

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

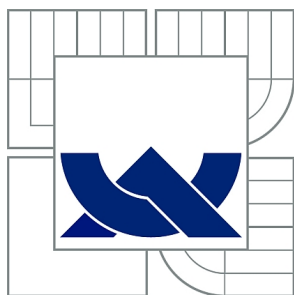
DATOVÝ ZÁZNAMNÍK S AKCELEROMETREM

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

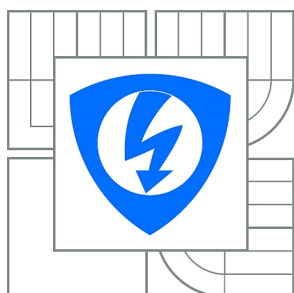
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JOSEF VYCHODIL

BRNO 2011



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**
ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

DATOVÝ ZÁZNAMNÍK S AKCELEROMETREM

DATA-LOGGER WITH ACCELEROMETER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

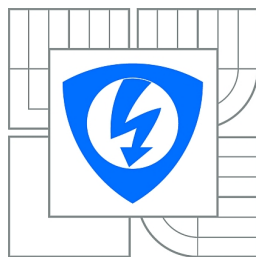
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JOSEF VYCHODIL

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. JIŘÍ ŠEBESTA, Ph.D.

BRNO 2011



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Elektronika a sdělovací technika

Student: Josef Vychodil

ID: 115311

Ročník: 3

Akademický rok: 2010/2011

NÁZEV TÉMATU:

Datový záznamník s akcelerometrem

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Prostudujte principy tříosých akcelerometrů a možnosti jejich aplikace pro měření a záznam otřesů. Provedte rozbor malého otřesového záznamového systému s akcelerometrem, mikrokontrolérem, obvodem hodin reálného času a USB rozhraním, který je určen k elektronickému záznamu událostí nadlimitních otřesů zboží pro stanovení jeho záruky. Při rozboru se zaměřte především na nízkou spotřebu pro dlouhodobé napájení systému. Na základě rozboru navrhnete celkové zapojení datového záznamníku. Navrhnete desky plošných spojů záznamníku a realizujete jej. Sestavte a odlaďte program pro mikrokontrolér a jednoduchou aplikaci pro zpracování uložených událostí v paměťové kartě. Provedte praktická měření datového záznamníku.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] Product List of Freescale Accelerometers.

<http://www.freescale.com/webapp/sps/site/overview.jsp?nodeId=0112691118> [online]

[2] MATOUŠEK, D. USB prakticky s obvodou FTDI. Praha: BEN - technická literatura, 2003.

Termín zadání: 7.2.2011

Termín odevzdání: 27.5.2011

Vedoucí práce: doc. Ing. Jiří Šebesta, Ph.D.

prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida
Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Práce se zabývá návrhem a realizací zařízení zaznamenávající nadlimitní otřesy pomocí elektronického akcelerometru. Hlavním cílem je nízká spotřeba a s tím související dlouhá výdrž na baterie.

KLÍČOVÁ SLOVA

Akcelerometr, mikroprocesor, mikrokontrolér, lithiový akumulátor, nabíjení, USB, RTC, Freescale

ABSTRACT

This thesis deals with designing and realizing a device which records high shocks using electronic accelerometer. Target is low power consumption and long battery endurance.

KEYWORDS

Accelerometer, microprocessor, microcontroller, lithium accumulator, charging, USB, RTC, Freescale

VYCHODIL, Josef *Datový záznamník s akcelerometrem*: bakalářská práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav radioelektroniky, 2011. 37 s. Vedoucí práce byl Ing. Jiří Šebesta, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Datový záznamník s akcelerometrem“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

Brno

.....

(podpis autora)

OBSAH

Úvod	10
1 Použité součástky	11
1.1 Akcelerometr	11
1.1.1 Akcelerometr Freescale MMA8453Q	12
1.2 Mikrokontrolér Freescale MC9S08JM16	13
1.3 Hodiny reálného času	14
1.3.1 RTC PCF8563	14
1.4 Paměť	14
1.4.1 Sériová EEPROM Atmel 24C256	14
1.5 Napájení	15
1.5.1 Nabíjecí obvod Freescale MC34673	16
1.5.2 Stabilizátor napětí ON Semiconductor MC78LC33	17
2 Návrh zařízení	18
2.1 Blokové schéma	18
2.1.1 Sběrnice I ² C	18
2.1.2 Obvody napájení	19
3 Software zařízení	20
3.1 Záznamový režim	20
3.1.1 Popis funkce a nastavení akcelerometru	21
3.1.2 Funkce LED diod v záznamovém režimu	23
3.1.3 Spotřeba v záznamovém režimu	24
3.2 Prohlížecký režim	25
3.2.1 Funkce LED diod v prohlížeckém režimu	25
3.3 Program pro PC	26
4 Závěr	28
Literatura	29
Seznam symbolů, veličin a zkratk	30
Seznam příloh	31
A Schéma navrženého zařízení	32
B Motivy plošného spoje	33

C	Seznam součástí	35
D	Fotografie výrobku	36
E	Obsah přiloženého CD	37

SEZNAM OBRÁZKŮ

1.1	Zjednodušený princip kapacitního akcelerometru.	11
1.2	Příklad MEMS zařízení. Převzato z [7].	12
1.3	Akcelerometr Freescale MMA8453Q. převzato z [1].	13
1.4	Nabíjecí profil lithiových akumulátorů.	16
2.1	Blokové schéma zařízení.	18
3.1	Průběh zrychlení u volného pádu při vzorkovací frekvenci 50 Hz. . . .	20
3.2	Význam bitu DBCNTM.	23
3.3	Zjištění čísla portu zařízení.	26
3.4	Program pro PC.	27
B.1	Motiv plošného spoje - strana TOP.	33
B.2	Osazovací plán - strana TOP.	33
B.3	Motiv plošného spoje - strana BOTTOM.	34
B.4	Osazovací plán - strana BOTTOM.	34
D.1	Fotografie zhotoveného zařízení z vrchní strany.	36
D.2	Fotografie zhotoveného zařízení ze spodní strany.	36

SEZNAM TABULEK

1.1	Přehled velikosti knoflíkových článků dle standartu IEC 60086.	15
3.1	Registr CTRL_REG1.	21
3.2	Možné vzorkovací frekvence akcelerometru.	21
3.3	Registr CTRL_REG2.	22
3.4	Možnosti převzorkování akcelerometru.	22
3.5	Registr FF_MT_CFG.	22
3.6	Spotřeba akcelerometru Freescale MMA8453Q.	24
3.7	Příkazy zařízení v prohlížečím režimu.	25
C.1	Seznam součástí.	35

ÚVOD

V dnešní době se často při přepravě zboží a materiálů využívá služeb pošty nebo různých zásilkových společností. Při přepravě choulostivých věcí, jako například skla, keramiky nebo některé elektroniky je potřeba opatrného zacházení, které dopravci ne vždy dodržují. Proto je potřeba zařízení, které bude toto hlídat.

Cílem práce je navrhnout, sestavit a oživit zařízení, které bude pomocí tříosého akcelerometru zaznamenávat nadlimitní otřesy. Tyto záznamy budou sloužit pro stanovení záruky přepravovaného zboží, je tedy nutné, aby zařízení mělo co nejmenší rozměry, nízkou spotřebu a s tím související dlouhou výdrž na baterie. Z tohoto důvodu jsou použity moderní integrované obvody, které v jednom miniaturním pouzdru sdružují funkce různých zařízení.

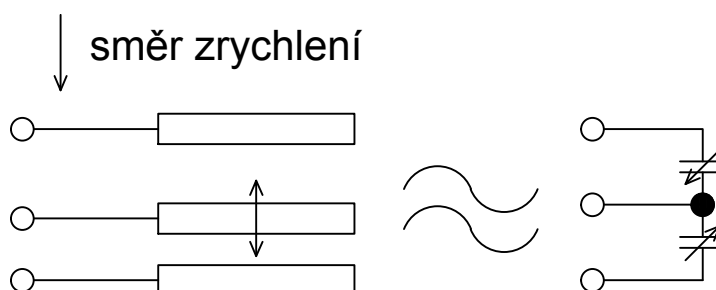
1 POUŽITÉ SOUČÁSTKY

V této části budou postupně rozebrány všechny části zařízení.

1.1 Akcelerometr

Akcelerometr je obecně zařízení, které snímá zrychlení a to jak statické, tak dynamické. Statické zrychlení je vyvoláno gravitačním polem Země. Díky tomu se dá akcelerometrem měřit náklon vůči zemi, případně detekovat volný pád (zrychlení bude nulové). Toho se využívá například v pevných discích - při zjištění volného pádu se zaparkují hlavičky disku a tím se výrazně sníží riziko poškození následným dynamickým zrychlením vyvolaném nárazem o zem. Dynamické zrychlení je vyvoláno pohybem nebo-li změnou rychlosti - praktické použití je například spouštění airbagu při nárazu vozidla.

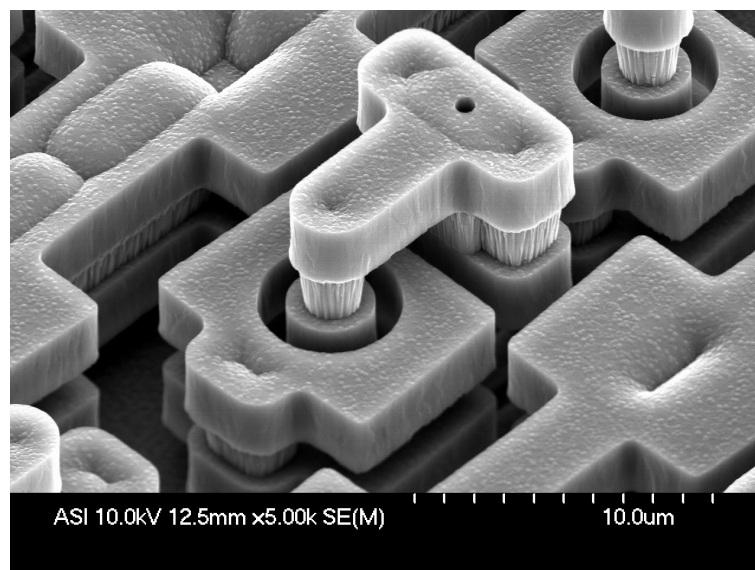
Elektronické akcelerometry lze vyrobit různými způsoby. Například pomocí piezoelektrického jevu – při působení zrychlení na mikroskopické krystalové struktury se na nich vytvoří napětí. Další možností je snímání pomocí změny kapacity. Pokud budeme mít vedle sebe 2 mikrostruktury, jednu pevnou a druhou volně, při působení zrychlení se bude měnit kapacita mezi nimi. Dále se akcelerometry rozdělují



Obr. 1.1: Zjednodušený princip kapacitního akcelerometru.

dle počtu os, ve kterých snímají zrychlení, na jednoosé, dvouosé a tříosé. V případě víceosých akcelerometrů je jednoduše v jednom pouzdru umístěno více snímacích struktur, vzájemně otočených o 90° .

Při výrobě akcelerometrů, ale i jiných senzorů a součástek se v poslední době prosazuje technologie MEMS - Micro-Electro-Mechanical System. Jedná se o technologii, která umožňuje přímo na křemíkový čip integrovat miniaturní mechanická zařízení ve velikosti řádově mikrometrů.



Obr. 1.2: Příklad MEMS zařízení. Převzato z [7].

1.1.1 Akcelerometr Freescale MMA8453Q

Akcelerometr Freescale MMA8453Q je moderní plně digitální tříosý akcelerometr. Komunikace s okolím probíhá pomocí sběrnice I²C.

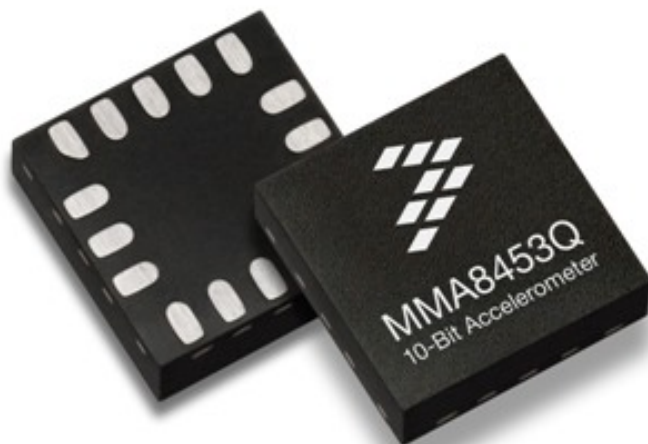
Některé vlastnosti

- Napájecí napětí od 1,95 V do 3,6 V
- Napětí rozhraní od 1,6 V do 3,6 V
- Dynamicky volitelné rozsahy $\pm 2g/\pm 4g/\pm 8g$
- Datová frekvence výstupních dat od 1,56 Hz do 800Hz
- Šum $99\mu g/\sqrt{Hz}$
- 10-ti bitový a 8-bitový digitální výstup
- 2 programovatelné výstupní vývody pro 6 zdrojů přerušení
- 3 kanály pro detekci pohybu
- Detekce orientace s nastavitelnou hysterezí
- Odpovídá normě RoHS
- Nízká spotřeba proudu $6\mu A - 165\mu A$
- 16-ti vývodové pouzdro QFN o rozměrech 3 mm x 3 mm x 1 mm

Typické aplikace

- Elektronický kompas
- Statické určení orientace
- Detekce volného pádu pro citlivé zařízení (notebooky, ...)
- Detekce orientace v reálném čase
- Detekce pohybu přenosných zařízení pro probuzení z nízkopříkonového režimu

- A další ...



Obr. 1.3: Akcelerometr Freescale MMA8453Q. převzato z [1].

1.2 Mikrokontrolér Freescale MC9S08JM16

Mikrokontrolér je mozkiem celého zařízení, řídí a ovládá ostatní periferie. Pro danou aplikaci byl vybrán mikrokontrolér MC9S08JM16 od firmy Freescale. Hlavním důvodem pro tuto volbu bylo integrované USB rozhraní, nízká spotřeba a pokročilé možnosti ovládání spotřeby.

Některé vlastnosti

- 8-bitový mikrokontrolér s integrovaným USB rozhraním
- 16KB Flash paměti pro program
- 1KB RAM
- 256B USB RAM
- Rozhraní BDM pro programování a ladění
- Rozhraní USB verze 2.0
- Rozhraní I²C
- Rozhraní SPI
- Převodník analog/digitál
- Analogový komparátor
- Časovače
- Stop režimy procesoru
- Spotřeba v aktivním režimu (při frekvenci jádra 2 MHz) cca 1 mA

- Spotřeba v stop režimu cca $1\ \mu\text{A}$

1.3 Hodiny reálného času

Hodiny reálného času (anglicky RTC – Real-time clock) jsou obvody, které slouží k udržování údaje o aktuálním čase, případně data.

1.3.1 RTC PCF8563

Obvod PCF8563 plní funkci CMOS hodin reálného času a kalendáře s velmi nízkou spotřebu energie. Obsahuje programovatelný výstup hodinového signálu, výstup pro přerušení a detekci nízkého napětí. Komunikace probíhá po sběrnici I²C.

Některé vlastnosti

- Poskytuje informaci o roku, měsíci, dni, dni v týdnu, hodinách, minutách a sekundách na základě 32,768 kHz krystalu
- Provozní napětí od 1,0 V do 5,5 V
- Nízký klidový proud, typicky $0,25\ \mu\text{A}$ při napájecím napětí 3 V
- Rozhraní I²C
- Funkce alarmu a stopek
- Detekce nízkého napětí

Typické aplikace

- Mobilní telefony
- Přenosné zařízení
- Zařízení napájené z baterií

1.4 Paměť

Vzhledem k tomu, že vybraný mikrokontrolér neobsahuje uživatelsky přístupnou nevolatilní (tj. paměť, která uchovává data i po přerušení napájení) paměť, je třeba pro uchování dat použít externí flash nebo EEPROM paměť.

1.4.1 Sériová EEPROM Atmel 24C256

V zařízení je použita sériová EEPROM Atmel 24C256 o kapacitě 32kB, což je dostatečná kapacita pro uložení nastavení zařízení i několika stovek záznamů o překročení povoleného otřesu.

Některé vlastnosti obvodu

- Napájecí napětí od 1,8 V do 5,5 V
- Kapacita 32kB

- Komunikace po I²C sběrnici
- Maximální rychlost komunikace 1 MHz
- Vysoká spolehlivost - garantováno 1 000 000 zápisů a 40 let uchování dat

1.5 Napájení

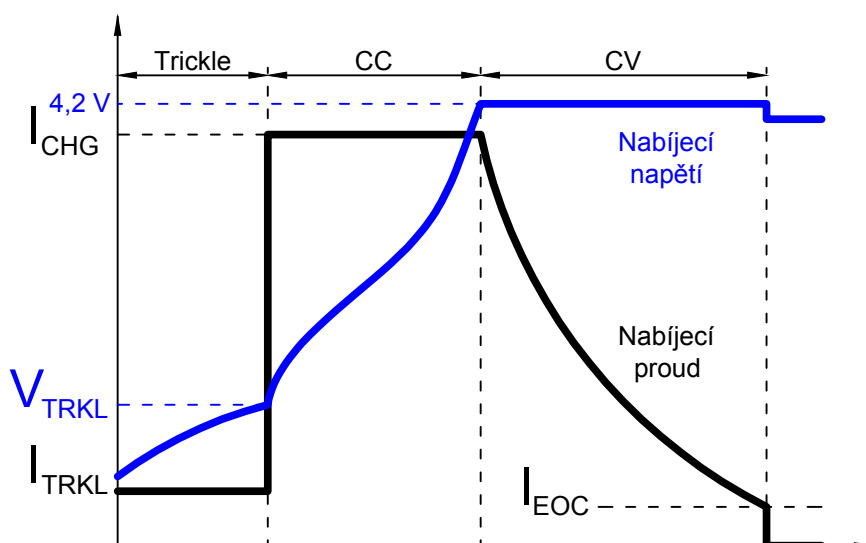
Jedná se o přenosné zařízení, je tedy jasné, že napájení bude řešeno baterií nebo akumulátorem. Vzhledem k použití zařízení je výhodné použít lithiový akumulátor v co nejmenším provedení. Lithiové akumulátory mají cca 2x až 4x menší jmenovitou kapacitu, než obyčejné baterie stejné velikosti, přesto se jejich použití v dané aplikaci vyplatí. Jejich jmenovité napětí je 3,7 V. Konkrétní typ akumulátoru byl vybrán z tabulky 1.1 standartu IEC 60086 tak, aby baterie, která patří k větším součástem, zbytečně nezvětšovala konečnou velikost přístroje. Jedná se o knoflíkový akumulátor LIR2430 se jmenovitou kapacitou 80 mAh a výdrží minimálně 400 nabíjecích cyklů.

Typ	Typická kapacita[mAh] (pro nenabíjecí baterie)	Rozměry průměr[mm] x výška[mm]
CR927	30	9,5 x 2,7
CR1025	30	10 x 2,5
CR1216	25	12,5 x 1,6
CR1220	40	12,5 x 2
CR1616	55	16 x 1,6
CR1620	78	16 x 2
CR1632	140	16 x 3,2
CR2012	55	20 x 1,2
CR2016	90	20 x 1,6
CR2025	165	20 x 2,5
CR2032	225	20 x 3,2
CR2330	265	23 x 3,0
CR2354	560	23 x 5,4
CR2430	570	24,5 x 3
CR2450	620	24,5 x 5
CR2477	1000	24,5 x 7,7
CR3032	560	30 x 3,2

Tab. 1.1: Přehled velikosti knoflíkových článků dle standartu IEC 60086.

Mezi nevýhody lithiových akumulátorů patří, kromě již zmiňované menší kapacity, nutnost dodržení přesného nabíjecího postupu, jinak dojde k degradaci akumulátoru - zmenšení kapacity nebo dokonce ke zničení akumulátoru přehřátím. Správný nabíjecí postup se skládá ze tří částí:

- Nabíjení malým proudem (režim Trickle) v případě extrémního vybití akumulátoru (napětí menší než 2,7 V)
- Nabíjení konstantním proudem (CC režim)
- Nabíjení konstantním napětím (CV režim)



Obr. 1.4: Nabíjecí profil lithiových akumulátorů.

Režimy CC a CV se označují jako rychlé nabíjecí režimy. Pokud je baterie extrémně vybitá (napětí pod 2,7 V), nejdříve je potřeba nabíjet pomalu, cca 20% jmenovitého nabíjecího proudu, což nejen šetří baterii, ale také v případě poruchy baterie (kdy nedojde ke zvýšení napětí vlivem nabíjení) nedojde ke spuštění rychlých nabíjecích režimů. V případě, že napětí na baterii přesáhne 2,7 V, nabíjí se konstantním proudem doporučeným pro danou baterii. Když napětí na baterii přesáhne hodnotu 4,2 V, přejde se do posledního režimu nabíjení - nabíjení konstantním napětím 4,2 V.

1.5.1 Nabíjecí obvod Freescale MC34673

Nabíjecí obvod Freescale MC34673 je integrovaný obvod, který dokáže uskutečnit výše uvedený nabíjecí proces lithiových akumulátorů, s použitím minimálního množ-

ství externích součástek.

Některé vlastnosti obvodu

- Napájecí napětí od 2,6 V do 28 V
- Přesnost výstupního napětí $\pm 0,7\%$ v širokém rozsahu teplot od -20°C do 70°C
- Přesnost výstupního proudu $\pm 6\%$ v širokém rozsahu teplot od -40°C do 85°C
- Garantovaný maximální nabíjecí proud 1,2 A nastavitelný externím rezistorem
- Obsahuje logické výstupy informující o průběhu nabíjení
- Odpovídá normě RoHS
- 8-mi vývodové pouzdro UDFN o rozměrech 2 mm x 3 mm x 0,5 mm

1.5.2 Stabilizátor napětí ON Semiconductor MC78LC33

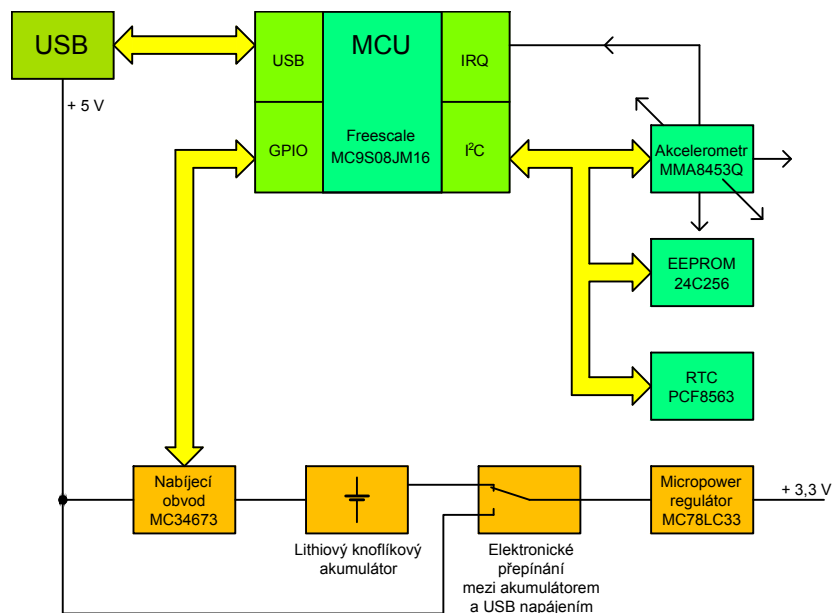
Jedná se o klasický napěťový stabilizátor. Má velmi malou vlastní spotřebou – typicky $1,1\ \mu\text{A}$, proto je velmi vhodný do dané aplikace.

Některé vlastnosti obvodu

- Maximální vstupní napětí 12 V
- Nízký úbytek napětí cca 60 mV
- Provozní teplota od -40°C do 85°C
- Vlastní spotřeba cca $1,1\ \mu\text{A}$
- Přesnost výstupního napětí 2,5 %

2 NÁVRH ZAŘÍZENÍ

2.1 Blokové schéma



Obr. 2.1: Blokové schéma zařízení.

Na obrázku 2.1 je znázorněno blokové schéma zařízení. Základem přístroje je mikrokontrolér Freescale MC09S08JM16. Tento mikroprocesor řídí celé zařízení. Základní periferie jsou připojeny pomocí sběrnice I²C, akcelerometr je s mikrokontrolérem propojen navíc ještě linkou přerušení. Napájení je řešeno tak, aby při připojení zařízení k USB sběrnici z ní byl odebírán proud a zároveň probíhalo nabíjení akumulátoru.

2.1.1 Sběrnice I²C

I²C je nízkorychlostní sériová sběrnice vyvinutá firmou Philips. I²C umožňuje propojení až 128 různých zařízení pouze pomocí dvou obousměrných vodičů. Maximální přenosová rychlost (podle standartu) je 400kbps, některá zařízení podporují i rychlosti vyšší. Klidová úroveň sběrnice je vysoká, což je zajištěno připojením pull-up rezistorů (klasicky s hodnotou 4,7 kΩ) mezi vodiče sběrnice a kladné napájecí napětí. Nejvyšší délka vodičů sběrnice je dána jejich nejvyšší přípustnou kapacitou 400pF.

Každé zařízení připojené na sběrnici musí mít vlastní unikátní sedmi bitovou adresu. Sběrnice rozděluje připojená zařízení na řídící (master – zahajuje a ukončuje komunikaci a generuje hodinový signál SCL) a řízené (slave – zařízení adresované masterem). Komunikaci zahajuje vždy master a to vysláním START podmínky. Následuje adresa slave zařízení, s kterým chce komunikovat a jeden bit určující, zda se bude do daného zařízení zapisovat nebo číst z něj. Jestliže některé ze slave zařízení rozpozná svoji adresu, potvrdí vysláním ACK bitu připravenost přijímat data a po té dojde k přenosu. Každý vyslaný byte dat je následován jedním potvrzovacím bitem ACK. Po ukončení přenosu je vyslána podmínka STOP.

Pomocí sběrnice I²C jsou s mikrokontrolérem propojeny téměř všechny součástky.

- Akcelerometr
- EEPROM paměť
- Hodiny reálného času

2.1.2 Obvody napájení

Důležitá část zařízení jsou také obvody, které zajišťují napájení a také nabíjení lithiového akumulátoru. Nabíjení je zajištěno integrovaným obvodem Freescale MC34673, který umožní nabíjet akumulátor podle předepsaného postupu s minimem externích součástek. Jedinou volitelnou z nich je rezistor R₉, jehož velikost určuje nabíjecí proud podle vzorce 2.1.

$$I_{NAB} = \frac{4000}{R_9 + 96} \quad (2.1)$$

Výrobce doporučuje velikost nabíjecího proudu polovinu jmenovité kapacity, tedy 40 mA. Z důvodu šetření baterie byla zvolena hodnota menší, 30 mA.

$$R_9 = \frac{4000}{I_{NAB} + 96} = \frac{4000}{0,03 + 96} = 133,43k\Omega \doteq 120k\Omega \quad (2.2)$$

Z řady byl zvolen rezistor s odporem 120 kΩ.

Tento obvod je propojen s mikroprocesorem několika logickými vstupy/výstupy informující procesor a stavu, ve kterém se nachází proces nabíjení, případně povolují/zakazují samotné nabíjení.

Protože se napětí na lithiové baterii může měnit od cca 3,0 V do 4,2 V a USB poskytuje napětí dokonce 5 V, je potřeba toto napětí stabilizovat. Toho je docíleno stabilizátorem MC78LC33, který má, na rozdíl od běžných typů napěťových stabilizátorů, velmi malý vlastní odběr a také nízký úbytek napětí. Výjimku tvoří hodiny reálného času, které musí být napájeny neustále i v případě vypnutí zařízení, aby nedošlo ke ztrátě informace o aktuálním čase a datu. Vzhledem k širokému rozsahu napájecího napětí (od 1,0 V do 5,5 V) a nízkému odběru (maximálně 0,5 μA) to není problém.

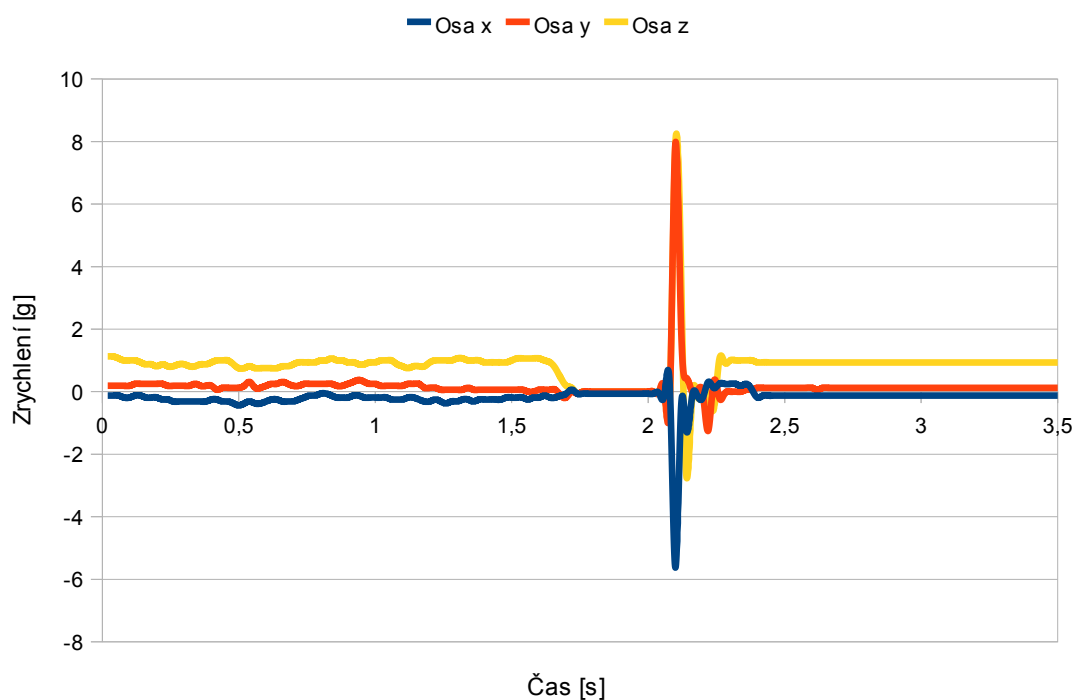
3 SOFTWARE ZAŘÍZENÍ

K napsání obslužného programu dataloggeru bylo použito integrované vývojové prostředí CodeWarrior od výrobce mikrokontroléru, tedy firmy Freescale. Program byl napsán v jazyce C.

Po zapnutí přístroje se zjistí, je-li připojen k PC, poté lze program rozdělit na dvě větve – na záznamový mód (běžný provoz) a prohlížecký mód (připojení k PC přes USB). Nejprve bude popsán záznamový mód.

3.1 Záznamový režim

V tomto režimu je úkolem zařízení sledovat, zda nedošlo k překročení povoleného otřesu. Vzhledem k rozsahu zrychlení, které je možné změřit použitým akcelerometrem ($\pm 8g$), je hlídán zejména výskyt volného pádu. Na grafu 3.1 je vynesena průběh



Obr. 3.1: Průběh zrychlení u volného pádu při vzorkovací frekvenci 50 Hz.

zrychlení při volném pádu a následném nárazu o podlahu. Průběh lze rozdělit na několik částí:

- Klidový stav (kolísání je způsobeno pohybem, případně třesem rukou)
- Volný pád (všechny složky zrychlení jsou téměř nulové)

- Náraz (velké přetížení alespoň v jedné z os)
- Klidový stav

Při detekci volného pádu je aktivován čítač, který měří dobu pádu. Po skončení se vyčká zhruba 300 ms, během kterých je sledována nejvyšší dosažená hodnota zrychlení. Doba volného pádu (v ms), nejvyšší zaznamenané zrychlení, aktuální datum a čas jsou poté zapsány do paměti EEPROM.

Druhou možností, která způsobí zapsání události do paměti, je samotné zrychlení větší než určitý práh, například 7g. I v tomto případě se po dobu 300 ms sleduje nejvyšší hodnota zrychlení, která je poté zapsána do EEPROM.

3.1.1 Popis funkce a nastavení akcelerometru

Stěžejní vliv na funkci i spotřebu zařízení má nastavení akcelerometru. Nastavení se provádí ihned po spuštění záznamového režimu zápisem dat do registrů přes sběrnici I²C.

Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
ASLP_RATE1	ASLP_RATE0	DR2	DR1	DR0	LNOISE	F_READ	ACTIVE

Tab. 3.1: Registr CTRL_REG1.

V registru CTRL_REG1 se provádí nastavení vzorkovací frekvence pomocí bitů DR2:DR0 dle tabulky 3.2. Dále je použita funkce F_READ, která umožní číst výstupní data v 8-bi bitové délce (použitý akcelerometr je 10-bi bitový) a tím zjednodušit manipulaci s daty. Dále je samozřejmě nastaven bit ACTIVE, který spustí měření.

DR2	DR1	DR0	vzorkovací frekvence[Hz]	Perioda[ms]
0	0	0	800	1,25
0	0	1	400	2,5
0	1	0	200	5
0	1	1	100	10
1	0	0	50	20
1	0	1	12.5	80
1	1	0	6.25	160
1	1	1	1.56	640

Tab. 3.2: Možné vzorkovací frekvence akcelerometru.

Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
ST	RST	0	SMODS1	SMODS0	SLPE	MODS1	MODS0

Tab. 3.3: Registr CTRL_REG2.

V registru CTRL_REG2 je zvolen nízkopříkonový převzorkovací režim pomocí bitů MODS1:MODS0 dle tabulky 3.4.

(S)MODS1	(S)MODS0	Mód převzorkování
0	0	Normální
0	1	Nízký šum a nízká spotřeba
1	0	Vysoké rozlišení
1	1	Nízká spotřeba

Tab. 3.4: Možnosti převzorkování akcelerometru.

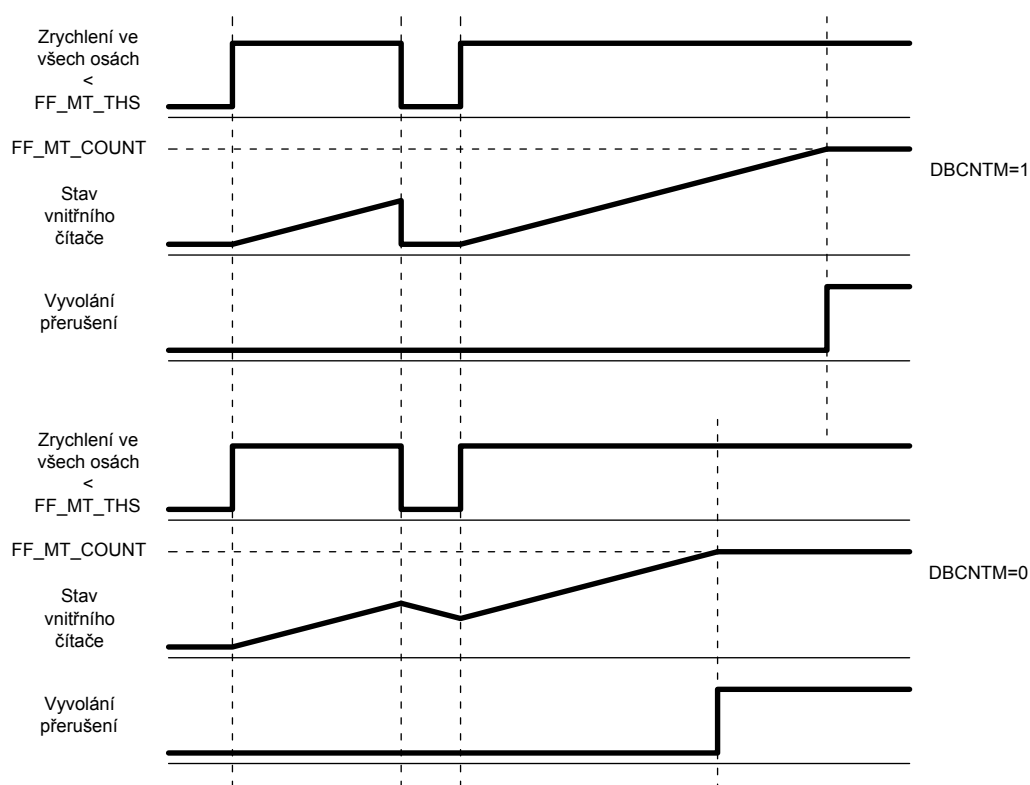
Registrem XYZ_DATA_CFG_REG je zvolen rozsah $\pm 8g$.

Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
ELE	OAE	ZEFE	YEFE	XEFE	0	0	0

Tab. 3.5: Registr FF_MT_CFG.

Pomocí registrů FF_MT_CFG, FF_MT_THS a FF_MT_COUNT je nakonfigurováno vyvolání přerušení při volném pádu. Bity ZEFE, YEFE a XEFE umožňují sledovat pouze některé osy, v této aplikaci jsou brány v potaz všechny osy. Nulový bit OAE určuje, že je požadovaná detekce volného pádu. Registr FF_MT_THS je, kromě nejvyššího bitu – DBCNTM, číslo, které vyjadřuje práh vyvolání události. FF_MT_COUNT určuje počet vzorků, které musí vyhovovat podmínce volného pádu (zrychlení ve všech osách $< \text{FF_MT_THS}$), aby došlo k vyvolání události. Umožňuje odfiltrovat krátkodobé volné pády, způsobené např. poskakováním v kufru auta. Režim filtrace záleží na nastavení bitu DBCNTM v registru FF_MT_THS. Pokud je DBCNTM 0, dochází k přičítání nebo odečítání vnitřního čítače, pokud 1, čítač je přičítán nebo nulován. Funkce je patrná z obrázku 3.2. V tomto případě je vhodnější nastavit DBCNTM na 1.

Dále je pomocí registrů TRANSIENT_CFG, TRANSIENT_THS a TRANSIENT_COUNT obdobným způsobem nakonfigurováno vyvolání přerušení při detekci



Obr. 3.2: Význam bitu DBCNTM.

velkého zrychlení. Vzhledem k charakteru zrychlení vyvolaném šokem (krátké a intenzivní) je práh TRANSIENT_THS volen vysoký (7g) a TRANSIENT_COUNT nulový – přerušení je vyvoláno ihned po detekci velkého přetížení.

Posledním krokem k nastavení přerušení ze strany akcelerometru je jejich povolení v registru CTRL_REG4 a jejich směrování na fyzický vývod INT1 pomocí CTRL_REG5.

3.1.2 Funkce LED diod v záznamovém režimu

Zařízení obsahuje dvě LED diody (zelenou a červenou), které jsou použity k signalizaci stavu zařízení. Zelená dioda po zapnutí krátce blikne, dále bliká jednou za cca 10 vteřin. Při volném pádu svítí. Červená dioda signalizuje čas, při kterém dochází ke měření maximálního dosaženého zrychlení buďto po volném pádu nebo při překročení jisté hranice akcelerace.

Vzorkovací frekvence [Hz]	Spotřeba v normálním režimu [μA]	Spotřeba v nízkopříkonovém režimu [μA]
1,56	24	6
6,25	24	6
12,5	24	6
50	24	14
100	44	24
200	85	44
400	165	85
800	165	165

Tab. 3.6: Spotřeba akcelerometru Freescale MMA8453Q.

3.1.3 Spotřeba v záznamovém režimu

Spotřeba v záznamovém režimu je kritická, neboť pouze v tomto režimu je energie brána z akumulátoru. Vzhledem k možnostem akcelerometru, který má integrovaný DSP, který umožňuje generovat přerušení při detekci jak volného pádu, tak při překročení povoleného zrychlení, lze využít spánkový režim mikrokontroléru s minimální spotřebou. Nejvíce tedy záleží na spotřebě akcelerometru, která závisí na vzorkovací frekvenci a metodě převzorkování.

Pro účely navrhovaného zařízení byla zvolena a odzkoušena vzorkovací frekvence 50 Hz v nízkopříkonovém režimu, jenž umožní detekci volného pádu již od několika centimetrů bez rizika falešného oznámení (přerušení je vyvoláno až podmínku volného pádu splní několik vzorků za sebou).

Dále se na spotřebě podílí další komponenty, které mají nenulovou spotřebu v klidovém stavu. Celková teoretická spotřeba v pohotovostním režimu je tedy

- 14 μA akcelerometr při $f_{vz} = 50$ Hz
- 1 μA mikrokontrolér ve stop režimu
- 0,5 μA RTC
- 5 μA EEPROM
- 1,1 μA napěťový stabilizátor
- 21,6 μA celkem

Na realizovaném vzorku byl změřen proud 20 μA , zařízení tedy vydrží v pohotovostním režimu

$$t = \frac{80mAh}{0,02mA} = 4000 \text{ hodin} \doteq 166,7 \text{ dnů.} \quad (3.1)$$

Reálná výdrž je samozřejmě menší, jelikož při příchodu a zápisu události dojde ke krátkodobému zvýšení spotřeby, ovšem i tak se pohybuje v řádech několika týdnů.

3.2 Prohlížeč režim

Při zapnutí přístroje připojeného k USB dojde ke spuštění prohlížeč režimu. V tomto módu je akcelerometr vypnut a přístroj pouze komunikuje s počítačem. Vzhledem ke složitosti USB protokolu byl použit již hotový USB ovladač od firmy Freescale, který na PC vytváří virtuální sériový port. Komunikaci vždy zahajuje hostitelský PC, který pošle příkaz a čeká na odpověď. Přehled implementovaných příkazů je v tabulce 3.7.

Příkaz	Parametry	Očekávaná odpověď	Poznámka
o	a, b	-	nastaví pozici EEPROM na a:b
r	-	16 bajtů přečtených z EEPROM	čtení z aktuální pozice
w	l, a, b + l bajtů	-	zápis l bajtů do EEPROM na adresu a:b
t	-	7 bajtů přímo přečtených z RTC	sekundy, minuty, hodiny, den, den v týdnu, měsíc, rok v BCD
s	7 bajtů určených k zápisu do RTC	-	sekundy, minuty, hodiny, den, den v týdnu, měsíc, rok v BCD

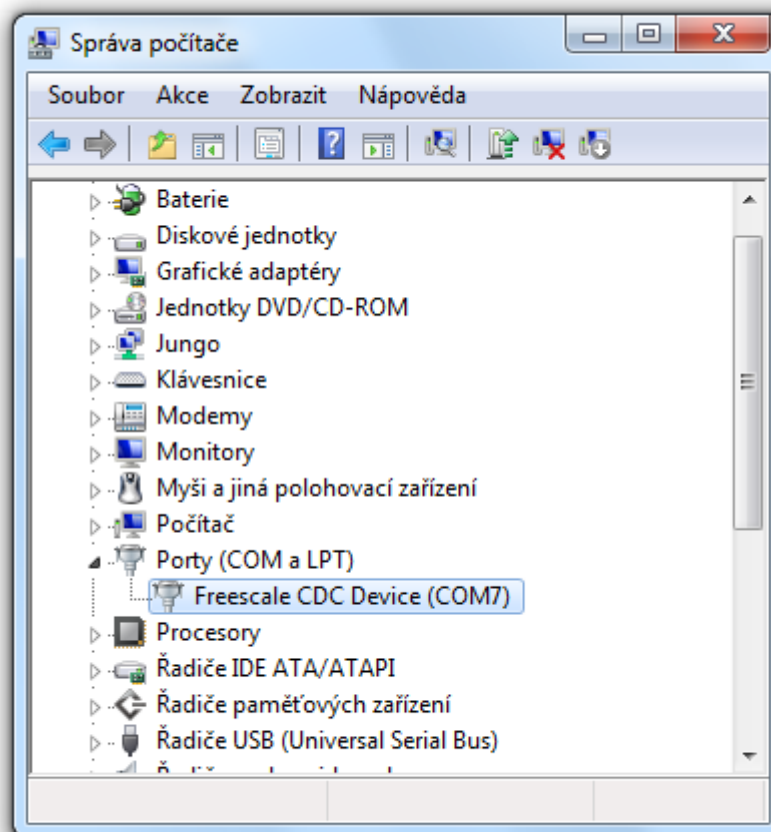
Tab. 3.7: Příkazy zařízení v prohlížeč režimu.

3.2.1 Funkce LED diod v prohlížeč režimu

V tomto režimu zelená dioda svítí neustále, červená dioda svítí, pokud je nabíjen akumulátor.

3.3 Program pro PC

Při prvním připojení k PC je potřeba nejprve nainstalovat ovladač zařízení z příloženého CD. Dále se musí zjistit virtuální číslo COM portu, pod kterým se dá se zařízením komunikovat. To se dá zjistit např. ve správci zařízení viz obrázek 3.3.

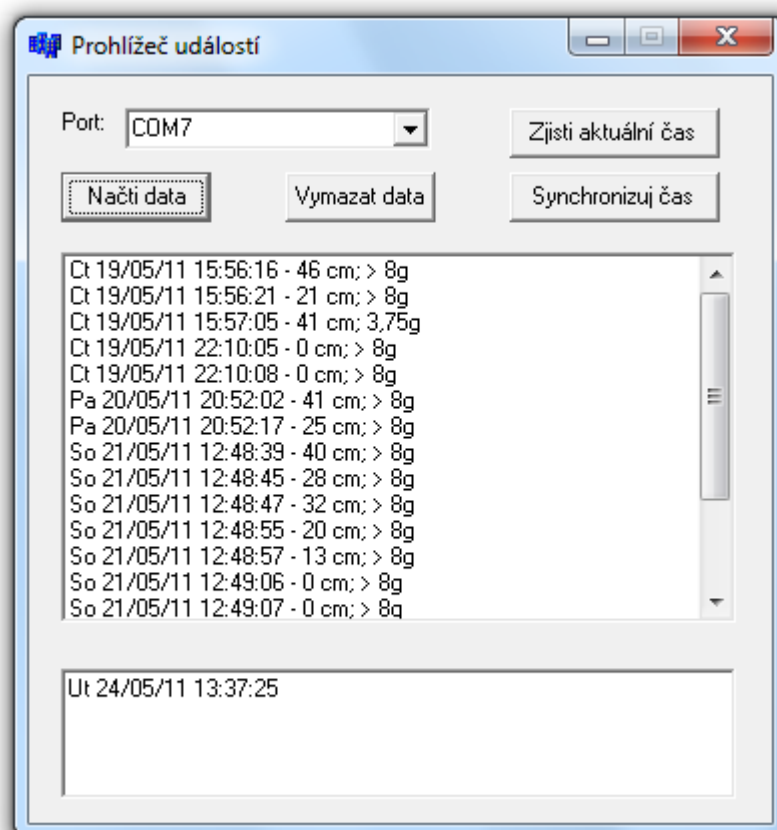


Obr. 3.3: Zjištění čísla portu zařízení.

V rámci této práce byl napsán i jednoduchý program pro PC, který slouží k prohlížení zaznamenaných událostí. Program byl napsán v prostředí Borland C++ Builder 6.0. Na obrázku 3.4 lze vidět spuštěný program. Nejprve je třeba zvolit číslo portu viz obrázek 3.3. Dále program obsahuje několik funkcí na obsluhu a získávání dat ze záznamníku.

Při stisknutí tlačítka „Načti data“ dojde ke stažení dat z přístroje a jeho převedení na čitelnou formu – datum a čas se zobrazí ve standartním formátu, čas pádu je přepočítán podle

$$s = \frac{1}{2}gt^2 \quad (3.2)$$



Obr. 3.4: Program pro PC.

na přibližnou výšku, ze které byl předmět upuštěn. Také je zobrazeno nejvyšší dosažené přetížení. Tlačítko „Vymazat data“ slouží k vymazání všech záznamů z přístroje.

Po stisku tlačítka „Zjistí aktuální čas“ dojde k přečtení aktuálního času z přístroje a jeho vypsání do spodního okna programu. Slouží zejména ke kontrole, zda nedošlo např. k výpadku napájení. Tlačítko „Synchronizuj čas“ nastaví aktuální čas záznamníku na systémový čas počítače.

4 ZÁVĚR

V rámci této bakalářské práce byl navrhnout, postaven, naprogramován a vyzkoušen funkční prototyp datového záznamníku, schopného zaznamenávat otřesy, které by mohly vést k poškození např. zboží při přepravě. Jedním z hlavních požadavků byla nízká spotřeba a dlouhá výdrž na akumulátor bez vnějšího zdroje energie – toto bylo splněno, jelikož zařízení vydrží v pohotovostním režimu setrvat po několik týdnů, což je pro dané účely přiměřené.

Nejčastější příčinou, která způsobí škodu na zboží je pád z výšky – přístroj je schopen poměrně přesně určit a zaznamenat, z jaké výšky byl upuštěn. Dále umí rozpoznat samostatné otřesy, zapříčiněné např. prudkým bržděním v automobilu. Tyto záznamy si lze posléze prohlédnout na počítači pomocí vytvořeného programu.

Z konstrukčního hlediska ještě chybí zařízení umístit do obalu, nejlépe plastové krabičky, opatřené lepící hmotou tak, aby se dalo připevnit přímo k hlídanému předmětu. Dále by se dalo uvažovat o rozšíření softwaru o další funkce, např. hlídání určité orientace vůči zemi (známé krabice „This side up“).

LITERATURA

- [1] Freescale Semiconductor *3-Axis, 10-bit/8-bit Digital Accelerometer* [online]. 2010 [cit. 24. 11. 2010]. Dostupné z URL: <http://cache.freescale.com/files/sensors/doc/data_sheet/MMA8453Q.pdf>.
- [2] Freescale Semiconductor *MC9S08JM16 Microcontroller* [online]. 2008 [cit. 30. 11. 2010]. Dostupné z URL: <http://cache.freescale.com/files/microcontrollers/doc/data_sheet/MC9S08JM16.pdf>.
- [3] Freescale Semiconductor *High Input Voltage 1.2A Charger for Single-cell Li-Ion Batteries* [online]. 2008 [cit. 30. 11. 2010]. Dostupné z URL: <http://cache.freescale.com/files/analog/doc/data_sheet/MC34673.pdf>.
- [4] Philips Semiconductors *PCF8563 Real-time clock/calendar* [online]. 1999 [cit. 30. 11. 2010]. Dostupné z URL: <<http://www.pira.cz/pdf/PCF8563.pdf>>.
- [5] Atmel Corporation *Two-wire Serial EEPROM Atmel AT24C256C* [online]. 1999 [cit. 24. 11. 2010]. Dostupné z URL: <http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc8568.pdf>.
- [6] ON Semiconductor *MC78LC00 Series Micropower Voltage Regulator* [online]. 1999 [cit. 19. 12. 2010]. Dostupné z URL: <http://www.onsemi.com/pub_link/Collateral/MC78LC00-D.PDF>.
- [7] Paul McWhorter *MEMS Products* [online]. 2008 [cit. 30. 11. 2010]. Dostupné z URL: <<http://www.memx.com/products.htm>>.
- [8] *Wikipedie: Otevřená encyklopedie: I2C* [online]. [cit. 30. 11. 2010]. Dostupné z URL: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/I2C>>.
- [9] Freescale Semiconductor *SD Card Reader using the S08JM family webcast* [online]. 2008 [cit. 10. 5. 2011]. Dostupné z URL: <http://www.freescale.com/webapp/sps/site/overview.jsp?code=SDCARDREADER_TRAINING>.

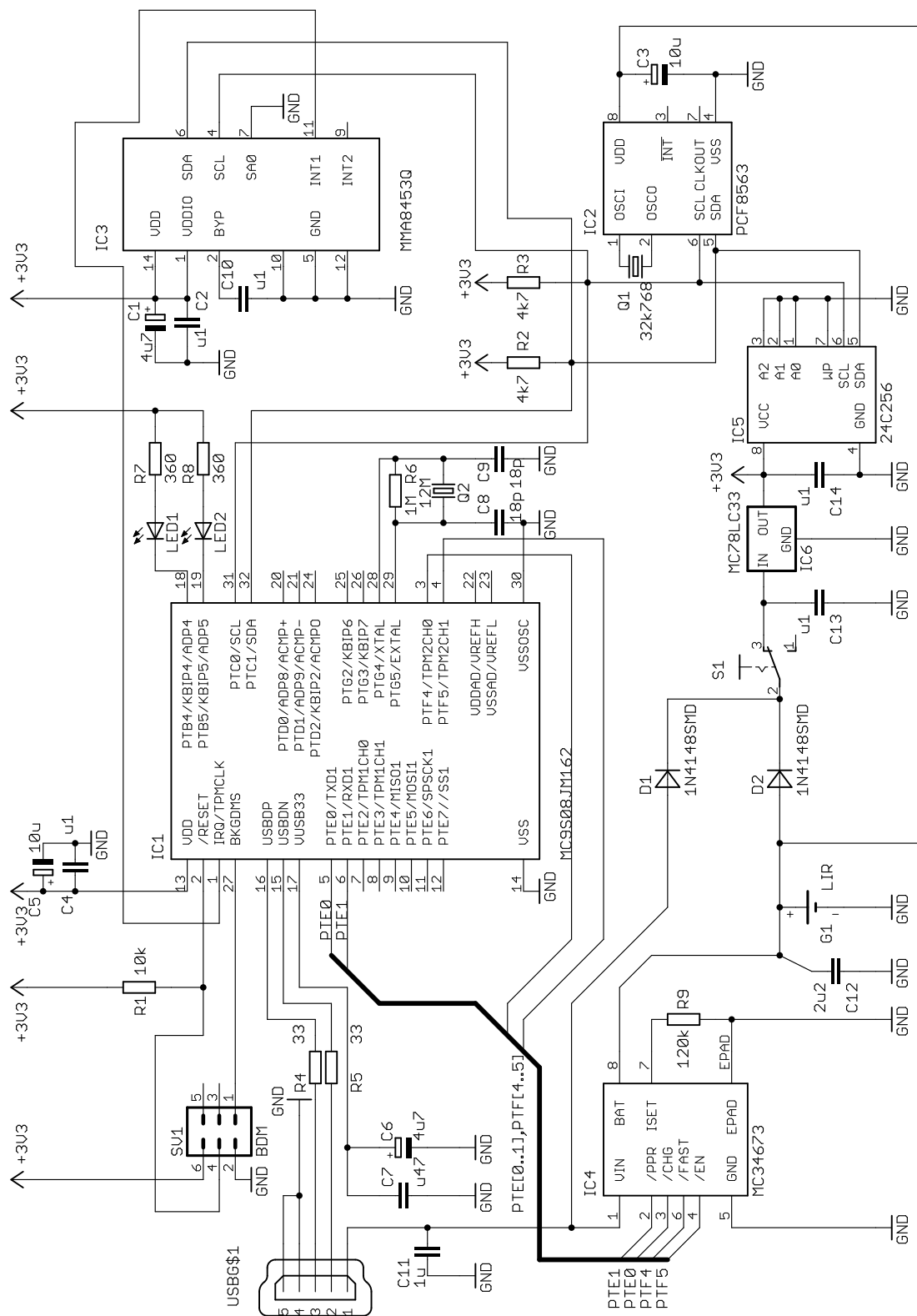
SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

- BDM Background Debug Mode – rozhraní pro programování a ladění mikroprocesorů
- CMOS Complementary Metal–Oxide–Semiconductor – technologie, používaná na výrobu většiny integrovaných obvodů
- DSP Digital Signal Processor – digitální obvody určené pro zpracování signálů
- EEPROM Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory – paměť, která si uchovává data i po odpojení napájení
- I²C Inter-Integrated Circuit – multi-masterová nízkorychlostní sériová sběrnice vyvinutá firmou Philips
- IEC International Electrotechnical Commission – mezinárodní organizace spravující elektrotechnické standardy
- MEMS Micro-Electro-Mechanical System – moderní technologie, pomocí které je možné umístit přímo na křemík a tím pádem do integrovaného obvodu, miniaturní mechanické součástky; pomocí této technologie se vyrábí převážně senzory – akcelerometry, gyroskopy apod.
- QFN Quad Flat No lead – miniaturní pouzdro pro integrované obvody určené pro SMT montáž
- RAM Random Access Memory – paměť sloužící k dočasnému uložení dat
- RoHS Restriction of the use of Hazardous Substances – direktiva zakazující používání nebezpečných látek v elektrických a elektronických výrobcích vydaná Evropskou komisí
- RTC Real-time clock – elektronické obvody sloužící k udržování údaje o aktuálním čase
- SPI Serial Peripheral Interface – sériové periferní rozhraní určené pro komunikaci mikroprocesoru s ostatními integrovanými obvody
- UDFN Micro Dual Flat No Lead – miniaturní pouzdro pro integrované obvody určené pro SMT montáž
- USB Universal Serial Bus – momentálně jedna z nejrozšířenějších počítačových sběrnic, sloužící pro připojení nejrozličnějších zařízení

SEZNAM PŘÍLOH

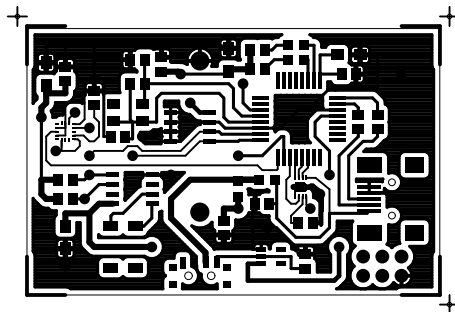
A Schéma navrženého zařízení	32
B Motivy plošného spoje	33
C Seznam součástí	35
D Fotografie výrobku	36
E Obsah přiloženého CD	37

A SCHÉMA NAVRŽENÉHO ZAŘÍZENÍ

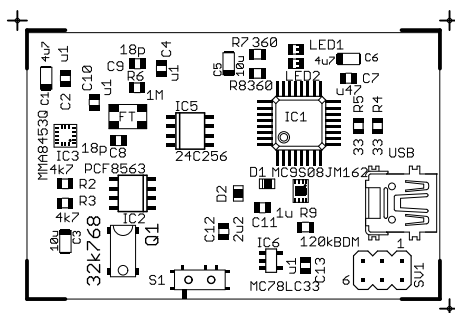


B MOTIVY PLOŠNÉHO SPOJE

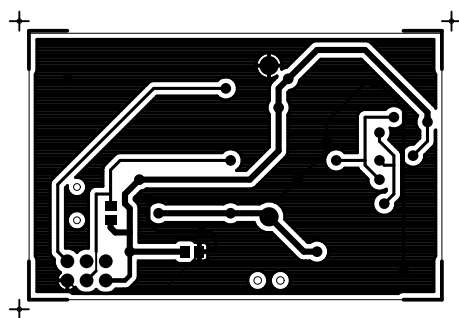
Motivy jsou v poměru 1:1.



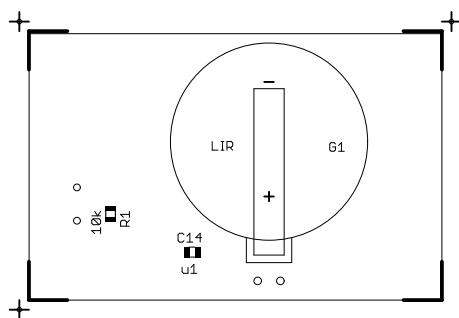
Obr. B.1: Motiv plošného spoje - strana TOP.



Obr. B.2: Osazovací plán - strana TOP.



Obr. B.3: Motiv plošného spoje - strana BOTTOM.



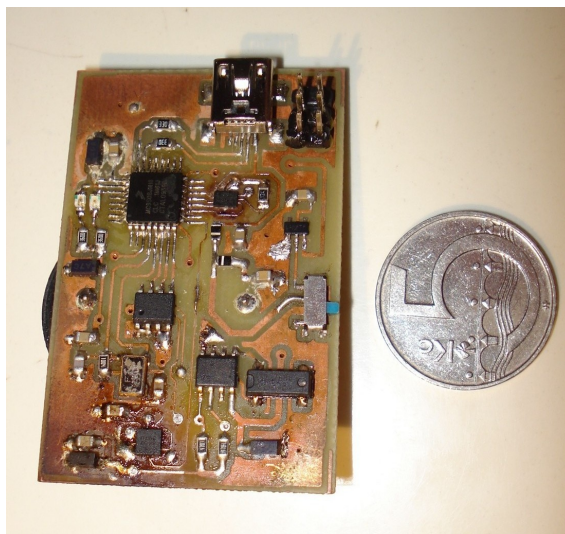
Obr. B.4: Osazovací plán - strana BOTTOM.

C SEZNAM SOUČÁSTEK

Součástka	Hodnota/název	Pouzdro
C1, C6	4u7	SMC A
C2, C4, C10, C13, C14	u1	C0805
C3, C5	10u	SMC A
C7	u47	C0805
C8, C9	18p	C0805
C11	1u	C0805
C12	2u2	C0805
D1, D2	1N4148	D0805
G1	Držák knoflíkové baterie	2430H
IC1	MC9S08JM16	QFP32
IC2	PCF8563	SO8
IC3	MMA8453Q	QFN16
IC4	MC34673	UDFN8
IC5	24C256	SO8
IC6	MC78LC33	SOT23-5
LED1	červená	CHIP-LED0805
LED2	zelená	CHIP-LED0805
Q1	32k768	MC306
Q2	12M	FTX531S
R1	10k	R0805
R2, R3	4k7	R0805
R4, R5	33	R0805
R6	1M	R0805
R7, R8	360	R0805
R9	120k	R0805
S1	Miniaturní posuvný přepínač	MINISS
SV1	BDM konektor	MA03-2
USB	USB konektor	32005-201

Tab. C.1: Seznam součástek.

D FOTOGRAFIE VÝROBKU



Obr. D.1: Fotografie zhotoveného zařízení z vrchní strany.



Obr. D.2: Fotografie zhotoveného zařízení ze spodní strany.

E OBSAH PŘILOŽENÉHO CD

Přiložené CD obsahuje

- Tento text v elektronické podobě
- Schéma a návrh plošného spoje ve formátu programu Eagle
- Firmware zařízení
- Ovladač zařízení pro systém Windows
- Program pro prohlížení zaznamenaných událostí