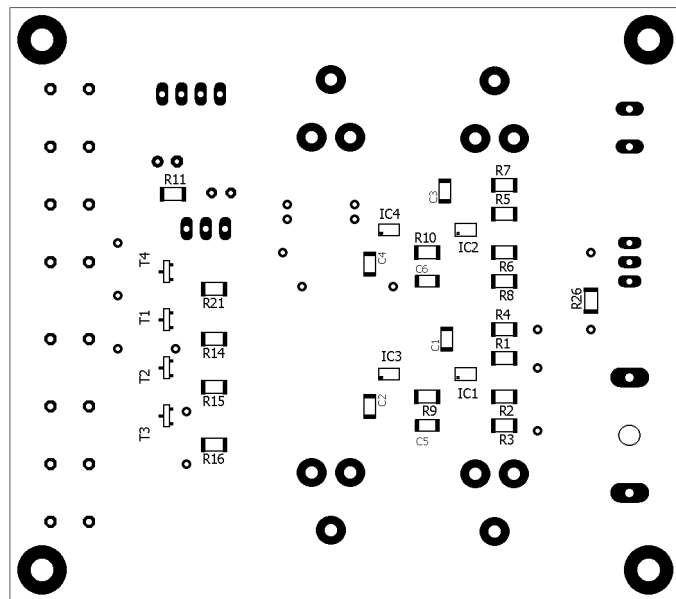
Obr. P9 - Osazovací výkres modulu zdroje a nabíječky baterií (spodní strana)

Seznam součástek pro osazení modulu zdroje a navíječky baterií:

B1	KBL06	RECTIFIER-KBL
C1	1000u/25V	CPOL-EUE5-13
C2	1000u/25V	CPOL-EUE5-13
C4	100n	C-EUC1206
C5	100n	C-EUC1206
D1	1N5822	1N5819-T
D2	1N5822	1N5819-T
D4	1N5822	1N5819-T
F1	3A	GSH15
F2	3A	GSH15
F3	SMDH120	SMDH120
IC1	LM2576T-5.0	LM2576T-5.0
IC2	BQ2057WSN	BQ2057WSN
JP1		PINHD-1X1
JP2		PINHD-1X2
JP3		PINHD-1X2
L1	100uH/3A	L-USTJ4-U1
LED1		LED3MM
LED2		LED3MM
OK1	SFH6186-3	SFH6186-3
R1	1k8	R-EU_R1206
R2	1k	R-EU_R1206
R3	1k	R-EU_R1206
R4	1k	R-EU_R1206
R5	0R2	R-EU_0207/10
R6	1k	R-EU_R1206
R7	8k2	R-EU_R1206
R8	51k	R-EU_R1206
R9	1k	R-EU_R1206
T1	TIP147	-PNP-TO220V
X1		W237-102
X2		W237-102
X3		W237-102



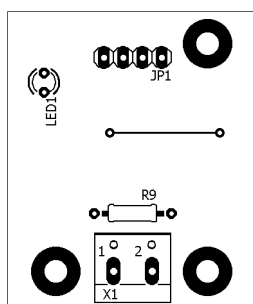
Obr. P10 - Osazovací výkres modulu s bateriemi (vrchní strana)



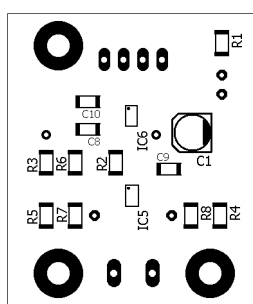
Obr. P11 - Osazovací výkres modulu s bateriemi (spodní strana)

Seznam součástek pro osazení modulu s bateriemi:

BAT1	LI_ION	LI_ION
BAT2	LI_ION	LI_ION
C1	100n	C-EUC1206K
C2	100n	C-EUC1206K
C3	100n	C-EUC1206K
C4	100n	C-EUC1206K
C5	100n	C-EUC1206K
C6	100n	C-EUC1206K
C7	4.7u	CPOL-EUE2.5-5
F1	3A	GSH15
IC1	MCP6V11T-E/OT	MCP6V11T-1/OT
IC2	MCP6V11T-E/OT	MCP6V11T-1/OT
IC3	ADC081C027	ADC081C027
IC4	ADC081C027	ADC081C027
JP1		PINHD-1X4
JP2		PINHD-1X3
LED1		LED3MM
R1	10k	R-EU_M1206
R2	10k	R-EU_M1206
R3	10k	R-EU_M1206
R4	10k	R-EU_M1206
R5	10k	R-EU_M1206
R6	10k	R-EU_M1206
R7	10k	R-EU_M1206
R8	10k	R-EU_M1206
R9	1k	R-EU_M1206
R10	1k	R-EU_M1206
R11	330R	R-EU_M1206
R14	1k	R-EU_M1206
R15	1k	R-EU_M1206
R16	1k	R-EU_M1206
R17	10R	R-EU_0613/5V
R18	10R	R-EU_0613/5V
R19	10R	R-EU_0613/5V
R20	10R	R-EU_0613/5V
R21	1k	R-EU_M1206
R22	10R	R-EU_0613/5V
R23	10R	R-EU_0613/5V
R24	10R	R-EU_0613/5V
R25	10R	R-EU_0613/5V
R26	1k	R-EU_M1206
T1	BSS316	NMOSSOT23
T2	BSS84	PMOSSOT23
T3	BSS316	NMOSSOT23
T4	BSS316	NMOSSOT23
T5	STP80NF03L-04	PMOSFET_NTO220BV
X1		W237-102



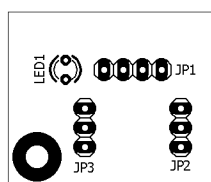
Obr. P12 - Osazovací výkres modulu pro měření proudu (vrchní strana)



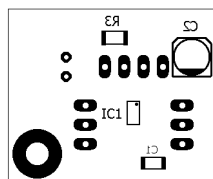
Obr. P13 - Osazovací výkres modulu pro měření proudu (spodní strana)

Seznam součástek pro osazení modulu pro měření proudu:

C1	10u	CPOL-EUSANYO_SMD_
C8	100n	C-EUC1206K
C9	100n	C-EUC1206K
C10	100n	C-EUC1206K
IC5	MCP6V11T-E/OT	MCP6V11T-1/OT
IC6	ADC081C027	ADC081C027
JP1		PINHD-1X4
LED1		LED3MM
R1	330R	R-EU_M1206
R2	1k	R-EU_M1206
R3	1k	R-EU_M1206
R4	10k	R-EU_M1206
R5	10k	R-EU_M1206
R6	1k	R-EU_M1206
R7	2k	R-EU_M1206
R8	2k	R-EU_M1206
R9	0R1	R-EU_0207/10
X1		W237-102



Obr. P14 - Osazovací výkres pro modul teploměru (vrchní strana)

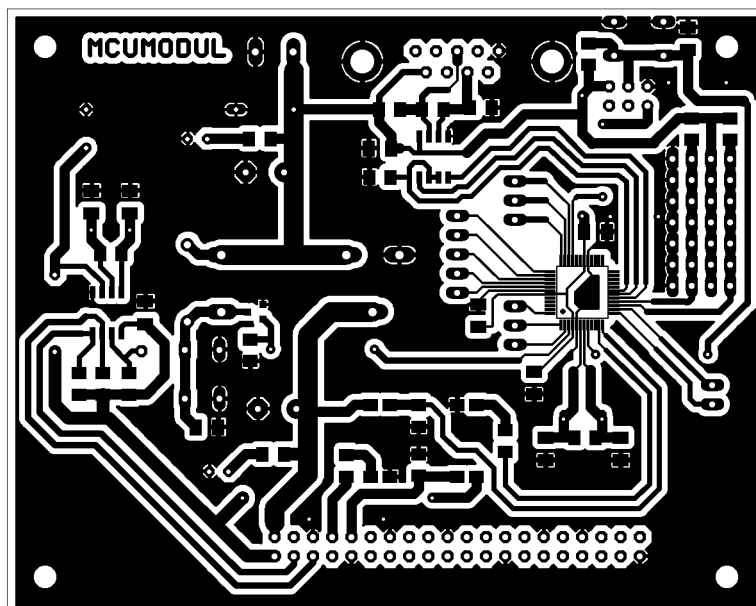


Obr. P15 - Osazovací výkres pro modul teploměru (spodní strana)

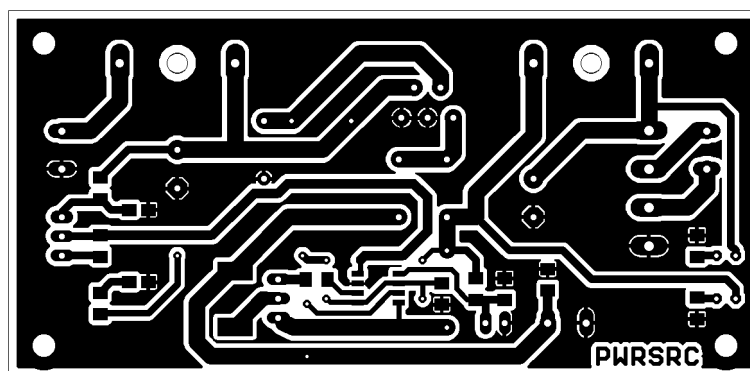
Seznam součástek pro osazení modulu teploměru:

C1	100n	C-EUC1206K
C2	4u7	CPOL-EUSANYO_SMD_B6
IC1	TMP100-Q1	TMP100-Q1
JP1		PINH1D-1X4
JP2		PINH1D-1X3
JP3		PINH1D-1X3
LED1		LED3MM
R3	330R	R-EU_M1206

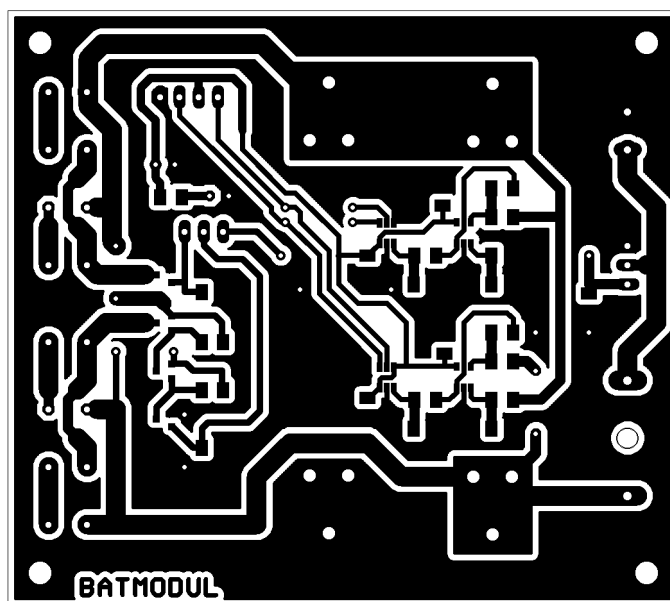
PŘÍLOHA C – VÝKRESY VODIVÝCH CEST



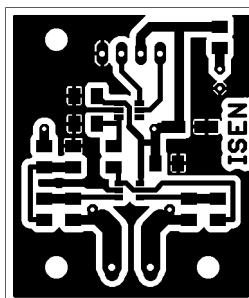
Obr. P16 - Výkres vodivých cest modulu základní desky



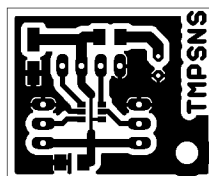
Obr. P17 - Výkres vodivých cest modulu zdroje a nabíječky baterií



Obr. P18 - Výkres vodivých cest modulu s bateriemi



Obr. P19 - Výkres vodivých cest modulu pro měření proudu



Obr. P20 - Výkres vodivých cest modulu teploměru

PŘÍLOHA D – FOTOGRAFIE ZAŘÍZENÍ



Obr. P21 - Fotografie zařízení



Obr. P22 - Fotografie zařízení bez horní části krytu



Obr. P23 - Fotografie zařízení bez horní části krytu