

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Záznamník dat pro vektorový magnetometr

Praha, 2014

Viktor Fúra

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v tomto textu, ve zdrojovém kódu nebo v příloženém seznamu.

V Praze dne _____

_____ podpis

Poděkování

Na tomto místě bych chtěl poděkovat všem, kteří se různými způsoby na této bakalářské práci podíleli. Děkuji především svému otci Ivanu Fúrovi, vedoucímu práce Vojtěchu Petruchovi a svému spolubydlícímu Janu Štípkovi za jejich rady a podporu.

Abstrakt

Cílem této práce je kompletní návrh záznamníku dat ze sériové linky, zejména pro použití s vektorovými magnetometry. Návrh se týká vytvoření schématu zařízení, návrhu desek plošných spojů, jejich osazení a oživení a odladění firmware přístroje. Finální přístroj je vestavěn do mechanicky odolného plastového kufru a umožňuje interakci s uživatelem.

Abstract

The goal of this bachelor's thesis is a development of serial line datalogger, primarily intended for application with vector magnetometers. Circuit diagrams, PCB and firmware design are presented as well as notes on assembly, debugging and testing. The whole system is designed to operate in an outdoor environment. The firmware provides interactive setting of various parameters and operational modes.



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student: **Viktor Fúra**

Studijní program: **Kybernetika a robotika**
Obor: **Senzory a přístrojová technika**

Název tématu česky: **Záznamník dat pro vektorový magnetometr**

Název tématu anglicky: **Datalogger for vector magnetometer**

Pokyny pro vypracování:

Navrhnete koncepci záznamníku dat ze sériové linky. Přístroj bude specificky určen práci s daty z vektorového magnetometru, ale umožní i záznam obecných dat na sériovém rozhraní RS232. Přístroj bude řízen jednočipovým mikrokontrolérem, data budou ukládána na SD kartu a provozní údaje budou zobrazeny na grafickém displeji. Navrhnete, sestavte a odladíte elektrické zapojení a firmware. Finální provedení přístroje by mělo umožňovat nasazení ve venkovním prostředí v rozsahu teplot -20..+50°C. Přístroj otestujte v reálném prostředí.

Seznam odborné literatury:

- [1] Lee W. Ritchey, Right the first time - A practical handbook on high speed pcb and system design, ISBN-0-9741936-0-7
- [2] Záhlava, Vít, Návrh a konstrukce desek plošných spojů - Principy a pravidla praktického návrhu, BEN-Technická literatura
- [3] Peter Reen, Naveen Mohaanswamy; AN1045, File I/O Functions Using Microchip's Memory Disk Drive File System Library, www.microchip.com

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Vojtěch Petrucha, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: 20. října 2013

Platnost zadání do¹: 31.ledna 2015

L.S.

Prof. Ing. Vladimír Haasz, CSc.
vedoucí katedry

Prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
děkan

V Praze dne . . . 2013

Obsah

Seznam obrázků	ix
1 Úvod	1
1.1 Magnetometry	1
1.1.1 Skalární magnetometry	1
1.1.2 Vektorové magnetometry	2
1.1.2.1 Fluxgate magnetometr	2
1.1.2.2 AMR	3
1.2 Komerčně dostupná záznamová zařízení	4
1.2.1 Avisaro Data Logger Cube 2.0	4
1.2.2 SpaceLogger.S10	5
1.3 Vlastnosti vyvíjeného záznamníku	6
1.3.1 Klíčové vlastnosti	6
2 Návrh zapojení	8
2.1 Blokové zapojení záznamníku	8
2.2 Hlavní komponenty	9
2.2.1 Mikrokontrolér	9
2.2.2 Displej	10
2.2.3 GPS modul	10
2.2.4 Teploměr MCP9804	11
2.2.5 Hodiny reálného času M41T82	12
2.2.6 Nevolatilní paměť 24LC64	13
2.3 Funkční bloky zapojení	13
2.3.1 Linky RS232	13
2.3.1.1 Převodník úrovní MAX3232EID	13
2.3.1.2 Čítače TLC555ID	13
2.3.2 Dálkové ovládání	14
2.3.3 Senzor osvětlení	15
2.3.4 Napájecí obvody	15
2.4 Návrh desek plošných spojů	16
2.4.1 Prototyp	17
2.4.2 Finální verze	17

3	Firmware přístroje	19
3.1	Vývojové prostředky	19
3.1.1	Programátor a debugger	19
3.1.2	IDE a kompilátor	19
3.1.3	Softwarové knihovny	20
3.2	Struktura firmware	20
4	Mechanické provedení	23
4.1	Kufr, konektory, tlačítka, držáky baterií	23
4.2	Přístrojový panel	23
5	Ovládání přístroje	24
5.1	Přístrojový panel	24
5.2	Struktutura HMI	25
5.3	Podporovaná zařízení	26
5.3.1	DigMag03, Overhauser	26
5.3.2	Universal	26
6	Testování přístroje	27
7	Závěr	I
A	Fotografie přístroje	I
B	Schéma přístroje	V
C	Motiv PCB základní desky	X

Seznam obrázků

1.1	Overhauser GSM-19. [28]	2
1.2	Fluxgate magnetometr Billingsley DFM28G. [3]	3
1.3	Honeywell HMR2300. [5]	3
1.4	Avisaro Data Logger Cube 2.0 [2]	4
1.5	SpaceLogger.S10 [21]	5
2.1	Blokové zapojení zařízení.	8
2.2	Ilustrační obrázek pouzdra TQFP. [1]	9
2.3	Nákres GPS přijímače. Rozměry v milimetrech. [24]	11
2.4	Přesnost teploměru MCP9804 v celém rozsahu teplot. [11]	12
2.5	Závislost přesnosti oscilátoru M41T82 na teplotě. [25]	12
2.6	Zapojení jednoho čítače pro řízení signalizace jedné LED.	14
2.7	Zapojení dálkového ovládání.	15
2.8	Schéma vstupní části napájení.	16
2.9	Logo projektu umístěné na deskách plošných spojů.	17
3.1	Diagram hlavní smyčky firmwaru.	21
3.2	Zjednodušené schéma systému distribuce frekvence.	22
5.1	Nákres ovládacího panelu přístroje.	24
5.2	Struktura HMI.	25
6.1	Osa x.	28
6.2	Osa y.	28
6.3	Osa z.	28
A.1	Prototypová deska bez displeje.	I
A.2	Prototypová deska včetně osazeného displeje.	I
A.3	Desky plošných spojů finálního přístroje.	II
A.4	Zapnuté zařízení.	III
A.5	Pohled ze strany držáků baterií.	IV
A.6	Zařízení ze strany konektorů.	IV
B.1	Schéma základní desky, část první.	V
B.2	Schéma základní desky, část druhá.	VI

B.3	Schéma základní desky, část třetí.	VII
B.4	Schéma desky s SD kartou.	VIII
B.5	Schéma desky klávesnice.	VIII
B.6	Schéma desky GPS modulem.	IX
C.1	Motiv základní desky, pohled z horní strany.	X
C.2	Motiv základní desky, pohled ze spodní strany.	XI

Kapitola 1

Úvod

Předmětem vývoje je záznamník dat pro vektorový magnetometr. Primárním úkolem záznamníku je sběr dat z magnetometrů s cílem umožnit jejich archivaci a pozdější zpracování. Sekundárně záznamník umožní okamžité zobrazení výstupu magnetometru na displeji. To je důležité pro kontrolu správné činnosti magnetometru.

V této části budou uvedena základní fakta o magnetometrech. Dále bude shrnuta nabídka dostupných komerčních záznamníků a jejich vlastností včetně důvodů, proč bylo rozhodnuto o vývoji vlastního záznamníku.

1.1 Magnetometry

Magnetometry jsou zařízení, která umožňují měřit magnetické pole (typicky magnetickou indukci B [T]). Lze je rozdělit do dvou základních typů: na magnetometry skalární a vektorové. První skupina zařízení měří pouze modul vektoru magnetického pole. Oproti tomu vektorové magnetometry jsou určeny k měření mag. pole v dílčích směrech, měří tedy vektor magnetického pole a jejich výstupem bývají tři složky vektoru (x, y, z) .

Výstup může být analogový nebo digitální. Pokud je zařízení vybaveno digitálním výstupem, je to zpravidla standardní sériová linka RS232. Uložení a následné zpracování digitálních dat je snazší a nevnáší do měřicího řetězce další chyby.

Níže je uvedeno několik typů magnetometrů spolu s jejich jednoduchým popisem a příklady využití.

1.1.1 Skalární magnetometry

Do této skupiny spadají typicky protonové magnetometry, overhausery, potasium. Pracují na principu precese protonu v magnetickém poli. Používají

se při geologickém průzkumu, v archeologii, při mapování potrubí a v dalších technických a environmentálních aplikacích.

Příkladem může být Overhauser *GSM-19* od firmy *GEM Systems*, jehož parametry jsou uvedeny níže [28].

- citlivost $0.02 \text{ nT} @ 1 \text{ Hz}$;
- rozlišení 0.01 nT ;
- přesnost $\pm 0.1 \text{ nT}$;
- rozsah $20\,000$ až $120\,000 \text{ nT}$;
- tolerance gradientu $< 10\,000 \text{ nT/m}$;
- vzorkovací perioda $60, 5, 3, 2, 1, 0.5, 0.2 \text{ s}$;
- provozní teplota od -55 do $+50 \text{ }^\circ\text{C}$;
- sériové rozhraní RS232



Obrázek 1.1: Overhauser GSM-19. [28]

1.1.2 Vektorové magnetometry

1.1.2.1 Fluxgate magnetometr

Vektorový fluxgate magnetometr se obecně skládá z feromagnetického jádra, primárního (řídícího) a sekundárního (měřícího) vinutí (vše pro každou osu). Přivedením střídavého napětí na primární cívku se jádro střídavě dostává do stavu pozitivní a negativní saturace. Změny mag. toku pak způsobují změny indukovaného napětí na sekundární cívice. Toto napětí je zpracováváno dalšími obvody a je určena hodnota magnetického pole.

Využívají se k analýze magnetických polí Země a dalších planet nebo při geologickém průzkumu, navigaci ve vesmíru, pod povrchem země či pod vodní hladinou, kde není dostupný GPS signál.

Zástupcem fluxgate magnetometrů je např. *Billingsley DFM28G*, který kombinuje analogový výstup s digitálním výstupem s rozlišením 28 bit [3].

- rozlišení 28 bitů při průměrování z 4096 vzorků;
- přesnost $\pm 0.02\%$ z rozsahu;
- rozsah $-65\,000$ až $+65\,000 \text{ nT}$;
- vzorkovací perioda $25 \mu\text{s}$;
- rozhraní RS232 nebo RS485



Obrázek 1.2: Fluxgate magnetometr Billingsley DFM28G. [3]

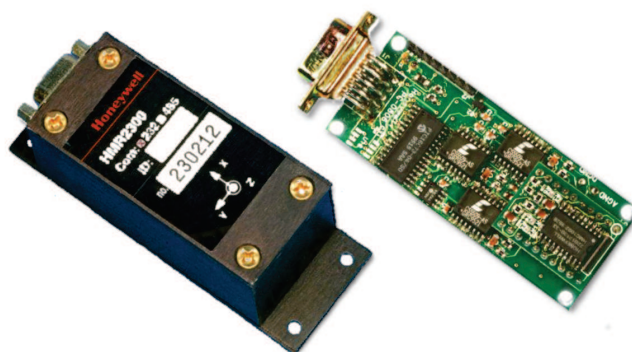
1.1.2.2 AMR

AMR¹ magnetometry jsou běžně dostupné jako integrovaný obvod a často se používají v mobilních zařízeních jako digitální kompas. Výhodou je velmi malá velikost a nízký příkon.

Jsou typicky tříosé a fungují na principu magnetorezistance, což je schopnost materiálu měnit hodnotu elektrického odporu v závislosti na vnějším magnetickém poli. Změna odporu je poté vyhodnocována příslušnou elektronikou. Každá osa má svůj magnetorezistivní senzor.

Zástupcem této kategorie může být *Honeywell HMR2300*, což je tříosý magnetometr s digitálním výstupem [5].

- rozlišení 7 nT ;
- přesnost 0.01% z rozsahu (pro $\pm 100\,000\text{ nT}$);
- rozsah $-200\,000$ až $+200\,000\text{ nT}$;
- vzorkovací frekvence 10 až 154 Hz ;
- provozní teplota od -40 do $+85\text{ }^\circ\text{C}$;
- rozhraní RS232 nebo RS485



Obrázek 1.3: Honeywell HMR2300. [5]

¹Anisotropic Magnetoresistance

1.2 Komerčně dostupná záznamová zařízení

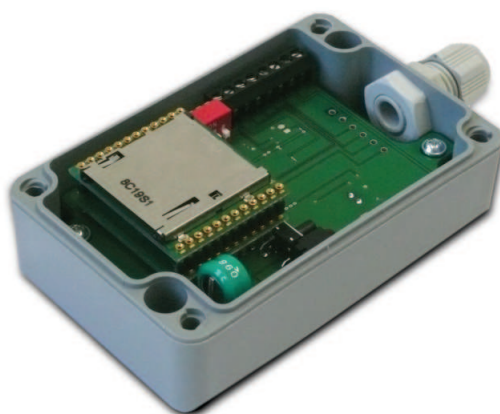
Rozhodnutí vyvinout vlastní záznamík dat předcházel průzkum nabídky komerčně dostupných zařízení. Specializované zařízení pro sběr dat z magnetometrů nebylo nalezeno. Univerzálních záznamníků dat pro rozhraní RS232, které by byly dostatečně odolné proti povětrnostním vlivům a byly schopny práce bez externího zdroje napájení, také neexistuje mnoho. Dva níže uvedení zástupci mají vlastnosti, které se blížily k požadavkům na záznamník nejvíce.

1.2.1 Avisaro Data Logger Cube 2.0

Tento samostatně funkční záznamník nahrává data z rozhraní RS232 a ukládá je na SD kartu. Obsah paměti je možné vyčíst přímo ze záznamníku přes doplňkové komunikační rozhraní nebo vyjmutím karty a jejím přečtením v externí čtečce pam. karet. Záznamník může pasivně zaznamenávat komunikaci na lince nebo může i sám inicializovat komunikaci vysíláním řídicích zpráv. [2]

Charakteristické vlastnosti:

- jedno rozhraní RS232;
- vestavěný slot na SD kartu do kapacity 16 GB;
- zálohovaný obvod reálného času;
- možnost přizpůsobit chování záznamníku (skripty);
- napájecí napětí 6 až 32 V, spotřeba 0.5 W;
- teplotní rozsah od -30 do $+85$ °C;
- rozměry $98 \times 64 \times 34$ mm, krytí IP66.



Obrázek 1.4: Avisaro Data Logger Cube 2.0 [2]

Pozitivní vlastností jsou malé rozměry, odolné provedení a v neposlední řadě možnost přizpůsobit sběr dat uživatelskými skripty. Mezi nevýhody lze zařadit nutnost záznamník rozšroubovat při každé manipulaci s kartou, dále příkon zařízení a velmi dlouhá doba nabíjení akumulátoru (48 h). Cena se pohybuje okolo 9500 Kč.

1.2.2 SpaceLogger.S10

SpaceLogger.S10 je kompaktní záznamník dat jedné linky RS232 na paměťovou kartu SD nebo MMC. Na začátku měření může záznamník vyslat sekvenci znaků (pro konfiguraci připojeného zařízení). Kromě sériové linky může záznamník ukládat informaci o čase a také stav dvou digitálních vstupů. [21]

Charakteristické vlastnosti:

- jedno rozhraní RS232;
- vestavěný slot na SD/MMC kartu do kapacity 2 GB;
- zálohovaný obvod reálného času;
- dva digitální vstupy (3 V);
- napájecí napětí 7 až 30 V, spotřeba 0.12 W;
- teplotní rozsah od -25 do $+70$ °C;
- rozměry $67 \times 67 \times 28$ mm.



Obrázek 1.5: SpaceLogger.S10 [21]

Velkou výhodou záznamníku je jeho nízký příkon a malé rozměry. Konstrukce záznamníku ale umožňuje použití pouze ve vnitřním prostředí. I díky tomu je karta uživatelsky lehce dostupná (slot na čelní straně). Tento záznamník také nemá vestavěný akumulátor a proto vyžaduje externí zdroj energie. Cena záznamníku včetně napájecího adaptéru je přibližně 8000 Kč.

Z výše uvedených příkladů je patrné, že zmíněné komerční produkty se úzce zaměřují pouze na záznam dat a času. Nemají možnost přímé interakce s uživatelem (online zobrazení přijímaných dat, tlačítka) a pro nastavování jejich vlastností (např. parametry rozhraní RS232) je nutné využít počítač (ruční editace konfig. soubor, komunikace přes terminál). Uživatel nemá přehled o tom, kolik volného datového prostoru zbývá, nezná napětí akumulátor a ani není možné zobrazovat náhled měřených dat. Žádný ze záznamníků také nedokáže sbírat data z více rozhraní najednou. Použití těchto zařízení by bylo omezující jak z hlediska funkčnosti, tak ze stránky mechanického provedení. Proto bylo rozhodnuto o vývoji vlastního zařízení. Jeho vlastnostem se věnuje další kapitola.

1.3 Vlastnosti vyvíjeného záznamníku

Záznam číselných dat z jednoho vektorového magnetometru spočívá v ukládání tří desetinných čísel (složky x , y , z). Měření je zpravidla delšího charakteru (desítky hodin).

Spolu s těmito daty je uložena informace o čase a datu měření, okolní teplotě a napájecím napětí záznamníku. V hlavičce záznamového souboru se nachází také informace o GPS souřadnicích záznamníku, počtu dostupných satelitů, nadmořské výšce a UTC času. Vyvíjený přístroj data nejen sbírá a ukládá, ale také řídí činnost magnetometrů. Je schopen obsluhovat dva magnetometry zároveň, oba jsou připojeny pomocí rozhraní RS232. Volitelně lze vekt. magnetometry zaměnit za Overhausery *GSM-19*.

Kromě specifické práce s magnetickými přístroji umožňuje i záznam obecných dat. Poté přístroj slouží pouze jako záznamník dat ze sériových linek na SD kartu (obdobně jako uvedené komerční záznamníky).

Podporovaná zařízení jsou tedy následující:

- vektorový magnetometr *DigMag03* (vektorový fluxgate magnetometr s rozhraním RS232, vyvíjený na katedře měření FEL, ČVUT);
- Overhauser *GEM Systems GSM-19* (referenční hodnoty);
- obecný přístroj s rozhraním RS232.

1.3.1 Klíčové vlastnosti

Mezi hlavní vlastnosti záznamníku lze zařadit následující položky:

- zpracování dat z vekt. magnetometru a skal. magnetometru (Overhauser);
- zobrazení provozních informací na grafickém displeji (včetně náhledu na data přijímaná z magnetometrů);

- ukládání dat na SD kartu;
- intuitivní ovládání (především snadné a rychlé spuštění záznamu dat);
- nízká spotřeba zařízení (práce na baterie);
- spolehlivá a samostatná práce ve venkovním prostředí, rozsah teplot od -20 do $+50$ °C;
- kompaktní a mechanicky odolné provedení přístroje.

Další nedílnou součástí přístroje je přítomnost dálkového ovládání pro spuštění jednorázového odměru magnetometru. Je určen pro sběr dat při skalární kalibraci vektorových magnetometrů.

Mezi další důležité vlastnosti patří schopnost ukládat (spolu s daty z magnetometru) relativně přesnou časovou informaci. Relativně přesnou hodnotou se rozumí odchylka řádově v několika stovkách milisekund. Toto je také jeden z důvodů, proč je součástí přístroje GPS přijímač. S jeho pomocí lze kalibrovat vnitřní RTC² obvod a udržovat čas dostatečně přesný.

Z pohledu šetření energie je přístroj vybaven senzorem okolního světla. Podle jeho údajů je řízen jas displeje a podsvícení ovládacích tlačítek. Podsvícení a displej jsou významnými spotřebiči elektrické energie.

²Real Time Clock

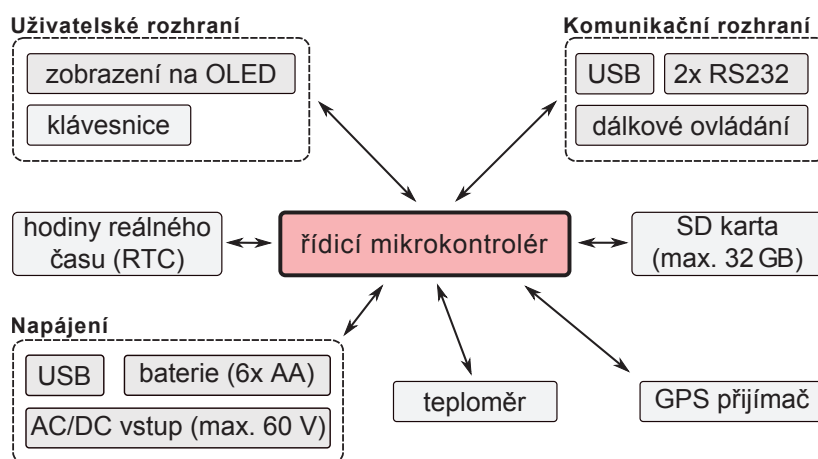
Kapitola 2

Návrh zapojení

2.1 Blokové zapojení záznamníku

Řídícím členem celého zařízení je mikrokontrolér s vyvinutým firmwarem (více v části Firmware přístroje). Mikrokontrolér komunikuje s připojenými přístroji po sériových linkách RS232. Interakce s uživatelem probíhá přes modul klávesnice, displej a dálkové ovládání. Spolu se zaznamenávanými daty se ukládá aktuální teplota záznamníku, dále informace z GPS přijímače a to vše se včetně časového razítka z RTC obvodu zapisuje na SD kartu.

Napájení celého zařízení je realizováno třemi možnými způsoby: baterie v záznamníku, obecný vstup a USB. Za primární zdroj napájení lze označit baterie (šest AA článků, každý o nominálním napětí 1.5 V). V případě připojení USB kabelu je možné zařízení napájet přímo z USB sběrnice. Poslední možností je obecný AC/DC vstup s širokým rozsahem vstupního napětí.



Obrázek 2.1: Blokové zapojení zařízení.

2.2 Hlavní komponenty

Tato kapitola vyzdvihuje použité klíčové komponenty, jejich vlastnosti, význam v konstrukci a důvod jejich volby. Neklade si však za cíl obsáhnout vše, co je uvedeno v katalogových listech jednotlivých prvků.

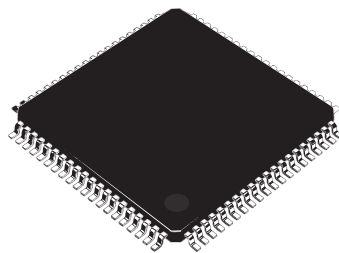
2.2.1 Mikrokontrolér

Řídicím mikrokontrolérem celého zařízení je obvod *PIC32MX795F512* od amerického výrobce *Microchip*. Jedná se o 32b mikrokontrolér pro všeobecné použití, postavený je na jádře *M4K* od *MIPS Technologies*. Jádro má RISC architekturu s rozšířenou instrukční sadou.

K významným vlastnostem patří zejména:

- maximální frekvence jádra i periferií 80 MHz ;
- napájecí napětí 2.3 až 3.6 V ;
- 512 kB programové FLASH paměti a 128 kB paměti RAM přímo na čipu;
- čtyři zdroje hodinového kmitočtu, PLL obvod konfigurovatelný za běhu programu;
- až šest UART¹ modulů, pět I2C² a čtyři SPI³ moduly;
- CAN⁴ modul a USB⁵ modul s funkcí USB On-The-Go;
- ethernetové rozhraní $10/100\text{ Mbps}$;
- pět 16b čítačů (volitelně i 32b);
- až 16 kanálů AD převodníku (10-bit, 1 MSa/s);
- provozní teplota od -40 do $+85\text{ °C}$.

Naše provedení v pouzdru 100 TQFP⁶ umožňovalo ruční připájení na desku plošných spojů.



Obrázek 2.2: Ilustrační obrázek pouzdra TQFP. [1]

¹Universal Asynchronous Receiver and Transmitter

²Inter-Integrated Circuit, někdy též označována jako TWI (Two Wire Interface)

³Serial Peripheral Interface

⁴Controller Area Network

⁵Universal Serial Bus

⁶Thin Quad Flat Package

Tento mikrokontrolér byl vybrán na základě mých pozitivních zkušeností s produkty *Microchipu* (8b MCU). Zpočátku byl i tento projekt vyvíjen na 8b mikročipu *PIC18F67J50*. Po implementaci souborového systému, USB a součástí pro práci s displejem bylo rozhoduto přejít na vyšší čip, zejména kvůli značně vyčerpané programové i operační paměti. Projekt byl tedy přeportován na výše zmíněný model *PIC32MX795F512*. Tento konkrétní model byl vybrán s důrazem na vysoký výkon, velké množství vnitřní paměti a bohaté periferie. [12]

2.2.2 Displej

O zobrazování provozních informací se na zařízení stará OLED⁷ modul *NHD-2.7-12864UMY3* od společnosti *Newhaven Display*. Součástí modulu je jak displej typu OLED, tak obsluhující řadič *Solomon Systech SSD1325* [27]. Kromě toho je přítomen i obvod obsahující předdefinované fonty.

Mezi jeho přednosti patří nízké napájecí napětí (od 2.9 do 3.5 V), nízký příkon, široké pozorovací úhly a rozsah provozních teplot (−20 až +70 °C). Za zmínku také stojí, že každý pixel dokáže svítit 16 různými intenzitami (nezávisle na ostatních pixelech).

Spotřeba displeje velmi závisí na množství aktivních pixelů a použitém napájecím napětí. Při všech aktivních pixelech je udávaná typ. spotřeba při napětí 2.8 V 53 mA. Pro dosažení vyššího jasu a tedy lepší čitelnosti je však nutné použít napájecí napětí vyšší. V našem případě je použito napětí 3.3 V a maximální spotřeba displeje je pak ≈ 300 mA. Je zajímavé, že sám výrobce doporučuje, aby bylo použito napájecí napětí až od hodnoty 2.9 V.

Displej komunikuje s nadřazeným systémem buď sériově, nebo paralelně. Sériové zapojení šetří množství použitých vodičů, ale neumožňuje zpětné čtení z displeje. Oproti tomu při paralelní komunikaci s šířkou sběrnice 8 bitů lze data i zpětně číst. Sériová komunikace funguje na mírně vyšší frekvenci (40 MHz vůči 33 MHz při paralelní komunikaci [27]), přesto je její datová propustnost menší. S ohledem na výše uvedené a na fakt, že na řídicím mikrokontroléru byl k dispozici dostatek volných vývodů, bylo navrženo zapojení s paralelní komunikací. Možnost komunikovat sériově zůstala zachována, protože displej při tomto režimu využívá pouze část svých vývodů a ty jsou sdíleny s vývody pro paralelní komunikaci.

2.2.3 GPS modul

Přijem GPS signálu zajišťuje malý GPS modul *A2035-H* s vestavěnou anténou od firmy *Maestro Wireless Solutions*. [24]

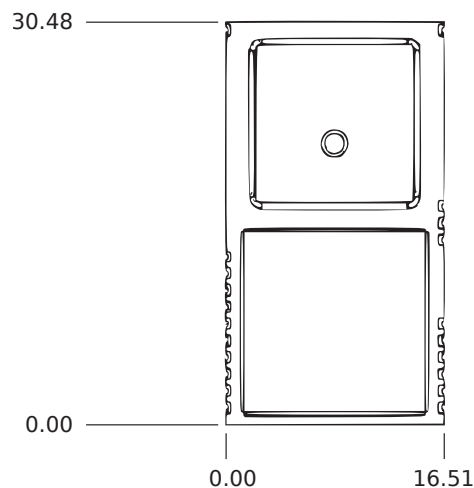
⁷Organic Light Emitting Diode

Mezi nejdůležitější charakteristické vlastnosti patří:

- napájecí napětí od 3.0 do 3.6 V;
- rozměry $30.5 \times 16.5 \text{ mm}$;
- provozní teploty od -40 do $+85 \text{ }^\circ\text{C}$;
- jednostranně osazený modul, pouze SMT⁸ součástky včetně integrovaných antén;
- komunikační rozhraní UART.

Komunikace po rozhraní UART probíhá obousměrně za použití textového standardu NMEA⁹, což je standard běžně používaný v námořních elektronických zařízeních [22] [23].

Modul poskytuje informace o čase, zeměpisné šířce a výšce, nadmořské výšce, počtu přijímaných satelitů a také synchronizační vteřinové pulzy.



Obrázek 2.3: Náčrt GPS přijímače. Rozměry v milimetrech. [24]

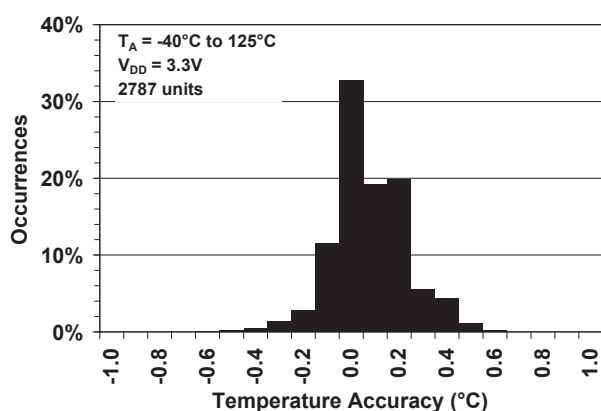
2.2.4 Teploměr MCP9804

Digitální teploměr od *Microchipu* měří teplotu samotného záznamníku. Je integrován do pouzdra MSOP-8 a pracuje s rozlišením až $0.0625 \text{ }^\circ\text{C}$ a typickou přesností $\pm 0.25 \text{ }^\circ\text{C}$. Při tomto rozlišení měří s periodou 250 ms . Funguje v rozmezí teplot -40 až $+125 \text{ }^\circ\text{C}$ a napájecím napětí 2.7 až 5.5 V , běžný odběr během činnosti je pouze $200 \mu\text{A}$ [11].

S mikrokontrolérem komunikuje po sběrnici I2C.

⁸Surface Mount Technology

⁹National Marine Electronics Association



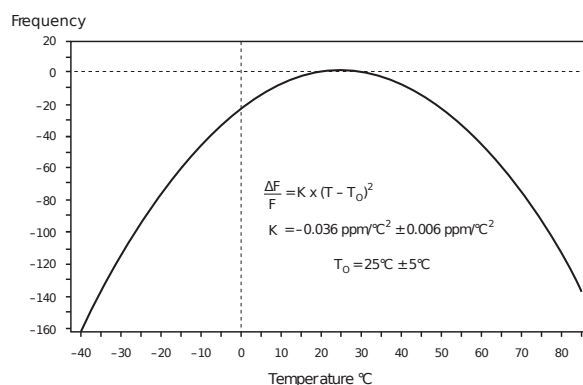
Obrázek 2.4: Přesnost teploměru MCP9804 v celém rozsahu teplot. [11]

2.2.5 Hodiny reálného času M41T82

Obvod reálného času *STMicroelectronics M41T82* udržuje aktuální čas a datum po celou dobu životnosti přístroje. Tento obvod pracuje při napětí 2.4 až 5.5 V v teplotách od -40 do $+85$ °C. Během výpadku hlavního napájení je k dispozici záložní baterie.

Tento obvod se od jiných liší tím, že umožňuje kalibraci svého běhu. Nastavením vnitřních registrů obvodu lze dosáhnout velmi dobré přesnosti času. Jelikož je přesnost závislá na teplotě, je možné ho - díky znalosti teploty záznamníku - kalibrovat dle aktuálního stavu prostředí a minimalizovat tak možné nepřesnosti (Obrázek 2.5).

Obvod komunikuje po I2C sběrnici a ke svému chodu vyžaduje externí krystal o nominální frekvenci 32768 Hz. Nejmenší časovou jednotku představují setiny vteřiny. [25]



Obrázek 2.5: Závislost přesnosti oscilátoru M41T82 na teplotě. [25]

2.2.6 Nevolatilní pamět 24LC64

Nevolatilní pamět *Microchip 24LC64* je paměť typu EEPROM¹⁰ umístěná na PCB¹¹ v pouzdře MSOP-8. V zapojení slouží především k ukládání konfiguračních dat přístroje. Paměť je organizována jako jeden blok o velikosti $8\text{ K} \times 8\text{ bit}$, celkem tedy 64 kb . Počet přepisů je stanoven na více než jeden milion. Pracuje při napětí 2.5 až 5.5 V v teplotách od -40 do $+85\text{ }^\circ\text{C}$. S mikrokontrolérem komunikuje po společné sběrnici I2C. [10]

2.3 Funkční bloky zapojení

V této kapitole jsou rozebrány vybrané funkční bloky zapojení. Kompletní zapojení přístroje je součástí přílohy i příloženého CD.

2.3.1 Linky RS232

2.3.1.1 Převodník úrovní MAX3232EID

Komunikace s připojenými přístroji je realizována přes dvojitý převodník napěťových úrovní *MAX3232EID*. Převádí napěťové úrovně sériové linky RS232 na TTL úrovně¹², které je možno připojit na vstupně výstupní piny mikrokontroléru. Jeho nespornou výhodou je práce na napětí od 3.0 do 5.5 V a rozsah operačních teplot je v tomto provedení -40 do $+85\text{ }^\circ\text{C}$.

Pozitivní je nízká spotřeba ($300\text{ }\mu\text{A}$) a integrovaná ESD¹³ ochrana. Maximální rychlost 250 kbps je pro naše použití dostatečná. [7]

2.3.1.2 Čítače TLC555ID

Tento obvod je dvojitý čítač a v konstrukci funguje jako monostabilní klopný obvod (MKO) (Obrázek 2.6). Smyslem zapojení je efektivní signalizace probíhající komunikace s připojenými přístroji pomocí LED¹⁴. Je žádoucí, aby i velmi krátký přenos dat bude signalizován dostatečně dlouhým svitem diody. Signalizace funguje bez účasti řídicího mikrokontroléru, pro obě sériové linky a oba směry přenosu zvlášť (tj. celkem $4 \times$ LED a tedy i $4 \times$ MKO).

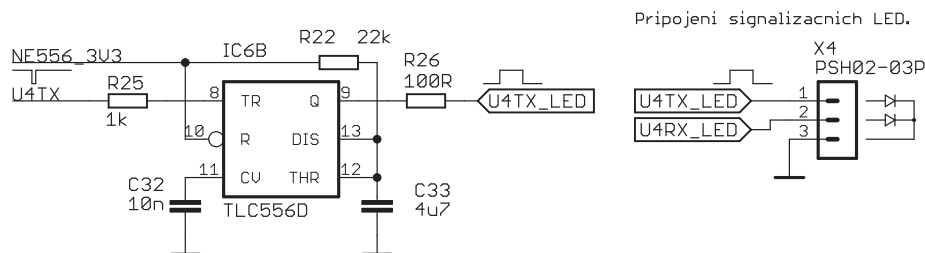
¹⁰Electrically Erasable Programmable Read Only Memory

¹¹Printed Circuit Board

¹²Transistor Transistor Logic

¹³Electrostatic Discharge

¹⁴Light Emitting Diode



Obrázek 2.6: Zapojení jednoho čítače pro řízení signalizace jedné LED.

Zcela vlevo je vstupní spouštěcí signál U_4TX . Na výstupní sinál U_4TX_LED je veden na konektor, kam je připojen vývod dvoubarevné signalizační diody se společnou katodou.

Vstupní informaci pro MKO nese vždy datový vodič dané sériové linky. Využívá se signál mezi mikrokontrolérem a převodníkem úrovní $MAX3232$. Odbočka signálu je použita pro spouštění události klopného obvodu. Na ilustračním obrázku 2.6 je to signál U_4TX .

Signál U_4TX má v klidovém stavu logickou jedničku a přenos dat vždy začíná start bitem, jehož úroveň je logická nula. Tato sestupná hrana znamená, že se obvod překlápí do nestabilního stavu a v něm zůstane po definované době. Během této doby LED svítí bez ohledu na to, jestli přenos na lince ještě probíhá nebo ne. To má za následek, že uživatel jasně vidí libovolně krátký přenos dat.

Doba, po kterou zůstává MKO ve svém nestabilním stavu, je dána vztahem 2.1, [8]. Výpočet se váže k ilustračnímu zapojení na obrázku 2.6.

$$\begin{aligned}
 t_{ON} &= LN(3) \cdot R22 \cdot C32 \\
 &= LN(3) \cdot 22 \cdot 10^3 \cdot 4.7 \cdot 10^{-6} \\
 &\approx 110 \text{ ms}
 \end{aligned}
 \tag{2.1}$$

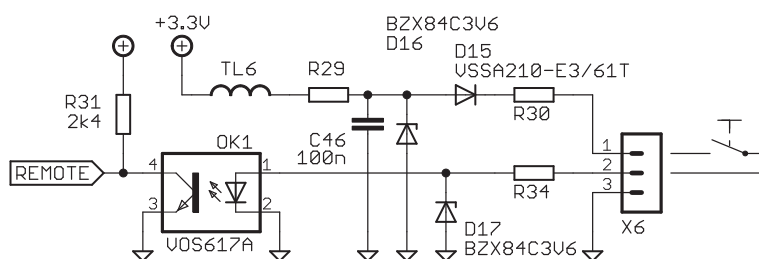
2.3.2 Dálkové ovládání

Dálkovým ovládáním se rozumí chráněný digitální vstup vyvedený na konektor v přístrojovém panelu. Slouží pro ovládání jednorázového odměru dat. Z uživatelského hlediska představuje dálkové ovládání pouze na kabelu umístěný spínač propojující signály 1 a 2 na konektoru X6 (Obrázek 2.7).

Mikrokontrolér sleduje signál REMOTE, který je v klidu (rozepnutý spínač ovládání) v log. 1. Sepnutím spínače se signál REMOTE invertuje do log. 0, protože dojde k rozsvícení diody v oddělovacím optočlenu OK1 a její rozsvícení způsobí stáhnutí signálu REMOTE do log. 0. Diody D16 a D17 chrání vstup proti přepětí, jejich zenerovo napětí je 3.6 V. Dioda D15

omezuje tok proudu pouze ven ze zařízení a spolu s tlumivkou TL6 a kondenzátorem C46 zamezuje tomu, aby se do hlavní napájecí větve +3.3 V dostaly jakékoliv nežádoucí signály. Odporů R29, R30 a R34 omezují maximální proud tekoucí vstupem dálk. ovládání a to tak, aby byl chráněn vstup zařízení a také aby diodou v optočlenu OK1 procházel její nominální proud.

Toto zapojení má v klidu takřka nulovou spotřebu, protože LED optočlenu svítí pouze při stisku spínače ovládání.



Obrázek 2.7: Zapojení dálkového ovládání.

2.3.3 Senzor osvětlení

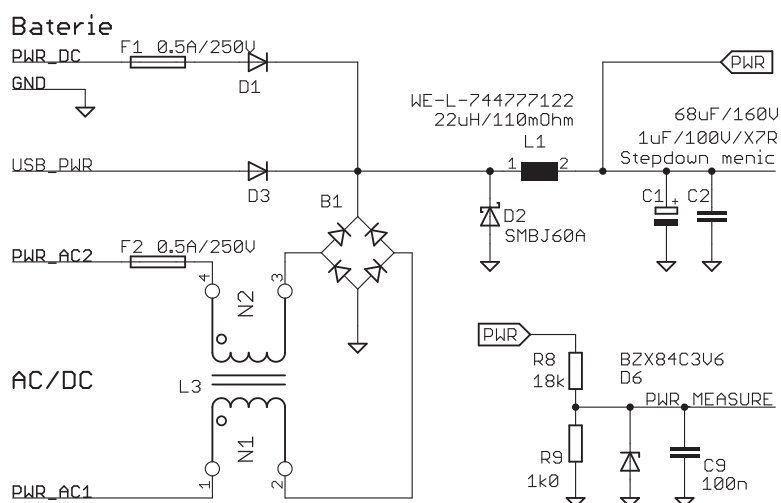
Tento senzor je využíván pro automatické řízení jasu displeje dle intenzity okolního osvětlení. Cílem je snížit spotřebu přístroje. Použitý senzor *Sharp GA1A2S100SS* má lineární proudový výstup. Tento signál je veden do těsné blízkosti mikrokontroléru, kde je přes rezistor uzemněn. Úbytek napětí vzniklý na tomto rezistoru je posléze měřen vestavěným AD převodníkem.

2.3.4 Napájecí obvody

Zařízení je možné provozovat ze tří zdrojů elektrické energie. Za primární zdroj napájení lze označit šest AA článků umístěných v těle zařízení, každý o nominálním napětí 1.5 V. Na tento zdroj bude záznamník provozován většinu času. Vstup je chráněn pojistkou F1 proti zkratu a proti přepolování diodou D1. U ní byl kladen důraz na nízké napětí v propustném směru ($\approx 0.3\text{ V}$), aby byly ztráty při napájení z baterií malé. Zároveň tato dioda odděluje baterie od ostatních napájecích zdrojů.

V případě připojení USB kabelu je možné přímé napájení z USB sběrnice. Napětí na ostatních vstupech musí být nutně nižší než +5 V na USB. Dioda D3 má stejný význam, jako výše zmíněná dioda D1. Tento zdroj napájení je pouze doplňkový.

Třetí možnost představuje obecný vstup střídavého napětí s amplitudou 6 až 60 V. Tento vstup by měl zajistit běh záznamníku z mnoha nejrozličnějších zdrojů dle aktuální potřeby. Pojistka F2 na vstupu slouží jako



Obrázek 2.8: Schéma vstupní části napájení.

ochrana před nadměrným proudem. Za ní je kompenzovaná tlumivka L3, která ze vstupního napětí vyfiltruje případné souhlasné rušení. Po tlumivce následuje usměrňovací můstek.

Ve společné větvi je pak ochranná dioda D2 proti přepětí. Tlumivka L1 zpomalí počáteční nabíjení kondenzátoru C1 a zmírní proudový impuls. Kondenzátory C1 a C2 zajistí dostatek stabilní energie pro stepdown měnič, který je hned za nimi. Měnič vytváří napětí o hodnotě 3.3 V, jenž se používá pro napájení všech komponent. Před kondenzátory C1 a C2 je odbočka signálu PWR, který je přiveden na napěťový dělič R8/9. Z něho vede signál do AD převodníku v mikrokontroléru, kde probíhá měření hodnoty napájecího napětí. Vstup ADC je chráněn zenerovou diodou D6.

2.4 Návrh desek plošných spojů

Návrh schématu zapojení a později i návrh všech plošných spojů probíhal po celou dobu v programu *CadSoft EAGLE PCB Design Software* ve verzi 6.1.0 Professional. Autorouter pro návrh PCB¹⁵ nebyl použit. Během návrhu byly uplatněny zásady optimálního návrhu, které jsou popsány ve zdrojích [20] a [30].

Pro výrobu PCB byla využita služba *POOL Servis (PragoBoard s.r.o.)* určená pro profesionální výrobu plošných spojů, zejména prototypů. Je to výroba bez zhotovení a archivace vlastních filmových předloh. Předlohy jsou

¹⁵Printed Circuit Board

společně pro více různých PCB od různých zákazníků. Cena předloh je rozpočítána do fixní ceny za 1 dm^2 desky. Výsledná cena je pak pro kusou výrobu přijatelnější. [19]

Desky neobsahují slepé ani pohřbené vrtání a velikost spoje je minimálně $150\ \mu\text{m}$. Vyhotoveny byly s nepájivou maskou, povrchovou úpravou chemické zlato a s jedním servisním potiskem.

Zařízení bylo vyvíjeno ve dvou etapách (prototyp, finální verze) a všechny desky byly osazeny ručně pomocí mikropáječky.

2.4.1 Prototyp

V první etapě bylo navrženo jednodušší testovací zapojení pro ověření a testování základních funkčních bloků přístroje (zejména obsluha SD karty, displeje a návrh spínaného zdroje). Prototyp vznikl během letních prázdnin 2013 jako součást individuálního projektu A3B38IND (ještě před ofic. začátkem projektu). V této době jsem také vytvořil logo projektu, které nesou všechny PCB. Text loga vychází ze stejnojmenného názvu práce v seznamu rámcových témat BP [4].



Obrázek 2.9: Logo projektu umístěné na deskách plošných spojů.

Součástí prototypu byla tři tlačítka, RTC obvod, teploměr a velké množství pinů mikrokontroléru vyvedených na rozšiřující lištu. Na této desce byl odladěn základ firmwaru přístroje. K návrhu finálního provedení došlo v okamžiku, kdy bylo potřeba programovat uživatelské rozhraní přístroje. Během vývoje nebyly na prototypu nalezeny žádné chyby v zapojení.

Fotografie prototypu se nachází v příloze.

2.4.2 Finální verze

Finální podoba zapojení se od prototypu liší v mnoha dílčích bodech, jádro zapojení však zůstalo zachováno. Seznam změn shrnuje následující přehled.

- přidání EEPROM paměti pro uložení konfiguračních dat
- přidání senzoru okolního osvětlení
- přidání obvodu pro dálkové ovládání
- přidání ochran pro USB a linky RS232
- přidání piezo bzučáku pro zvukovou signalizaci
- přidání klopných obvodů pro indikaci přenosu dat na linkách RS232
- přidání modulu GPS přijímače

- výměna RTC obvodu za typ M41T82 (umožňuje dig. kalibraci běhu oscilátoru)
- výměna nedostupného teploměru za jiný dostupný typ
- rozdělení PCB na základní desku, klávesnici, desku s SD kartou a desku s GPS přijímačem
- změna návrhu zdroje (menší proudové smyčky)

Zapojení bylo rozděleno na více PCB, zejména kvůli mechanickému uspořádání v přístroji. Základní deska má vyšší hustotu spojů než ostatní desky, a proto byla navržena odděleně jako čtyřvrstvá. Ostatní desky mají pouze dvě vrstvy.

Motiv PCB základní desky a fotografie všech desek se nachází v příloze. Návrhy všech PCB jsou na přiloženém CD.

Kapitola 3

Firmware přístroje

3.1 Vývojové prostředky

Při vývoji firmwaru byly použity zejména produkty společnosti *Microchip*. Jde o programátor¹ a debugger², IDE³, softwarové knihovny a kompilátor.

3.1.1 Programátor a debugger

Na programování a ladění jsem používal produkt *MPLAB ICD 3 In-Circuit Debugger*, který v sobě kombinuje obě zařízení. Mezi výhody patří možnost ladění v reálném čase, rychlé programování, kompaktní provedení a napájení z USB. Jedná se o univerzální prostředek pro produkty firmy *Microchip*. Cena se pohybuje okolo 200 USD [14].

3.1.2 IDE a kompilátor

Vývojová prostředí byla používána dvě. Starší *MPLAB v8.90* (již dále nevyvíjené [13]) a aktuální *MPLAB X IDE v1.90*. Starší zejména pro překlad a potřeby debugování, protože v této verzi je debugování pohodlnější a efektivnější. Nové IDE poskytuje výrazně lepší barevné zvýrazňování kódu, disponuje našeptáváním, všechny jeho dílčí prvky lze lépe rozmístit a celkově se jedná o moderní prostředí s vyšším komfortem práce. Je postaveno na open source prostředí *NetBeans IDE* od společnosti *Oracle* [16].

Aktuální kompilátory společnosti *Microchip* tvoří rodina kompilátorů jazyka C s názvem XC. V základní verzi se jedná o zdarma dostupné kompilátory bez funkčních omezení (zejména velikost programu) [17]. Vyšší placené

¹Programátorem se rozumí zařízení určené pro nahrání zkompilovaného programu do zařízení.

²Debugger je nástroj, který se používá pro ladění chyb při vývoji softwaru. [29]

³Integrated Development Environment

verze přidávají různé stupně optimalizací kódu a přednostní technickou podporu. Jedná se o poměrně nové kompilátory, které nahrazují řadu starších, včetně kompilátorů třetích stran. Vyvíjené zařízení je postaveno na 32b mikrokontroléru PIC32MX795F512L, tomu odpovídá kompilátor XC32, v tomto případě ve verzi 1.31. Byl používán v základním neplaceném režimu.

3.1.3 Softwarové knihovny

Softwarové knihovny byly využity pro dvě větší programové části:

- obsluha SD karty včetně souborového systému [18];
- obsluha USB.

Jejich využití je opodstatněno tím, že nebylo nutné se detailně zabývat problematikou implementace dané funkcionality. Díky tomu bylo možné se soustředit na řešení vlastní aplikace.

Tyto knihovny *Microchip* nabízí zdarma pod označením *Microchip Libraries for Applications*. Jejich součástí jsou schémata zapojení, ovladače, funkční dema, dokumentace a další pomocné nástroje [15]. Je to komplexní sada různých obecných řešení (USB, TCP/IP, knihovna pro dotykové ovládání, bezdrátové sítě atp.). Využívána byla verze v2013-02-15.

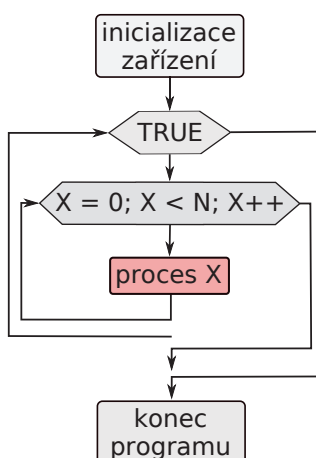
3.2 Struktura firmware

Celý firmware přístroje je napsán na míru pro toto zařízení. Není zde využit žádný z operačních systémů pro mikrokontroléry (např. FreeRTOS). Konceptce firmwaru je pojata tak, aby byl systém dostatečně modulární, jednoduše rozšiřitelný a aby bylo možné jednotlivé funkční celky upravovat bez zásahů jinde.

Z uvedeného důvodu je program rozdělen do tzv. procesů. Se skutečnými procesy to nemá téměř nic společného, jde pouze o označení. Proces disponuje množinou datových struktur, které jsou typicky minimálně tři: bitové pole flagů, vnitřní proměnné a komunikační rozhraní.

- **flagy** - ukládání vnitřních stavů procesu, signalizace, výměna dat mezi částmi procesu, jednobitové vnější příkazy (např. SetDisplayOn)
- **vnitřní proměnné** - ukládání provozních dat procesu, převážně privátní informace daného procesu
- **komunikační rozhraní** - datová struktura sloužící pro výměnu dat mezi jednotlivými procesy

Kromě datových struktur je součástí procesu také funkce *process*, která je periodicky volána a tvoří vlastní funkčnost daného procesu (probíhají zde výpočty a jsou z ní volány další pomocné funkce). Funkce *process* je volána z hlavní smyčky.



Obrázek 3.1: Diagram hlavní smyčky firmwaru.

Z diagramu na obrázku 3.1 je patrné, že po spuštění nejprve přístroj vykoná inicializaci všech součástí. Poté program vstoupí do nekonečné hlavní smyčky `while(true)`, kde setrvá po celou dobu svého běhu. V této smyčce je cyklus `for(X = 0; X < N; X++)`, jehož úkolem je volat všech N existujících procesů (tj. volat všechny v systému existující funkce *process*). Je na každém procesu, kdy se vzdá řízení programu. Odjímání procesoru není možné. Jednotlivé procesy si vyměňují informace přes strukturu komunikačního rozhraní.

Jedinou výjimkou, kdy program dočasně opouští hlavní smyčku, jsou přerušení. Do této skupiny spadají události jako příjem dat na linkách RS232 nebo stisk tlačítek klávesnice.

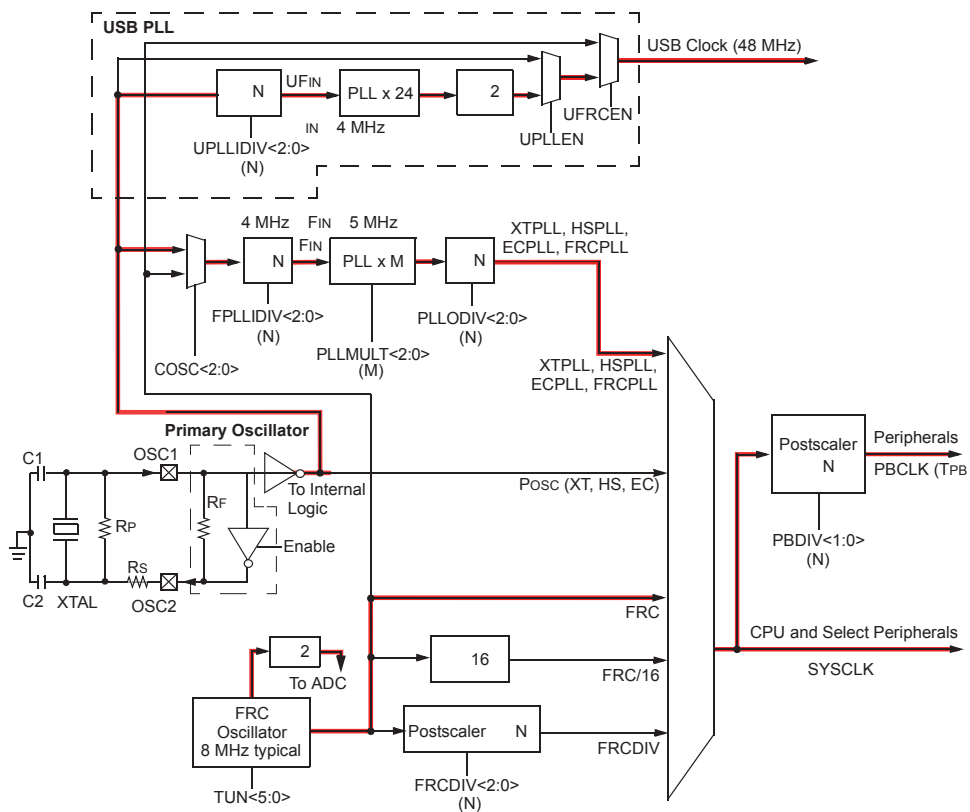
Pro časování událostí je v mikrokontroléru vyhrazen jeden 32b čítač, který běží po celou dobu běhu programu. Díky známé frekvenci inkrementace čítače je možné dopočítávat nejruznější časové úseky (např. procesor neblokující funkce `Delay()` nebo časování překreslování displeje).

Frekvence běhu mikrokontroléru není po celou dobu běhu programu stejná. Řídit hodinový kmitočet je nutné s ohledem na příkon celého zařízení. V závislosti na vykonávané aktivitě se střídají frekvence 6 MHz a 40 MHz a přechodně je využíván i 8 MHz vnitřní oscilátor. Změna je možná v širokém rozsahu frekvencí, protože v mikrokontroléru integrovaný PLL⁴ obvod umožňuje změny hodnot děliček a násobiček frekvence za chodu. Přepnutí frekvence je otázkou několika desítek mikrosekund. Pro většinu činností stačí nižší frekvence, vyšší je využívána typicky při obsluze souborového systému a SD karty. Změny systémového kmitočtu neovlivňují funkčnost USB (USB má vlastní PLL obvod).

Původním záměrem bylo držet mikrokontrolér po většinu času v režimu spánku. Jeho probuzení bylo v plánu mj. ve chvíli, kdy přijdou nová data

⁴Phase Locked Loop

po sériových linkách. Toto se však později ukázalo jako nereálné, neboť periferie UARTu není po probuzení schopna zpracovat první byte. Docházelo tedy ke ztrátám dat a proto bylo od tohoto řešení upuštěno a bylo implementováno dynamické snižování frekvence.



Obrázek 3.2: Zjednodušené schéma systému distribuce frekvence.

Používané části jsou zvýrazněny. Mezi vstupy OSC1 a OSC2 je připojen krystal o frekvenci 8 MHz.

Kapitola 4

Mechanické provedení

4.1 Kufř, konektory, tlačítka, držáky baterií

Celé zařízení je vestavěno do odolného kufřu Peli 1150, což je kufř z velmi pevného plastu o vnějších rozměrech $23 \times 19 \times 11$ cm. Pro umožnění vestavby přístrojového panelu se do kufřu montuje plastový rámeček, který se z jedné své strany připevní do těla kufřu a z druhé strany se do něho přišroubuje panel. Kufř získal certifikaci IP67 a je tedy zcela odolný proti vniknutí prachu a vydrží ponoření do vody do hloubky až 1 m (30 minut). Toto by mělo zajistit dostatečnou odolnost přístroje.

Na levé straně zařízení jsou umístěny dva standardní konektory pro rozhraní RS232 (v provedení IP67) a konektor pro připojení extreního napájecího zdroje. Na protější straně kufřu se nachází krytky tří držáků baterií (každý pro dvě tužkové baterie, velikost AA). Vše odpovídá krytí IP67. Ovládací tlačítka pochází od dánského výrobce MEC, model unimec 16312 s jednou kulatou signalizační LED. Jsou to modulární dvoupólová tlačítka, lze volit barvu hmatníku, výšku tlačítka, počet a barvu LED [26].

Konektory RS232, USB, konektor dálkového ovládaní a tlačítka vybral vedoucí práce.

4.2 Přístrojový panel

Přístrojový panel je vyroben ze 2 mm tlustého hliníkového plechu, do kterého byly vyfrézovány otvory pro displej, tlačítka, konektory, GPS modul a také štěrbina pro vložení SD karty. Displej a GPS modul jsou navíc kryty ochranným plexisklem.

Panel byl navržen v CADu vedoucím práce.

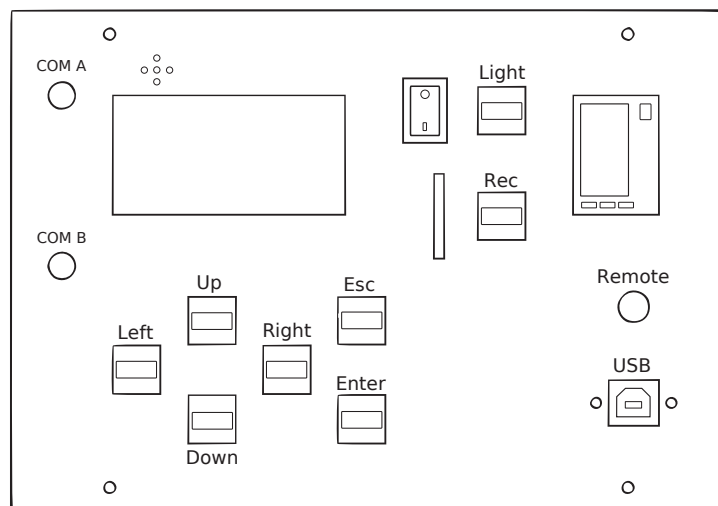
Kapitola 5

Ovládání přístroje

Tato kapitola se věnuje ovládání přístroje z pohledu jeho uživatele.

5.1 Přístrojový panel

Přístrojovým panelem se myslí ovládací část přístroje, která je přístupná po otevření kufru. Jeho dominantní část tvoří OLED displej nacházející se v levé horní části. Nalevo od displeje je umístěna dvojice dvoubarevných svítivých diod (COM A, COM B), které signalizují komunikaci po sériových linkách A a B. Červená barva signalizuje příjem dat do přístroje a zelená vysílání z přístroje.



Obrázek 5.1: Nákres ovládacího panelu přístroje.

Druhý výřez v panelu je v pravém horním rohu a ukrývá GPS přijímač, trojici signalizačních LED (zleva D1, D2, D3) a také senzor osvětlení. Mezi tímto výřezem a displejem je umístěn kolébkový vypínač hlavního napájení,

šterbina na SD kartu a specializovaná tlačítka *Light* a *Rec*. Stiskem tlačítka *Rec* se spouští (ukončuje) záznam dat ze sériových linek.

Tlačítko *Light* je určeno k okamžitému vypnutí (zapnutí) displeje a podsvícení tlačítek. Zapnutí přístroje pak indikuje LED1, která v intervalu s periodou 1 s krátce problikává. Tato událost nemá vliv na činnost přístroje.

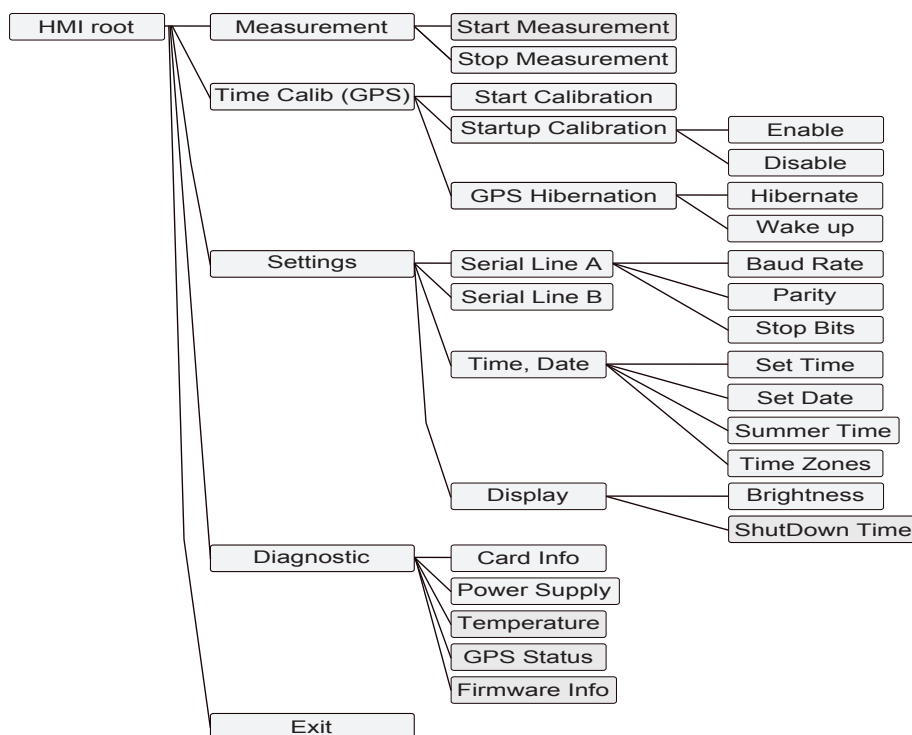
Skupina tlačítek pod displejem je určena pro ovládání HMI přístroje¹. Jde o čtyři tlačítka tvořící směrový kříž, potvrzovací tlačítko *Enter* a únikové tlačítko *Esc*. Pomocí těchto tlačítek je možné ovládat veškeré funkce přístroje. Popisu HMI se věnuje následující kapitola.

5.2 Struktura HMI

Po spuštění a inicializaci přístroje se uživateli na displeji zobrazí tzv. *pracovní plocha* a stiskem tlačítka *Enter* se uživatel dostane do kořene ovládací nabídky přístroje. Návrat do *pracovní plochy* umožňuje tlačítko *Esc*.

HMI je strukturováno jako strom. Pohyb v dané úrovni je realizován tlačítky *Up* a *Down*, vstup do nižších úrovní tlačítkem *Enter* a návrat o úroveň výše tlačítkem *Esc*.

Celá struktura je graficky znázorněna na obrázku 5.2.



Obrázek 5.2: Struktura HMI.

¹Human Machine Interface

Pokud má položka HMI možnost volby mezi více možnostmi, výběr se provádí tlačítkem *Enter* (např. volba jasů displeje 25%, 50%, 75%, 100%, nebo Auto).

5.3 Podporovaná zařízení

Podporovaná zařízení jsou následující:

- vektorový magnetometr *DigMag03*, v HMI přístroje označeno názvem *DigMag03*;
- Overhauser *GEM Systems GSM-19*, v HMI *Overhauser*;
- obecný přístroj s rozhraním RS232, v HMI *Universal*.

Připojená zařízení je možné libovolně kombinovat.

5.3.1 DigMag03, Overhauser

S prvními dvěma typy dokáže záznamník komunikovat obousměrně a také přijímaným datům rozumí a umí je interpretovat. Uživateli jsou pak klíčové části dat zobrazovány na displeji. K zaznamenaným datům je do souboru přidána informace o čase, datu, teplotě záznamníku a napájecím napětí.

Při současném připojení jednoho magnetometru *DigMag03* a jednoho *Overhauseru* dochází ke spojování dat do jednoho záznamu. Hlavní data jsou ta z prvního jmenovaného zařízení a data z *Overhauseru* slouží pouze jako referenční. Z tohoto důvodu je výhodné mít tento záznam spojený.

Upozornění. Pokud *DigMag03* nevysílá žádná data, nebudou v tomto režimu uložena ani data z *Overhauseru*. Data z *Overhauseru* jsou ukládána pouze ve spojení s daty ze spárovaného přístroje.

5.3.2 Universal

Zařízení typu *Universal* je vhodné pro záznam dat z libovolného zařízení, které komunikuje po sériové lince. Data jsou ukládána na SD kartu v takovém tvaru, v jakém byla přijata. Nedochozí k jejich dalšímu zpracování.

Kapitola 6

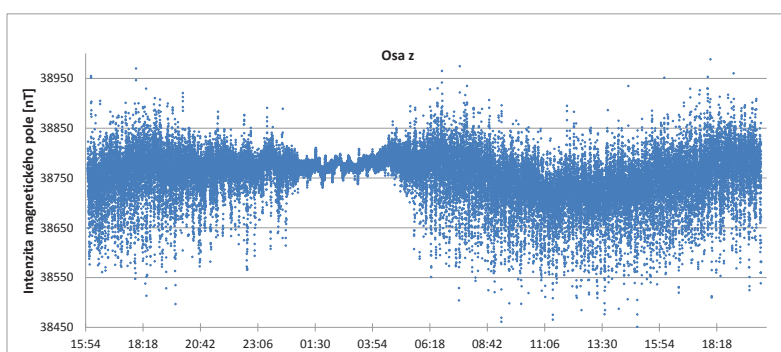
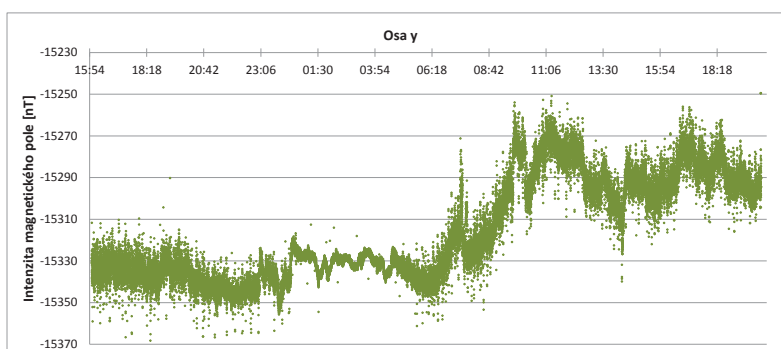
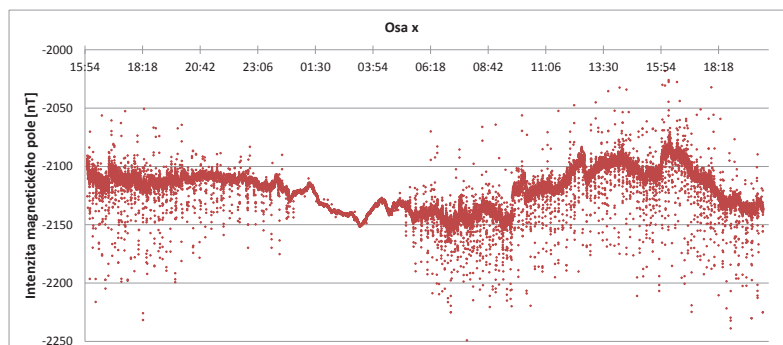
Testování přístroje

V první fázi byly otestovány obě sériové linky. Test spočíval v nastavování různých kombinací přenosové rychlosti, parity a stopbitů a měření správného průběhu pomocí logického analyzátoru [9]. Dále byla data zachytávána pomocí počítače a vizuálně kontrolována v aplikaci Hercules [6]. Testy byly provedeny pro všechny používané hodinové kmitočty kontroléru, protože jeho frekvence přímo ovlivňuje kmitočtové generátory UART modulů.

```
#####
# RECORD - OutDoor DataLogger
# FW ver. 0.49, Build Mar 14 2014, XC32 1.31
# File created: 23:28:08, 14.03.2014
# Temperature: +24.9, Supply Voltage: 4.7V
# Position: N50'28.973, E016'09.093, Satellites: 7, Altitude: 393m
# UTC Time: 22:28:09 UTC
# Connected devices: Line A - Overhauser
#                       Line B - DigMag v03
# DigMag03: [Time][Date][Temp][Pwr][Axis X][Axis Y][Axis Z][Sens Temp][Dev Temp][Supply][Sys Pwr]
# Overhauser: [Time][Date][Temp][Pwr][OHV Value]
#####
B: 23:28:32.70, 14.03.2014, +25.0, 4.7, -68722.34 -18596.30 -06520.05 +66.99 -55.99 +44.99 -33.99, -
B: 23:28:33.12, 14.03.2014, +25.1, 4.6, -68722.34 -18596.30 -06520.05 +66.99 -55.99 +44.99 -33.99, -
B: 23:28:33.55, 14.03.2014, +25.0, 4.6, -68722.34 -18596.30 -06520.05 +66.99 -55.99 +44.99 -33.99, -
```

Výše je uvedena testovací ukázka souboru ukládaného na SD kartu během záznamu (kombinace *DigMag03* na lince B a *Overhauser* na lince A). Na začátku souboru je hlavička obsahující informace o firmwaru přístroje, podmínkách vzniku souboru a popis struktury ukládaných dat. Data z magnetometrů jsou posléze ukládána po jednotlivých odměrech do řádků. Prefix A/B identifikuje, na jaké lince RS232 je zařízení připojeno. Při záznamu obecných dat nejsou ukládána žádná další data (čas, teplota, atd.).

Snahou bylo zajistit odolnost zařízení jeho konstrukcí (vhodnou volbou komponentů). Reálný test klimatické a enviromentální odolnosti neproběhl z důvodu limitovaného počtu dostupných zařízení. V době příprav tohoto textu je hotové pouze jedno zařízení. Druhý kus je připraven na sestavení.



Na grafech je zaznamenán výsledek testovacího měření provedený s magnetometrem *DigMag03*. Měření bylo provedeno v budově Fakulty elektrotechnické v Dejvicích, poblíž stanice metra a tramvajových zastávek. Nejvyšší naměřené hodnoty jsou v ose z, která byla vertikální osou. Osa y směřovala přibližně na sever a hodnoty se pohybují okolo $15\,000\text{ nT}$. Pokud by tato osa směřovala zcela na sever, hodnoty by byly vyšší ($20\,000\text{ nT}$). Měření proběhlo v místnosti, kde bylo velké množství oceli a proto je mag. pole zdeformované.

Z grafů je patrné významné uklidnění mag. pole v nočních hodinách. Konkrétně v době od 00:30 do 04:40 nejedí metro, které významně ovlivní naměřené hodnoty. V ose z jsou v tomto čase patrné výraznější výkyvy, jejich příčinou mohou být noční tramvaje.

Kapitola 7

Závěr

V rámci této bakalářské práce byl vyvinut záznamník dat z vektorových magnetometrů s digitálním výstupem. Následně byl jeden přístroj vyroben (další připraven na sestavení). Během vývoje byl kladen důraz na jednoduchost použití, možnost budoucího rozšíření a mechanickou odolnost celého přístroje.

Parametry finálního zařízení shrnuje níže uvedený přehled.

- stejnosměrné napájecí napětí 6 až 60 V , střídavé až 40 V
- typický příkon během měření 0.12 W
- teplotní rozsah od -20 do $+60$ $^{\circ}C$
- hmotnost 1.4 kg (bez baterií)
- rozměry $24 \times 19 \times 11$ cm
- krytí IP67

V porovnání s uvedenými komerčními záznamníky je tento přístroj rozměrově větší, ale tento fakt je vyvážen jeho většími možnostmi. Z pohledu mechanické odolnosti je na tom lépe a také příkon zařízení je na stejné či lepší úrovni. Lze konstatovat, že zařízení splňuje požadavky, které byly před jeho vývojem stanoveny a proto lze označit vývoj za úspěšný.

V případě další verze záznamníku by došlo k výměně usměrňovacího můstku napájení či jeho nahrazení diskretními diodami. Úbytek napětí na něm je velký a znemožňuje použití externího zdroje s napětím 5 V , který je velmi rozšířený. Teplotní rozsah zařízení je omezen pracovní teplotou piezo bzučáku (max. $+60$ $^{\circ}C$), zbytek přístroje pracuje do $+85$ $^{\circ}C$. Proto by byl nahrazen jiným typem.

Drobnější úpravy by byly v návrhu PCB základní desky (úpravy pouzder, posunutí součástek) a desky klávesnice (prohozená katoda/anoda u LED tlačítek). Uživatelsky přívětivé by také bylo oddělení podsvícení tlačítek *Light* a *Rec* od ostatních tlačítek a používat je k signalizaci stavů přístroje (pohotovostní režim, aktivní záznam dat).

Literatura

- [1] *TQFP Package*. 2014, [dostupné ke dni 15. 3. 2014].
URL <http://www.lapis-semi.com/en/package/sizeqfp.html>
- [2] AG, A.: *Avisaro Data Logger Cube 2.0*. prosinec 2012, Avisaro data logger RS232.pdf.
- [3] Defense, B. A. .: 28-Bit Digital Magnetometer. 2014, [dostupné ke dni 20. 4. 2014].
URL <http://magnetometer.com/products/fluxgate-magnetometers/dfm28g/>
- [4] hejtmano: *Rámcová témata BP*. 2014, [dostupné ke dni 03. 4. 2014].
URL http://measure.feld.cvut.cz/system/files/files/cs/vyuka/docasne/Ramc_temata_BP_web.pdf
- [5] Honeywell: *Smart Digital Magnetometer HMR2300*. 2012, [dostupné ke dni 20. 4. 2014].
URL <http://www51.honeywell.com/aero/common/documents/myaerospacecatalog-documents/Missiles-Munitions/HMR2300.pdf>
- [6] HW group: *Hercules SETUP utility*. 2014, [dostupné ke dni 04. 4. 2014].
URL http://www.hw-group.com/products/hercules/index_en.html
- [7] Instruments, T.: *3-V TO 5.5-V MULTICHANNEL RS-232 LINE DRIVER/RECEIVER*. duben 2007, MAX3232E.pdf.
- [8] JOJO: *555 Timer as an Astable Multivibrator*. září 2009, [dostupné ke dni 16. 3. 2014].
URL <http://www.circuitstoday.com/555-timer-as-an-astable-multivibrator>
- [9] LLC, S.: *Saleae Logic*. 2014, [dostupné ke dni 04. 4. 2014].
URL <http://www.saleae.com/logic>
- [10] Microchip, T. I.: *24LC64, 64K I2C Serial EEPROM*. Rev 1 , 2007, EEPROM_24LC64.pdf.

- [11] Microchip, T. I.: *MCP9804, Digital Temperature Sensor*. 2009, TEMP_-MCP9804.pdf.
- [12] Microchip, T. I.: *PIC32MX5XX/6XX/7XX Family Data Sheet (High-Performance, USB, CAN and Ethernet 32-bit Flash Microcontrollers)*. Rev g , červen 2011, PIC32MX795F512L.pdf.
- [13] Microchip, T. I.: MPLAB 8 Integrated Development Environment. 2012, [dostupné ke dni 3. 1. 2014].
URL http://www.microchip.com/stellent/idcplg?IdcService=SS_GET_PAGE&nodeId=1406&dDocName=en019469&part=SW007002
- [14] Microchip, T. I.: MPLAB ICD 3 In-Circuit Debugger. 2012, [dostupné ke dni 2. 1. 2014].
URL http://www.microchip.com/stellent/idcplg?IdcService=SS_GET_PAGE&nodeId=1406&dDocName=en537580
- [15] Microchip, T. I.: Microchip Libraries for Applications. 2014, [dostupné ke dni 3. 1. 2014].
URL http://www.microchip.com/stellent/idcplg?IdcService=SS_GET_PAGE&nodeId=2680&dDocName=en547784
- [16] Microchip, T. I.: MPLAB X Integrated Development Environment. 2014, [dostupné ke dni 3. 1. 2014].
URL <http://www.microchip.com/pagehandler/en-us/family/mplabx/>
- [17] Microchip, T. I.: MPLAB XC: Compiler Solutions for Any PIC and Any Project. 2014, [dostupné ke dni 3. 1. 2014].
URL http://www.microchip.com/pagehandler/en_us/devtools/mplabxc/
- [18] Peter Reen, N. M.: *File I/O Functions Using Microchip's memory Disk Drive File System Library*. 2008, 44 s.
URL www.microchip.com
- [19] PragoBoard: POOL servis - princip výroby. 2012, [dostupné ke dni 03. 4. 2014].
URL http://www.pragoboard.cz/pool_servis
- [20] RITCHEY, L. W.: *Right the first time - A practical handbook on high speed pcb and system design*. Speeding Edge, 2003, ISBN 0-9741936-0-7, 639 s.
- [21] Russell, R. P.: *SpaceLogger.S10 User Manual*. únor 2012, SpaceLogger.S10_User_Manual.pdf.

- [22] SiRF Technology, I.: *NMEA Reference Manual*. Rev 2.1 , prosinec 2007, NMEA Reference Manual-Rev2.1-Dec07.pdf.
- [23] SiRF Technology, I.: *NMEA Reference Guide*. Rev 3 , leden 2011, NMEA_RefMan.pdf.
- [24] Solutions, M. W.: *GPS Receiver A2035-H, User's Manual*. Rev 1.4 , duben 2014, Maestro_GPS_Receiver_A2035_H_User_Manual_V14.pdf.
- [25] STMicroelectronics: *M41T82, Serial I2C bus real-time clock (RTC) with battery switchover*. Rev 15 , květen 2011, RTC_M41T82.pdf.
- [26] Switches, M.: Uniemc - Two poles pushbutton switches. 2014, [dostupné ke dni 8. 5. 2014].
URL <http://www.mec.dk/Unimec-v12-p-72.html#2>
- [27] Systech, S.: *Advance Information - OLED/PLED Segment/Common Driver with Controller SSD1325*. Rev 2.3 , červen 2010.
URL <http://www.solomon-systech.com>
- [28] Systems, G.: Rugged Overhauser Magnetometer. 2014, [dostupné ke dni 20. 4. 2014].
URL <http://www.gemsys.ca/products/rugged-overhauser-magnetometer/>
- [29] Wikipedia: Debugger. 2014, [dostupné ke dni 2. 1. 2014].
URL <http://cs.wikipedia.org/wiki/Debugger>
- [30] Záhlava, V.: *Návrh a konstrukce desek plošných spojů*. BEN - technická literatura, 2010, ISBN 978-80-7300-266-4, 128 s.

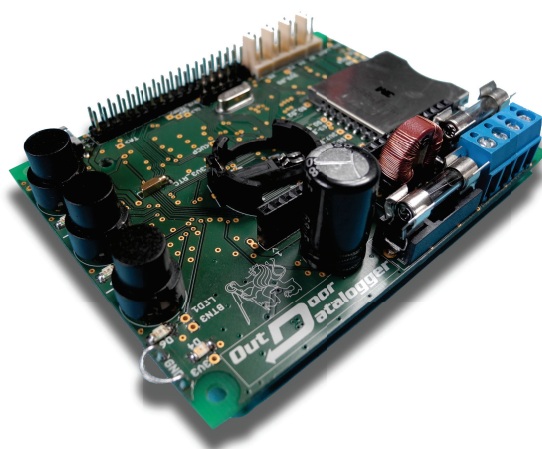
Použité zdroje odkazující na soubory ve formátu PDF jsou dostupné na příloženém CD.

Obsah CD

- elektronická verze bakalářské práce uložené ve formátu PDF;
- zdrojové kódy zařízení;
- schémata zapojení;
- návrhy PCB;
- fotografie přístroje;
- katalogové listy použitých součástek;
- další dokumenty ve formátu PDF.

Příloha A

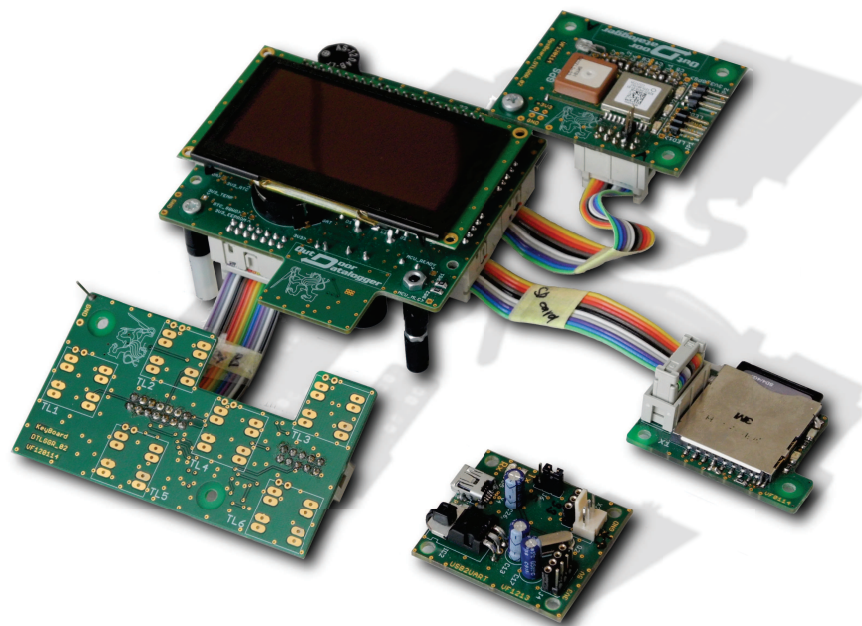
Fotografie přístroje



Obrázek A.1: Prototypová deska bez displeje.



Obrázek A.2: Prototypová deska včetně osazeného displeje.



Obrázek A.3: Desky plošných spojů finálního přístroje.

Vlevo nahoře je základní deska s displejem a dočasně připevněným GPS modulem. Vlevo dole se nachází klávesnice (zatím bez osazených tlačítek) a v pravém dolním rohu je modul s SD kartou. Pátá deska je převodník UART-USB (pro vývoj).



Obrázek A.4: Zapnuté zařízení.



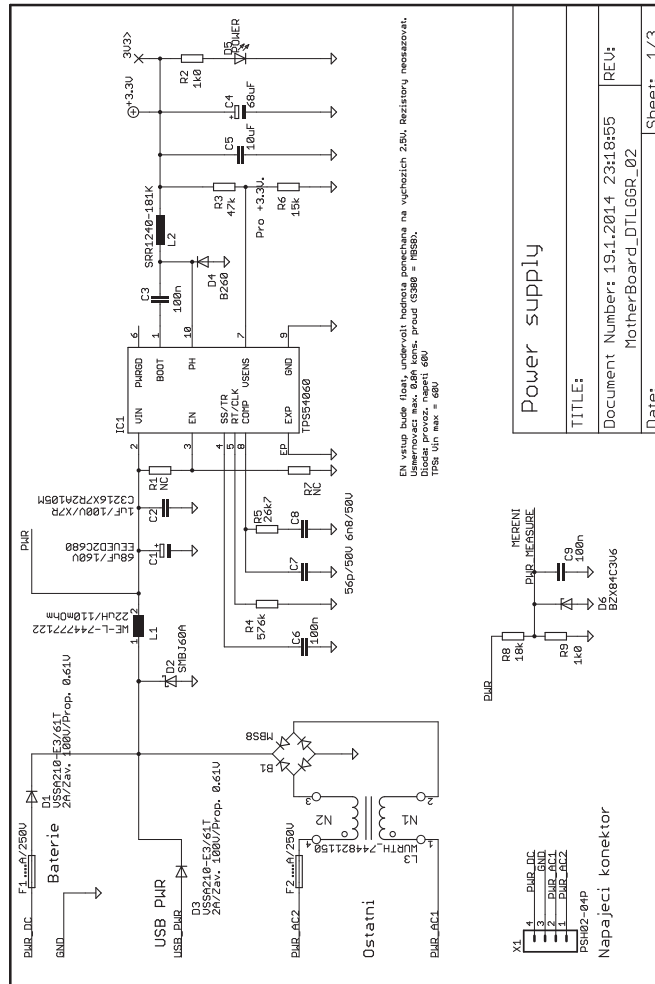
Obrázek A.5: Pohled ze strany držáků baterií.



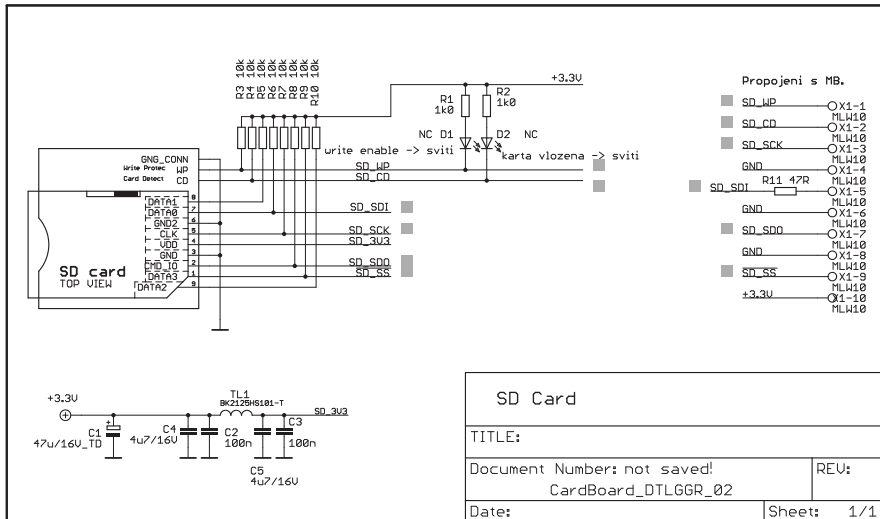
Obrázek A.6: Zařízení ze strany konektorů.

Příloha B

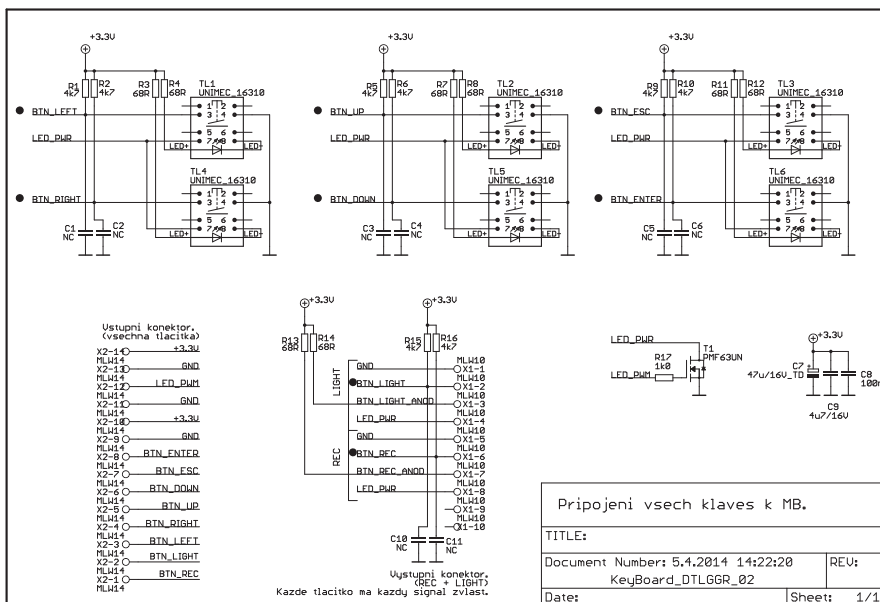
Schéma přístroje



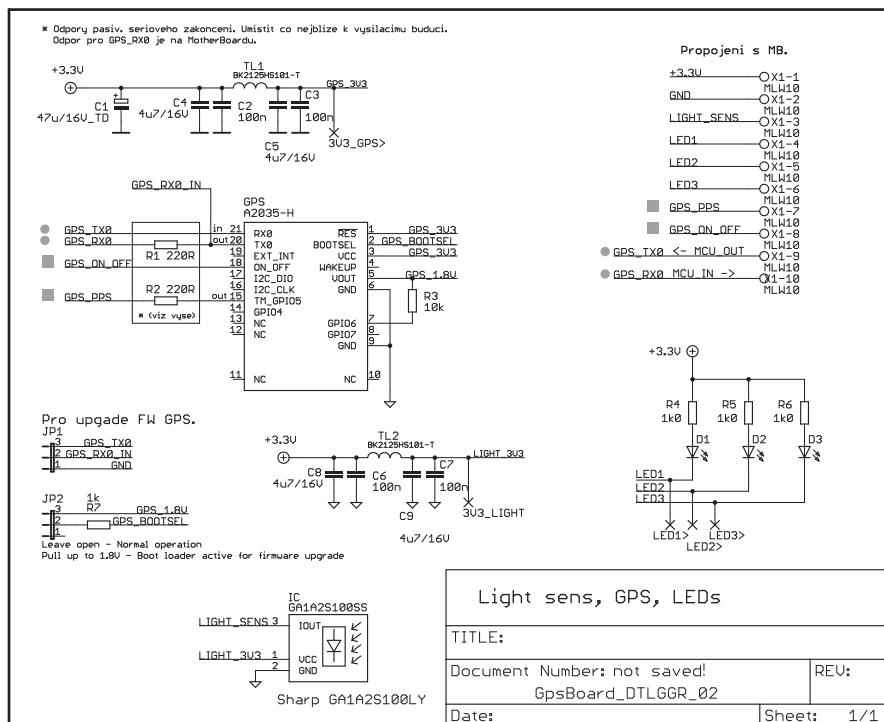
Obrázek B.1: Schéma základní desky, část první.



Obrázek B.4: Schéma desky s SD kartou.



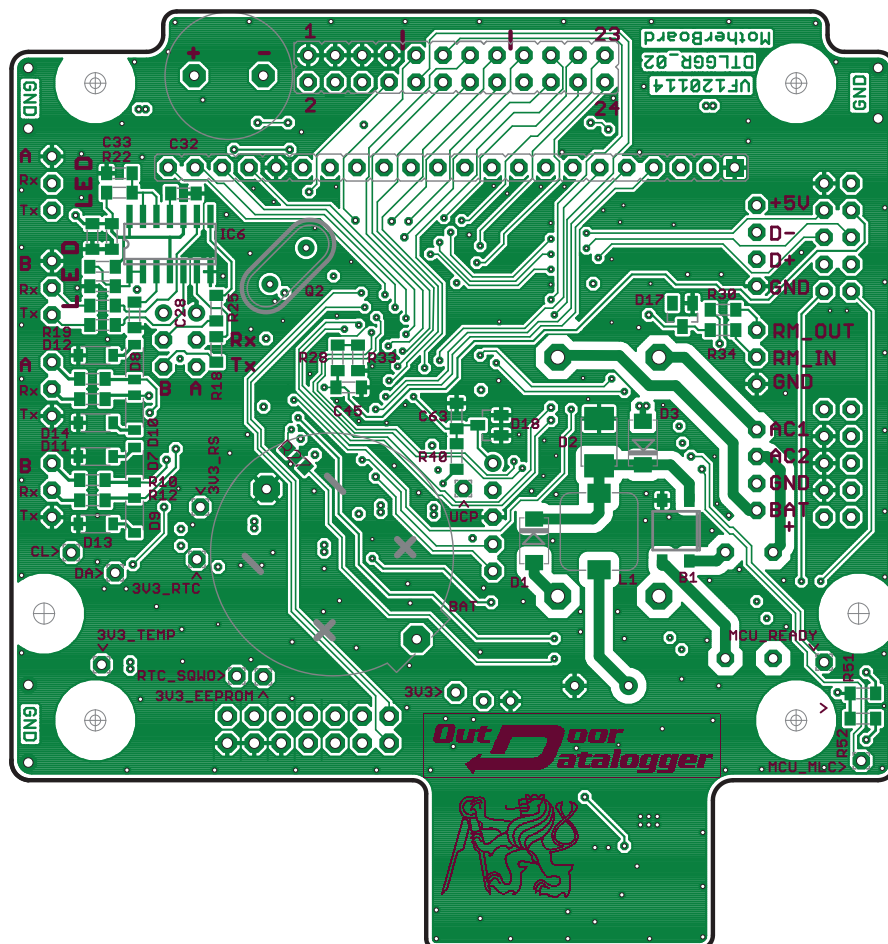
Obrázek B.5: Schéma desky klávesnice.



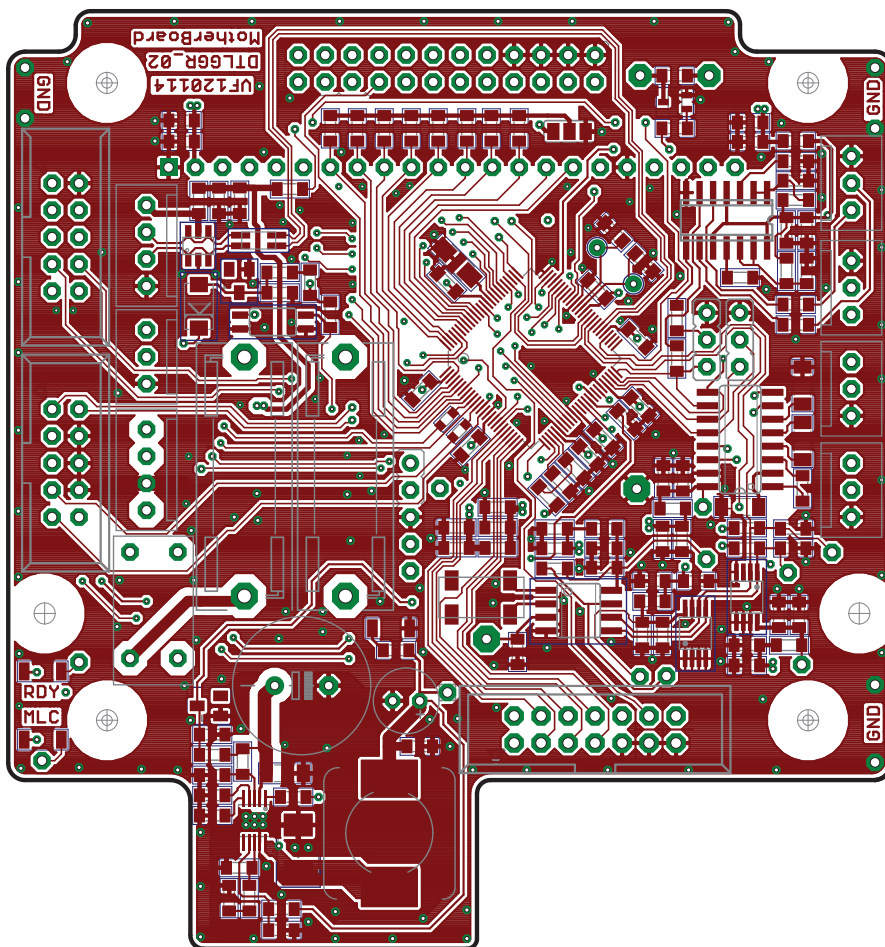
Obrázek B.6: Schéma desky GPS modulem.

Příloha C

Motiv PCB základní desky



Obrázek C.1: Motiv základní desky, pohled z horní strany.



Obrázek C.2: Motiv základní desky, pohled ze spodní strany.

Výše je návrh PCB základní desky, vnitřní vrstvy nejsou zobrazeny. Návrh PCB ostatních částí zařízení je dostupný na přiloženém CD.