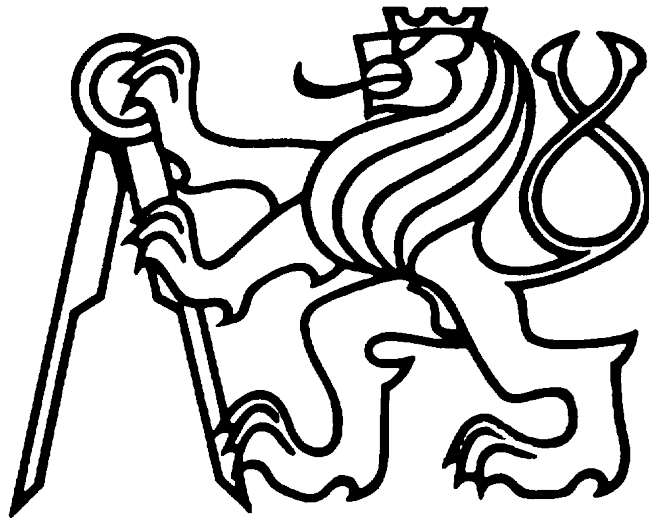


České vysoké učení technické v Praze

Fakulta elektrotechnická



Bakalářská práce

Monitorování pohybu akcelerometrem

Jakub Richter

Vedoucí práce: prof. Ing. Miroslav Husák, CSc.

Studijní program: Komunikace, multimédia a elektronika

Obor: Aplikovaná elektronika

2014

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta elektrotechnická

Katedra mikroelektroniky

Monitorování pohybu akcelerometrem

Květen 2014

Bakalant: Jakub Richter

Vedoucí práce: prof. Ing. Miroslav Husák, CSc.

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student: **RICHTER Jakub**

Studijní program: Komunikace, multimédia a elektronika
Obor: Aplikovaná elektronika

Název tématu: **Monitorování pohybu akcelerometrem**

Pokyny pro vypracování:

1. Proveďte rozbor současného stavu poznatků řešení využití akcelerometru při sledování nestandardních pohybů osob.
2. Navrhněte a realizujte senzorový systém s akcelerometrem pro sledování nestandardního pohybu osob. Na realizovaném jednoduchém systému s akcelerometrem proveďte základní měření průběhů výstupních signálů akcelerometru a vyhodnoťte chování systému pro osobu s nestandardními pohyby (pád osoby na zem, následná nečinnost apod.). Pro řešení vyberte vhodný typ akcelerometru 1D až 3D dostupného na trhu v ČR. Pro vyhodnocení krizového stavu navrhněte odeslání informace s využitím vhodného komunikačního standardu, např. formou SMS.
3. Vyhodnoťte dosažené parametry navrženého systému a účinnost monitorování osoby.
4. Navrhněte další možné pokračování řešení práce s rozšířením funkcí systému.

Seznam odborné literatury:

1. Neumann,P., Uhlíř,J.: Elektronické obvody a funkční bloky (I,II), ČVUT.
2. Husák,M., Mikrosenzor y a mikroaktuátory, Academia 2008, 540 s., ISBN 978-802-0014-788.
3. Ripka,P., Senzory a převodníky, 2. Vyd., ČVUT 2011, 136 s., ISBN 978-800-1046-968
4. Petr Jeník, Sensorový systém pro monitorování bezpečného pohybu osob, Bc práce, ČVUT 2012.

Vedoucí: **Prof. Ing. Miroslav Husák, CSc.**

Platnost zadání: 31. 8. 2015

L.S.

Prof. Ing. Miroslav Husák, CSc.
vedoucí katedry

Prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
děkan

V Praze dne 22. 1. 2014

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval všem, kteří mi pomohli svými radami, pomocí, zprostředkováním pomůcek k realizaci a hlavně děkuji za jejich čas a ochotu. Zvláště děkuji prof. Ing. Miroslavu Husákovi, CSc. za odborné rady, konzultace a zprostředkování součástek, Renátě Burianové za příjemné jednání a zprostředkování nákupu součástek, Ing. Tomáši Teplému za odborné rady a zprostředkování pomůcek k realizaci konečného produktu. Dále bych chtěl poděkovat všem lidem, kteří byli ochotní mi pomoci a poradit v případech, kdy jich bylo potřeba. A hlavně bych chtěl poděkovat všem lidem, kteří mi byli během zpracovávání této práce morální podporou.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem zadanou bakalářskou práci zpracoval sám s přispěním vedoucího práce a konzultanta a používal jsem pouze literaturu v práci uvedenou. Dále prohlašuji, že nemám námitek proti půjčování nebo zveřejňování mé bakalářské práce nebo její části se souhlasem katedry.

V Praze dne

23. 5. 2014

.....

Podpis

Anotace:

Předmětem této práce je navrhnout a zrealizovat zařízení, které monitoruje pohyb člověka akcelerometrem a vyhodnocuje, zda nastal kritický stav. Tj. stav, kdy byl zaznamenán nestandardní pohyb jako například pád a následná nečinnost osoby, čemuž odpovídá například stav bezvědomí. Dále se tato práce zabývá odesláním informace pro případ, že tento nestandardní pohyb nastal. Nakonec tato práce obsahuje návrhy dalšího možného řešení a rozšíření funkcí systému.

Klíčová slova:

akcelerometr, senzor, nestandardní pohyb, mikrokontrolér, GSM modul, SMS zpráva, programátor

Annotation:

The objective of this work is to design and develop a device that monitors the movement of humans by accelerometer and evaluates whether there was a critical condition. That is state, which was recorded non-standard movement such as fall and subsequent inaction of the person, which corresponds, for example, a state of unconsciousness. This work also deals with dispatch information in the event that this non-standard movement occurred. Finally, this work contains suggestions of possible solutions and advanced system features.

Key words:

accelerometer, sensor, non-standard movement, microcontroller, GSM module, SMS message, programmer

Obsah

Obsah

Seznam použitých symbolů a zkratk	12
Úvod.....	15
1 Principy akcelerometru	16
1.1 Co je akcelerometr?	16
1.2 Princip činnosti akcelerometru	16
1.2.1 Model absolutního akcelerometru	16
1.2.2 Pohybová rovnice	16
1.2.3 Tlumení akcelerometru	17
2 Druhy akcelerometrů.....	18
2.1 Piezoelektrické akcelerometry.....	18
2.1.1 Použití piezoelektrických akcelerometrů	18
2.2 Piezodporové (tenzometrické) akcelerometry	18
2.2.1 Princip piezodporových akcelerometrů.....	19
2.3 Kapacitní akcelerometry.....	19
2.3.1 Nejjednodušší základní uspořádání kapacitního akcelerometru	19
2.3.2 Princip činnosti kapacitních akcelerometrů	20
2.3.3 Diferenciální uspořádání	20
2.3.4 Princip hřebenového uspořádání kapacitního akcelerometru.....	20
2.3.5 2D a 3D akcelerometry	21
3 Technologie a firmy nabízené na trhu.....	21
3.1 MEMS technologie.....	21
3.1.1 Co je to MEMS?.....	21

4	Návrh a realizace	21
4.1	Použitý akcelerometr	21
4.1.1	LIS3DH	22
4.2	Použitý mikrokontrolér.....	23
4.3	Použitý GSM modul	23
4.3.1	GSM2 Click.....	24
4.3.2	MikroBUS	24
4.4	Použitý stabilizátor	25
4.4.1	MAX6103EUR-T.....	25
4.5	Schéma přípravku.....	26
4.6	Návrh desky plošného spoje	27
5	Software přípravku.....	28
5.1	Programátor PICkit3.....	28
5.2	Programovací prostředí.....	29
5.2.1	mikroC PRO for PIC	29
5.3	Komunikační rozhraní	30
5.3.1	Sběrnice SPI	30
5.3.2	Synchronní / asynchronní sériové rozhraní USART	31
5.4	Návrh softwaru a řešení.....	31
5.4.1	Stavový diagram.....	31
6	Dosažené výsledky.....	33
6.1	Teoretické vyhodnocení signálu	33
6.2	Měření výstupních signálů a jejich následné vyhodnocení pro nestandardní pohyby osob	33
7	Návrh dalšího možného řešení práce s rozšířením funkcí systému.....	33

7.1	Odeslání informace.....	33
7.2	Zjednodušení	34
7.3	Doplňkové funkce.....	34
7.4	Vylepšení vzhledu	34
	Závěr	35
	Literatura.....	36
	Seznam obrázků.....	38

Seznam použitých symbolů a zkratk

GSM	Globální systém pro mobilní komunikaci „groupe spécial mobile“
SMS	Služba krátkých textových zpráv „short message service“
MEMS	„Micro-Electro-Mechanical Systems“
CMOS	Technologie unipolárních tranzistorů „Complementary Metal–Oxide–Semiconductor“
PDA	Malý kapesní počítač „personal digital assistant“
Inc.	„Incorporation“
ADI	„Analog Devices, Inc“
NYSE	„New York Stock Exchange“
IC	Integrovaný obvod „integrated circuit“
DSP	Digitální zpracování signálu
USA	Spojené státy Americké „United states of America“
RoHS	Směrnice Evropského parlamentu a Rady „Restriction of the use of certain Hazardous Substances in electrical and electronic equipment“
SPI	Sériové periferní rozhraní „Serial Peripheral Interface“
MCU	Mikrokontrolér
RAM	Paměť s náhodným přístupem „random-access memory“
CPU	Procesor „Central processing unit“
I/O	Vstupy/výstupy „input/output“
EUSART	Synchronní / asynchronní sériové rozhraní USART „Universal Synchronous / Asynchronous Receiver and Transmitter“
I ² C	Multi-masterová počítačová sériová sběrnice „Inter-Integrated Circuit“
ADC	Převodník analog-digital „analog-digital converter“

PWM	Pulsně šířková modulace „pulse width modulation“
GPRS	Služba umožňující přenos dat a připojení k Internetu „general packet radio service“
SMA	Anténní konektor „SubMiniature version A“
RX	Přijímací pin „reciever“
TX	Vysílací pin „transmit“
INT	Přerušení „interrupt“
CS	Výběrový pin „Chip select“
RST	Resetový pin „Reset“
AN	Analogový pin „analog pin“
LED	Elektroluminiscenční dioda „Light-Emitting Diode“
PC	Počítač „personal computer“
VDD	Napájecí pin
VSS	Zemní pin
MCLR	Resetovací pin
PGD	Datový pin
PGC	Hodinový pin
USB	„Universal serial bus“
IDE	„Integrated drive electronics“
A/D	„Analog/digital“
EEPROM	Jedná se o elektricky mazatelnousemipermanentní (nevolatilní) paměť typu ROM-RAM „electrically erasable programmable read-only memory“
LCD	Displej z tekutých krystalů „liquid crystal display“
SS	Pin vybírající Slave „Slave select“
MOSI	Master vysílá a Slave přijímá „Master out, Slave in“

MISO		Master přijímá a Slave vysílá „Master in, Slave out“
g	$m * s^{-1}$	Tíhové zrychlení
a	$m * s^{-1}$	Dynamické zrychlení
k		Setrvačnost
m	kg	Hmotnost
b	N	Tlumení
x, y, z	m	Vzdálenost daného rozměru
t	s	Čas
ω	$rad * s^{-1}$	Kmitočet (úhlová rychlost)
F	N	Síla
U	V	Napětí
I	A	Proud
f	Hz	Frekvence
T	$^{\circ}C$	Teplota
$ V $	$m * s^{-1}$	Absolutní hodnota vektoru zrychlení
X, Y, Z	$m * s^{-1}$	Souřadnice vektoru zrychlení

Úvod

S dobou a vyvíjející se technikou se neustále hledají způsoby, jak chránit zdraví našim starším žijícím generacím a fyzicky či mentálně postiženým osob a je také snaha o snižování rizik předčasné ztráty jejich života. Tato práce řeší případy, kdy osoba již nedostatečně silná se nachází v situaci, kdy dojde k neočekávanému prudkému pohybu jako například pádu a postižená osoba nebude v daný moment schopna se sama o sebe postarat. V takovém případě je třeba odeslat informaci o nastalém kritickém stavu postižené osoby, aby o ni bylo postaráno.

Hlavní součástí této práce je senzor dynamického zrychlení akcelerometr. Proto se tato práce zabývá v první a druhé kapitole teorií o akcelerometrech a v kapitole třetí základním zmapování na trhu. Kapitola čtvrtá se již zabývá návrhem a realizací, kde je popsán vybraný akcelerometr a k němu je také vybrán vhodný mikrokontrolér a v neposlední řadě řešení odeslání signálu při kritickém stavu. To je řešeno GSM modulem, který v případě nestandardního pohybu a následné nečinnosti odešle po několika vteřinách zprávu formou SMS.

Dále je zde popsán vývoj produktu od návrhu desky plošného spoje a v kapitole páté schéma návrhu softwaru ke konečné realizaci.

Kapitola šestá se zabývá dosaženými výsledky.

Jelikož je tento produkt jen laboratorním vzorkem, naleznete zde v kapitole sedmé návrhy na případná vylepšení a rozšíření o další funkce a také návrh, jak výsledný senzorový systém použitelný pro praktické použití bude vypadat.

1 Principy akcelerometru

1.1 Co je akcelerometr?

Akcelerometr je senzor pro měření dynamického a statického zrychlení. Dynamické zrychlení nám způsobuje sílu při změně rychlosti objektu. Statické zrychlení nám způsobuje síla vzniklá působením zemské gravitace.

Tyto síly můžeme využít pro měření úhlu náklonu (statické zrychlení), měření setrvačných sil a měření otřesů.

1.2 Princip činnosti akcelerometru

Akcelerometrem můžeme měřit absolutní a relativní zrychlení. Absolutní zrychlení je zrychlení vůči zemi (zemská přitažlivost). Relativní zrychlení je zrychlení vůči jinému předmětu. Dále se definují také absolutní a relativní senzory. „Absolutní senzor využívá vztažný bod uvnitř senzoru. Poloha vůči tomuto senzoru se pak měří relativním senzorem umístěným uvnitř absolutního senzoru.“[1] Model absolutního senzoru je na Obr. 1.

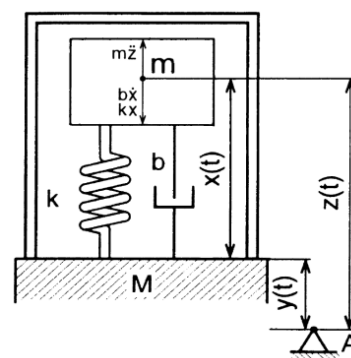
1.2.1 Model absolutního akcelerometru

Akcelerometr se skládá ze základny, která je pevně sepnutá s měřeným objektem M , pružně setrvačná hmota k , díky které na základě polohy vůči základně senzor vyhodnocuje tlumení b , které je reprezentováno umělými tlumiči nebo i prouděním vzduchu apod.

1.2.2 Pohybová rovnice

„Pokud rovnováhu vztáhneme k pevnému bodu A , můžeme sestavit pohybovou rovnici soustavy ve tvaru:

$$m * \frac{d^2z}{dt^2} + b * \frac{dx}{dt} + k * x = 0 \quad (1),$$



Obr. 1 Model absolutního senzoru [1]

kde pro časově proměnné složky souřadnic platí:

$$z(t) = x(t) + y(t).$$

a pohybovou rovnici lze napsat ve tvaru:

$$m * \frac{d^2x}{dt^2} + b * \frac{dx}{dt} + k * x = -m * \frac{d^2y}{dt^2} \quad [2] \quad (2).$$

„Vyřešením pohybové rovnice získáme amplitudovou a fázovou charakteristiku absolutního senzoru kmitů. Při zanedbání tlumení Tj. pro ($b = 0$):

$$\frac{d^2y}{dt^2} = -\frac{d^2x}{dt^2} - \omega_0^2 x \text{ kde } \omega_0 \text{ je rezonanční kmitočet } \omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (3).$$

Pro harmonický pohyb tělesa, tj. $y = y_0 * \sin \omega t$ a $x = x_0 * \sin \omega t$ amplitudová charakteristika:

$$\frac{x_0}{y_0} = \frac{\omega^2}{\omega_0^2 - \omega^2} \quad (4).$$

Je-li $\omega \ll \omega_0$, můžeme napsat $x_0 = \frac{\omega^2 y_0}{\omega_0^2}$, pak amplituda x_0 je přímo úměrná amplitudě měřeného zrychlení, což je principem všech akcelerometrů.

Je-li $\omega \gg \omega_0$, pak $x(t) = -y(t)$ a $z(t) = 0$. Senzor tedy měří amplitudu (dráhu) pohybu, takže je hmotnost $m = 0$.“[1] A tedy nic nezměří.

1.2.3 Tlumení akcelerometru

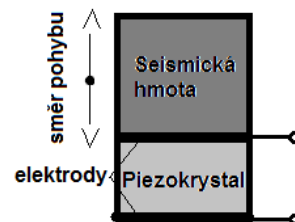
Tlumení akcelerometru by nemělo být ani příliš velké, ani příliš malé. Optimální tlumení je při lineárním fázovém posuvu $B = 7$. Příliš velké tlumení omezuje frekvenční rozsah senzoru a neúměrně zvyšuje fázový posuv. Příliš malé tlumení způsobí vznik překmitů a klesá maximální použitelná frekvence měřeného zrychlení. „Výběr správného tlumení je kompromisem.“[1]

Akcelerometry mohou být jednoosé, dvouosé nebo tříosé. Záleží, na co je potřebujeme použít. U víceosých akcelerometrů se měří každá osa zvlášť.

2 Druhy akcelerometrů

2.1 Piezoelektrické akcelerometry

Tento druh akcelerometrů je založen na měření polohy seismické hmotnosti vůči pouzdru senzoru, která nám dává piezoelektrické napětí. Využívají se zde komprese nebo smykové deformace. Avšak piezoelektrické akcelerometry mají jednu nevýhodu. Piezoelektrický akcelerometr nelze použít pro měření statického zrychlení – vzniklý náboj se vybíjí přes vnitřní odpor a svody.“[1] Princip piezoelektrického akcelerometru je znázorněn na [Obr. 2](#).



Obr. 2 Princip piezoelektrického akcelerometru

2.1.1 Použití piezoelektrických akcelerometrů

Piezoelektrické akcelerometry se používají například pro měření vibrací. A to díky velké tuhosti a malé hmotnosti. „Podmínkou pro měření zrychlení kmitání je velká rezonanční frekvence ω_0 až 250 kHz.“[1]

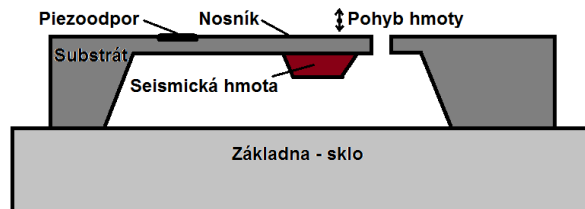
Dále se dají piezoelektrické akcelerometry použít využitím smykové deformace piezoelektrického elementu. To má následující princip: „Využití skutečnosti, že náboje vyvolané teplotní dilatací a smykovým namáháním nevznikají na stejných plochách elementu.“[1] Nelze tím však měřit statické zrychlení. Tento způsob má následující použití: „Vlastní rezonanční frekvence akcelerometru je vysoká – lze použít pro měření zrychlení při vysokých hodnotách frekvence kmitání hmoty. K měření velmi vysokých hodnot dynamického zrychlení (až 20 000).“[1]

2.2 Piezoodporové (tenzometrické) akcelerometry

Piezoodporové akcelerometry jsou založeny na změně napětí při změnách v materiálu. Nejjednodušeji se používají na principu vetknutého nosníku a od stejnosměrných hodnot zrychlení až přibližně do 13 kHz.

2.2.1 Princip piezodporových akcelerometrů

„Pohybem hmoty dochází k prodlužování nebo zkracování piezodporového elementu – princip tenzometru (změna ohmického odporu). Změna je úměrná výchylce hmoty.“[1] Princip piezodporového akcelerometru je na [Obr. 3](#)

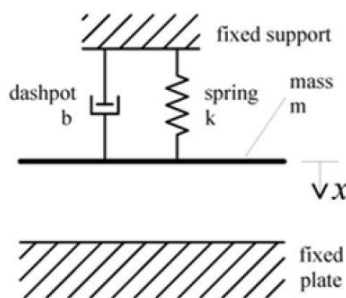


Obr. 3 Princip piezodporového akcelerometru

2.3 Kapacitní akcelerometry

2.3.1 Nejjednodušší základní uspořádání kapacitního akcelerometru

Kapacitních akcelerometry jsou založeny na principu deskových kondenzátorů s jednou

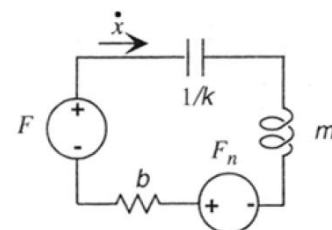


pohyblivou hmotnou elektrodou, kde při změnách zrychlení dojde ke změně polohy mezi elektrodami a tedy ke změně kapacity. Tento princip je komplementární k elektrostatickému aktuátoru. Nevýhodou je vysoký teplotní a časový drift a vznik elektrostatické síly. Model deskového kondenzátoru je znázorněn na [Obr. 4](#).

Obr. 4 Model deskového kondenzátoru

s jednou pohyblivou elektrodou [1]

$$\text{Rezonanční frekvence } \omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (5).$$



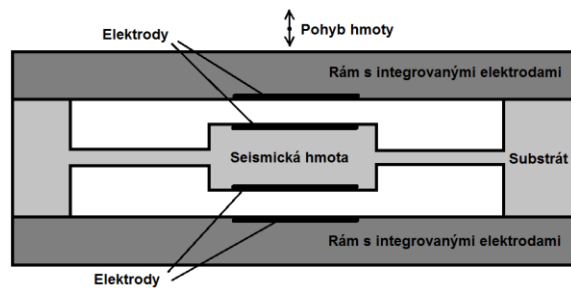
Obr. 5 Ekvivalentní obvodové schéma [1]

„Rozsah pohybu desek kapacitních akcelerometrů je tím vyšší, čím menší rezonanční kmitočet požadujeme, a naopak.“ [1] Zrychlení (kvazistatické akcelerometry): $a = x * \omega_0^2$ (6).

Na [Obr. 5](#) můžeme vidět ekvivalentní obvodové schéma kde F je síla mezi deskami a F_n je šum.

2.3.2 Princip činnosti kapacitních akcelerometrů

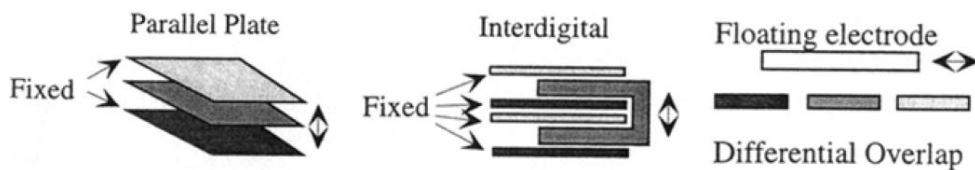
Na Obr. 6 tvoří pevné elektrody 2 kapacity vůči seismické hmotě. Při změně vzdálenosti desek vlivem pohybu se mění i kapacity. Jedna roste a druhá klesá.



Obr. 6 Princip činnosti kapacitních akcelerometrů [1]

2.3.3 Diferenciální uspořádání

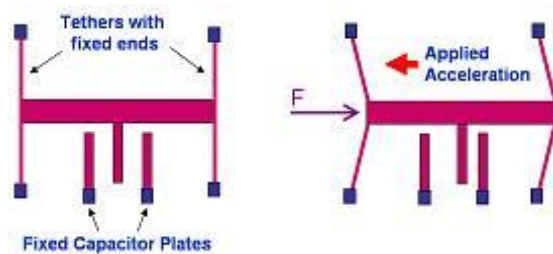
Diferenciální uspořádání jako např. na Obr. 6 nebo Obr. 7 nám umožňuje eliminovat nedostatky základního uspořádání a to díky dvěma kapacitám symetricky uspořádaným vůči seismické hmotě.



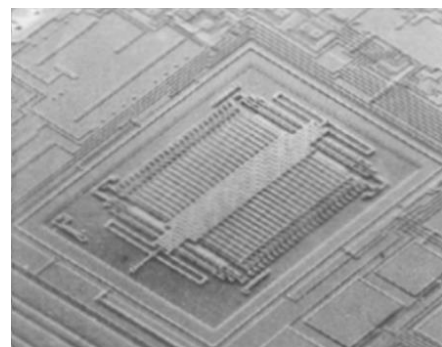
Obr. 7 Různá možná uspořádání diferenciálního kapacitoru [1]

2.3.4 Princip hřebenového uspořádání kapacitního akcelerometru

Jde o několik paralelně propojených diferenciálních kapacitorů, viz Obr. 9. Základní princip hřebenového akcelerometru je na Obr. 8, který je prakticky stejný jako diferenciálních kapacitorů.



Obr. 8 Princip hřebenového akcelerometru [3]



Obr. 9 Hřebenové uspořádání kapacitního akcelerometru [1]

2.3.5 2D a 3D akcelerometry

Fungují na stejném principu jako diferenciální akcelerometry. Mají však uspořádání do více os (x a y pro 2D, x , y a z pro 3D). Tedy dostáváme 3 informace o pohybu akcelerometru. Lze tím měřit jak dynamické tak statické zrychlení mimo rozsah normálního gravitačního zrychlení.

3 Technologie a firmy nabízené na trhu

3.1 MEMS technologie

3.1.1 Co je to MEMS?

Micro-Electro-Mechanical Systems. Jde o technologii kde akcelerometry, gyroskopy, digitální kompas, senzory tlaku apod. jsou umístěny v jednom integrovaném čipu. Obvykle jsou vyráběny z polykrystalického křemíku. V elektronické části využívají většinou CMOS technologii. V mechanické části využívají technologii „mikroobrábění“. Typickými výrobci MEMS technologií jsou např. STMicroelectronics, Texas Instruments, Sandia National Laboratories, a další....

MEMS s integrovaným akcelerometrem funguje na principu diferenčního kapacitoru. „Napětí pohyblivé elektrody je demodulováno synchronním detektorem. Výstup tohoto demodulátoru může být zpět na pohyblivou elektrodu a vytvořit tím elektrostatickou zpětnou vazbu, která vyváží působení zrychlení na hmotu.“ [1]

4 Návrh a realizace

4.1 Použitý akcelerometr

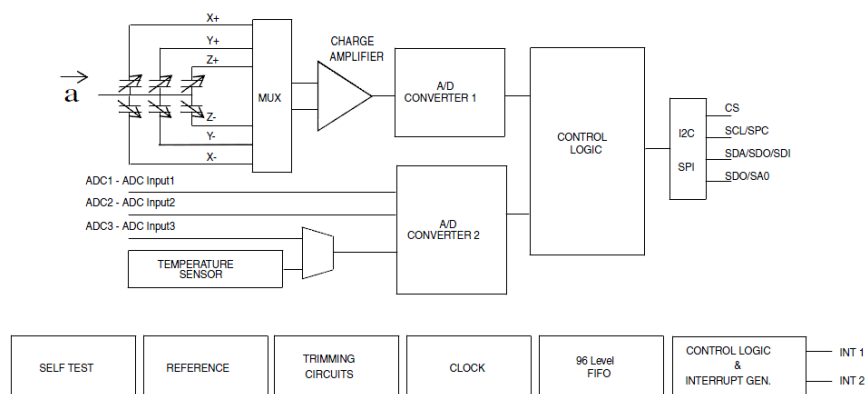
Pro monitorování pohybu člověka, detekci pádů apod. bylo třeba vybrat akcelerometr s měřením zrychlení 2 g, 4 g, ale také až 8 g. Spolehlivá a dobře dostupná firma pro studenta ČVUT je STMicroelectronics. Od tohoto výrobce byl pro tento účel vybrán akcelerometr LIS3DH, jehož základní vlastnosti jsou popsány níže.

4.1.1 LIS3DH

3-Osý akcelerometr technologie MEMS s digitálním výstupem snímače. Ultra-nízký výkon, vysoká přesnost. Blokový diagram akcelerometru LIS3DH je znázorněn na [Obr. 10](#).

„Klíčové vlastnosti:

- Široké napájecí napětí 1,71 V až 3,6 V
- Nezávislé informační povinné napětí (1,8 V) a napájecí napětí je kompatibilní
- Ultra režimu nízké spotřeby až 2 μ A
- ± 2 g / ± 4 g / ± 8 g / ± 16 g dynamicky zvolit full-scale
- I²C / SPI digitální výstupní rozhraní
- 16 bitový výstup dat
- 2 nezávislé programovatelné generátory přerušení pro volný pád a pohybové detekce
- 6D/4D detekce orientace
- Detekce volného pádu
- Detekce pohybu
- Vestavěné teplotní čidlo
- Vestavěný self-test
- Vložené 96 úrovní 16 bitový výstup dat FIFO
- 10000 g vysoký šok přežití
- ECOPACK[®] RoHS a "Green" kompatibilní [4]



Obr. 10 Blokový diagram akcelerometru LIS3DH [9]

4.2 Použitý mikrokontrolér

Pro akcelerometr LIS3DH firmy STMicroelectronics je vhodné vybrat mikrokontrolér, aby bylo zachováno rozmezí napájecího napětí 1,71 až 3,6 V, aby nebylo třeba více stabilizátorů. Dále musíme brát v úvahu přenos dat mezi akcelerometrem a mikrokontrolérem v režimu single-master, čemuž odpovídá sběrnice SPI. S potazem na tyto parametry byl vybrán mikrokontrolér PIC18F45K22 od firmy Microchip.

Mikrokontrolér PIC18F45K22 se chlubí těmito parametry:

- „Kontrolér Rodina/Řada: PIC18FxxKxx
- Paměť programu: 32 KB
- RAM paměť: 1,5 KB
- CPU rychlost: 64 MHz
- Počet I/O pinů: 36
- Počet pinů: 44
- Vestavěné typy rozhraní: EUSART, I²C, SPI
- Minimální napájecí napětí: 2,3 V
- Maximální napájecí napětí: 5,5 V
- Velikost jádra: 8 bit
- EEPROM paměť: 256 Byte
- Maximální funkční teplota: 125 °C
- Minimální funkční teplota: -40 °C
- Periferie: ADC, Komparátor, PWM, Časovač
- Paměť programu: 32 KB“ [7]

4.3 Použitý GSM modul

„GSM (Globální Systém pro Mobilní komunikaci, původně však francouzsky „Groupe Spécial Mobile“) je nejrozšířenější standard pro mobilní telefony na světě. V současnosti jej používá více než 5 miliard účastníků ve více než 200 zemích světa. Protože někteří lidé mají

více SIM karet, lze odhadovat, že mobilní telefon GSM vlastní asi polovina obyvatel planety Země.“ [13] Jelikož výsledný produkt této práce je spíše laboratorní produkt, vybral jsem již hotový GSM modul. Jelikož byl vybrán mikrokontrolér PIC18F45K22, se kterým mám zkušenosti, vybral jsem od firmy MikroElektronika GSM modul GSM2 Click.

4.3.1 GSM2 Click

„GSM2 Click je připojen k desce přes konektor microBUS, který je ideálním řešením pro přidání GSM / GPRS komunikační vrstvy pro naše zařízení. Je vybaven Quectel M95 GSM / GPRS modulem, který podporuje GSM850MHz, GSM900MHz, DCS1800MHz nebo PCS1900MHz quad-band frekvence s 85,6 kbps GPRS data přenosem. Deska obsahuje quadropole audio / mikrofon jack, SMA anténní konektor, stejně jako zásuvku SIM karty. GSM Click komunikuje s cílovým mikrokontrolérem přes sedm linek mikroBUS™ (RX, TX, INT, PWM, CS, RST a AN). Deska může být napájena buď 3,3 V nebo 5 V napájení a I / O napětíových úrovní. LED dioda indikuje přítomnost napájecího napětí.“ [10] Vrchní pohled na GSM2 Click je znázorněn na [Obr. 11](#). Spodní pohled je znázorněn na [Obr. 12](#).



Obr. 11 GSM2 Click pohled z vrchu [10]



Obr. 12 GSM2 Click pohled ze spodu [10]

4.3.2 MikroBUS

MikroBUS konektor obsahuje 2 řady osmi pinů. Komunikuje přes sběrnice SPI, UART a I²C. Obsahuje samostatné piny pro PWM, přerušení, analogový vstup, Reset a Chip select. Využívá také dvou možností napájecích úrovní a to mezi +3,3 V a GND a mezi 5 V a GND. Obě možnosti jsou na různých stranách konektoru. Rozvržení konektoru mikroBUS je znázorněn na [Obr. 13](#).

Popis pinů:

AN - Analogový pin

RST - Resetový pin

CS - Chip Select pro SPI

SCK - Hodiny pro SPI

MISO - Slave Výstup pro SPI

MOSI - Slave Vstup pro SPI

+3.3V – 3,3 V napájení

GND – Zem

PWM – Pulsní šířková modulace

INT - Hardware přerušení

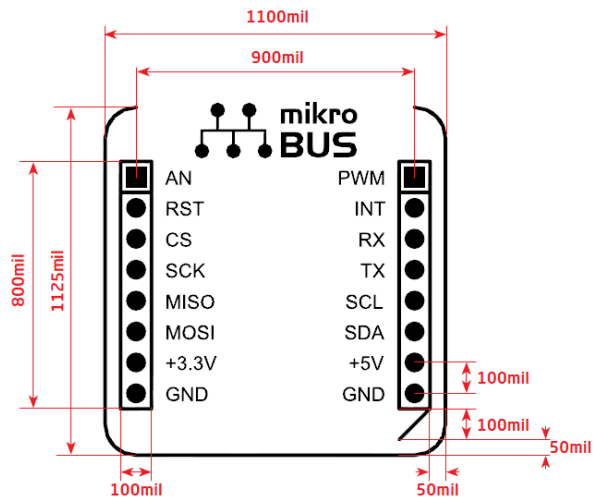
RX - UART Přijímač

TX - UART Přenos

SCL – Hodiny pro I²C

SDA – Data pro I²C

+5V - 5 V napájení



Obr. 13 Rozvržení konektoru mikroBUS [10]

4.4 Použitý stabilizátor

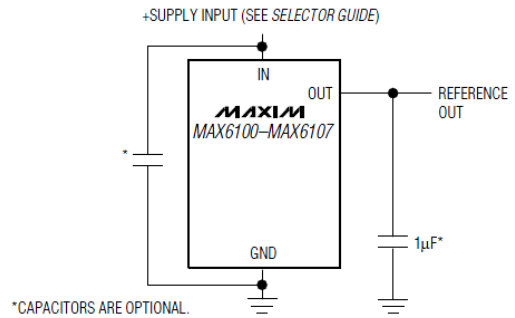
Primárním parametrem pro výběr stabilizátoru je výstupní napětí. Kvůli akcelerometru je celý produkt přizpůsoben na napájecí napětí 3 V. Dalším parametrem, který je třeba zohlednit je převodní charakteristika stabilizátoru. Jelikož nejlepší použitelnou baterii na českém trhu jsem zvolil s referenčním napětím 6 V, bylo třeba najít stabilizátor, který toto napětí solidně stabilizuje na požadované 3 V. Pro dobré jméno na trhu byl vybrán výrobce MAXIM a konkrétní stabilizátor MAX6103EUR-T.

4.4.1 MAX6103EUR-T

Obvodové zapojení tohoto stabilizátoru je znázorněno na [Obr. 14](#). Stabilizátor MAX6103EUR-T se chlubí těmito parametry:

- „Minimální vstupní napětí: 3,2 V

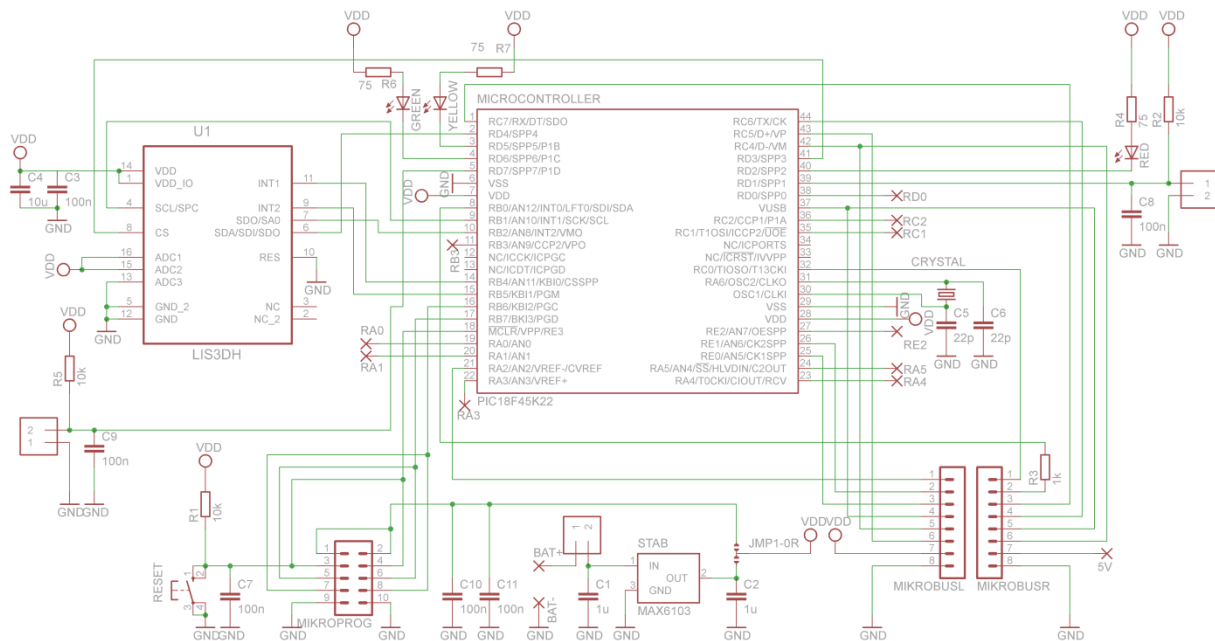
- Maximální vstupní napětí: 12,6 V
- Výstupní napětí: 3 V
- Pouzdro: SOT-23
- Počet pinů: 3
- Pokles napětí V_{do} : 50 mV
- Maximální pracovní teplota: 85 °C
- Minimální pracovní teplota: -40°C
- Výstupní proud: 5 mA
- Topologie: Series“ [7]



Obr. 14 Obvodové zapojení [11]

4.5 Schéma přípravku

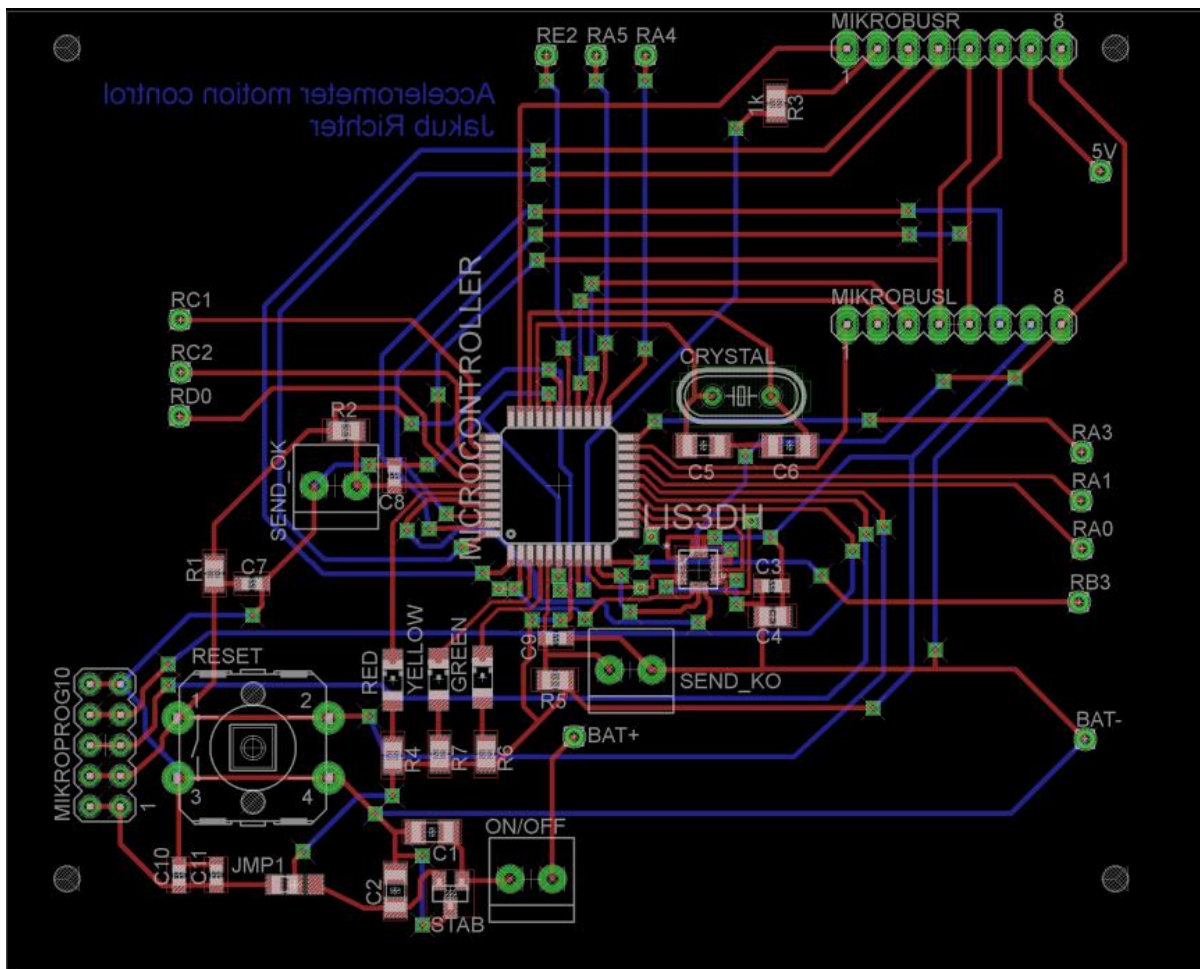
Schéma a návrh desky plošného spoje byly navrženy v programu Eagle. K mikrokontroléru (uprostřed) jsou připojeny veškeré periferie. Najdete zde akcelerometr (vlevo), konektory pro komunikaci přípravku s PC označeny jako „MIKROPROG“, ke kterému je připojeno resetovací tlačítko, dále konektory mikroBUS pro připojení GSM modulu označeny jako „MIKROBUSL“ a „MIKROBUSR“, dále stabilizátor označen jako „STAB“ a přes vypínač připojen k vývodům pro baterii. Výstup stabilizátoru a napájení z programátoru PICKit3, připojeného přes MIKROPROG, je oddělen kolíčkama s propojkou, označené jako „JMP1“. Dále zde nalezneme krystalový oscilátor (vpravo), označen jako „CRYSTAL“. Vpravo a vlevo jsou tlačítka. Vlevo ve schématu je tlačítko pro případ, že se osoba nachází v nouzi a chce poslat zprávu pro pomoc. Vpravo ve schématu je tlačítko pro případ, že se zpráva odeslala a osoba chce poslat zprávu, že je již v pořádku. Pro identifikaci, že jednotlivé stavy nastaly zde slouží LED diody. Zelená LED značí, že přípravek běží, červená značí, že byla odeslána zpráva o krizovém stavu a žlutá značí stav, kdy byla odeslaná zpráva, že je osoba již v pořádku. Schéma přípravku je znázorněno na [Obr. 15](#).



Obr. 15 Schéma zapojení přípravku

4.6 Návrh desky plošného spoje

Z praktických důvodů byla navržena oboustranná deska. Tedy červená je měď z vrchní strany a modrá je měď ze spodní strany. To je poznat také díky zrcadlovému otočení nápisu, který je natočen tak, aby při pohledu na desku byl správně. Ke každému pinu akcelerometru, na kterém cestují data, je vyveden kolík pro měření. Všechny volné nepoužité piny mikrokontroléru jsou vyvedeny na kraj desky, aby se na ně případně dal připojit další kolík pro případné použití. Všechny součástky mají svá označení stejná jako ve schématu a proto není třeba delšího popisu. Volný prostor nahoře je z důvodu rozměrů GSM modulu, který je připojen na konektoru mikroBUS. Volný prostor dole je určený pro pouzdro na baterii. Umístění je poznat dle vývodů „BAT+“ a „BAT-“. Návrh desky plošného spoje je znázorněn na [Obr. 16](#).

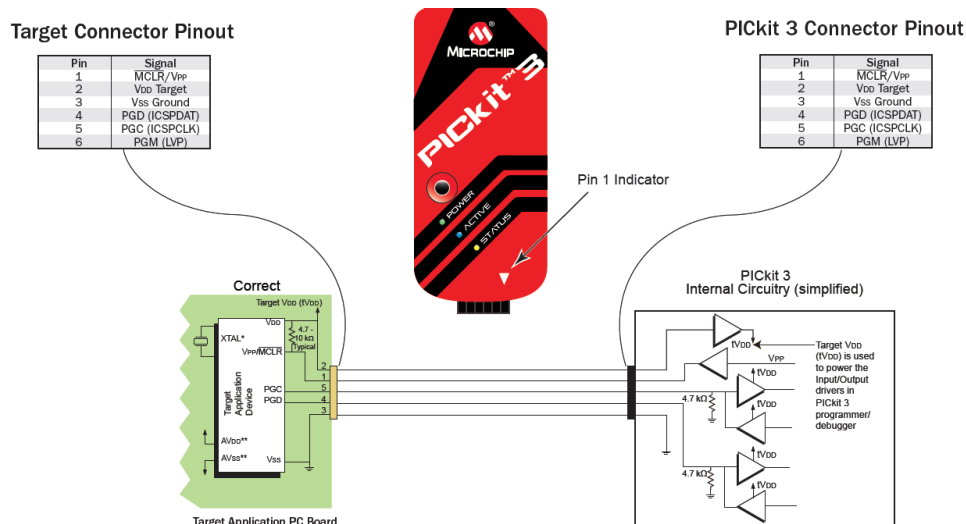


Obr. 16 Návrh desky plošného spoje

5 Software přípravku

5.1 Programátor PICkit3

Pro naprogramování softwaru je třeba přípravku připojit k PC přes programátor. Pro tento případ je řešením programátor PICkit3, který je nízkonákladový, vyžaduje minimum přidaného hardwaru pro ladění a nepotřebuje nákladné zásuvky ani adaptéry. Má také tlačítko pro přeprogramování mikrokontroléru. Připojení programátoru PICkit3 k PC je přes jednoduchý microUSB konektor. S mikrokontrolérem komunikuje PICkit3 kromě napájení VDD a zemi VSS přes piny MCLR, PGD a PGC. Rozvržení připojení pinů programátoru PICkit3 k mikrokontroléru je znázorněno na [Obr. 17](#).



Obr. 17 Rozvržení připojení pinů programátoru PICkit3 k mikrokontroléru [15]

Programátor PICkit3 se chlubí těmito parametry:

- „USB (Plná rychlost 12 Mb/s rozhraní pro hostitelské PC)
- Provedení v reálném čase
- MPLAB IDE kompatibilní (obsaženo volné kopírování)
- Firmware rozšiřitelný z PC/web stahování
- Podporuje nízké napětí od 2 V (2 V až 6 V rozsah)
- Diagnostické LED (napájení, zaneprázdněn, error)
- Čtecí/zapisovací program a datová paměť mikrokontroléru
- Smazání prostoru programové paměti s ověřováním
- Zmražení periférií při zaseknutí
- Program až do 512 KB flash s Programmer-to-Go
- Hlavičková informace“ [14]

5.2 Programovací prostředí

Pro mikrokontrolér v této práci byl zvolen programovací jazyk C. K tomu odpovídá program mikroC PRO for PIC, který má knihovny potřebné ke komunikaci přes SPI sběrnici.

5.2.1 mikroC PRO for PIC

„MikroC PRO for PIC je mocný vývojový nástroj pro mikrokontroléry PIC bohatý na funkce v jazyce C. Je vyvinut na poskytnutí programátoru s nejsnadnějším možným řešením na

vytváření aplikací pro vložené systémy, bez omezení výkonu nebo ovládání. Plná verze tohoto programu se pohybuje okolo 169 dolarů. V tuto chvíli je nejaktuálnější verze 6.0.0.

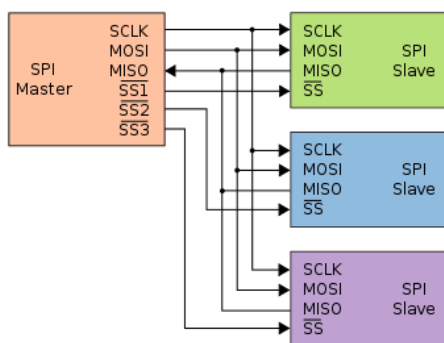
MikroC PRO for PIC obsahuje knihovny pro A/D převodníky, tlačítka, flash paměťové karty, převody mezi datovými typy, matematické funkce, funkce pro práci s řetězci, knihovny pro čtení a zápis do paměti EEPROM, pro grafické i alfanumerické LCD displeje i dotykové plochy a sedmsegmentové displeje, maticovou klávesnici, dále knihovny pro PWM, knihovny pro sběrnice I²C, SPI, 1-wire a rozhraní UART, RS485 a mnoho dalších knihoven.

5.3 Komunikační rozhraní

5.3.1 Sběrnice SPI

Serial Peripheral Interface je sériové periferní rozhraní. Tato sběrnice umožňuje mikrokontroléru či mikroprocesoru komunikovat s dalšími perifériemi jako např. displeje, A/D převodíky, EEPROM paměti, senzory apod. Adresace se provádí pomocí vodičů, které při logické úrovni „L“ aktivují dané zařízení. Tyto vodiče jsou připojeny na piny SS (slave select) nebo CS (chip select).

Zařízení sběrnice SPI jsou rozdělena na Master a Slave. U sběrnice SPI je vždy pouze jedno zařízení Master. Může to být mikroprocesor či mikrokontrolér. Slave jsou tedy všechna ostatní zařízení v obvodu. Master řídí komunikaci pomocí hodinového signálu a určuje pomocí SS popř. CS, které zařízení Slave vykoná daný úkol. Pokud je zařízení Slave aktivováno, vykoná úlohu závisle na hodinovém signálu od zařízení Master. Data mezi Master a Slave se přenášejí pomocí datových vstupů a výstupů nazvaných MOSI (Master out, Slave In) a MISO (Master in, Slave out). Délka vyslaných dat může být buď 8 *bit* (Byte) nebo 16 *bit* (Word). Sběrnice SPI funguje na sériové komunikaci USART. Schéma zapojení sběrnice SPI je znázorněno na [Obr. 18](#).

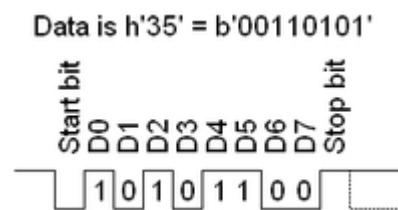


Obr. 18 Schéma zapojení sběrnice SPI [16]

5.3.2 Synchronní / asynchronní sériové rozhraní USART

USART je zařízení pro sériovou komunikaci. Můžeme jej použít v synchronním režimu jako např. pro sériový port RS232 nebo RS 485 nebo jej můžeme použít v asynchronním režimu a to např. pro sběrnici SPI.

Asynchronní přenos vypadá následujícím způsobem. „USART vysílá data na pinu označovaném obvykle jako TX (transmit), přijímá na pinu RX (receive). Klidová úroveň signálu je log. 1 (pokud neprobíhá vysílání ani příjem). Vysílání je zahájeno změnou hodnoty signálu na log. 0 po dobu jednoho bitu (tzv. start-bit). Následovně se posílá nejnižší datový bit, poslední nejvýznamnější datový bit je následován stop bitem, který má opět úroveň log. 1. Po odvysílání stop-bitu může začít přenos dalšího bajtu. Na obrázku je to vyznačeno tečkovaně.“ [17] Asynchronní 8-bitový přenos je znázorněn na [Obr. 19](#).



Obr. 19 Asynchronní 8-bitový přenos [17]

Blok USART je přímo definován také pro mikrokontroléry PIC. „Nastavení pinů pro vstup a výstup v mikropočítači se provádí prostřednictvím nastavení v registrech SPEN (bit RCSTA<7>) a TRISC<bity 7:6>.“ [17]

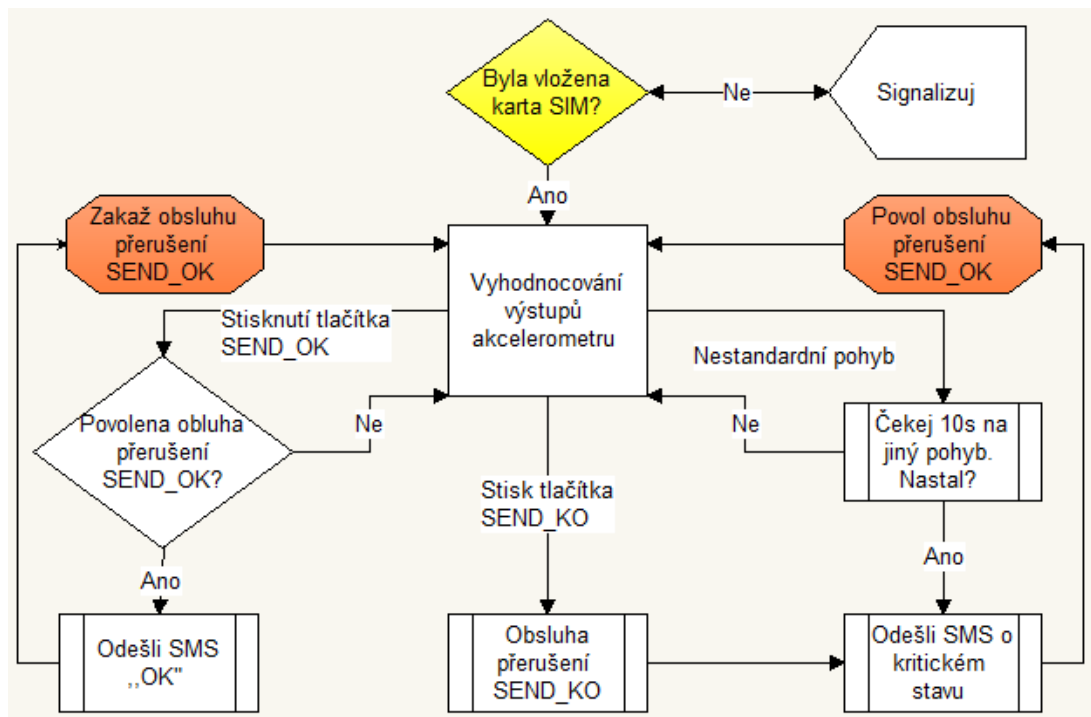
USART může být nakonfigurován v asynchronním (full duplex) a synchronním (half duplex) módu. Asynchronní mód může komunikovat s perifériemi, jako jsou osobní počítače, naproti tomu synchronní mód může komunikovat s perifériemi jako A/D a D/A převodníky, paměť EEPROM apod. Můžeme jej nastavit jako Master – Slave. Synchronní mód používá hodiny a datovou linku, oproti tomu asynchronní mód používá 2 piny a to jeden na příjem a jeden na výstup. Tyto piny fungují nezávisle na sobě.

5.4 Návrh softwaru a řešení

5.4.1 Stavový diagram

Pro naprogramování softwaru je třeba si udělat schéma základní funkce. Na [Obr. 20](#) můžeme vidět jednotlivé stavy a jejich řešení. Při zapnutí produktu je třeba zjistit, jestli byla indikována karta SIM, jinak by celý přípravek nebyl použitelný. Pokud indikována nebyla, budou blikat všechny diody do té doby, než bude SIM karta indikována. Po té program přejde do

výchozího stavu. Výchozím stavem vyhodnocování výstupů akcelerometru. Při běhu svítí zelená dioda. V okamžiku vyhodnocení kritického stavu začne odbíhat časovač na 10 s. V případě, že akcelerometr vyhodnotí dříve než za 10 s jiný pohyb, vrací se program do původního stavu. V případě, že po 10 s akcelerometr nezaznamená žádný pohyb nebo zaznamená pouze zanedbatelný, GSM modul odešle SMS zprávu na konkrétní telefonní číslo, že hlídaná osoba není schopna se pohnout. Stejnou zprávu může příjemce obdržet, pokud hlídaná osoba stiskne tlačítko SEND_KO, což vyvolá a obslouží přerušení pro odeslání SMS. Po odeslání této zprávy se program vrátí do původního stavu a začne blikat červená LED dioda na znamení, že byla zpráva odeslána. V případě, že hlídaná osoba je již v pořádku i bez poskytnutí pomoci, má dále možnost odeslat stisknutím tlačítka SEND_OK SMS zprávu, která informuje příjemce, že je hlídaná osoba v pořádku. Pouze v případě, že byla odeslána zpráva o kritickém stavu hlídané osoby, může nastat obsluha přerušení při stisku tlačítka SEND_OK. Po odeslání zprávy, že hlídaná osoba je již v pořádku, se vrátí program do původního stavu a začne blikat žlutá LED dioda. Blikání diod lze zrušit jen vypnutím a zapnutím přípravku.



Obr. 20 Stavový diagram softwaru

6 Dosažené výsledky

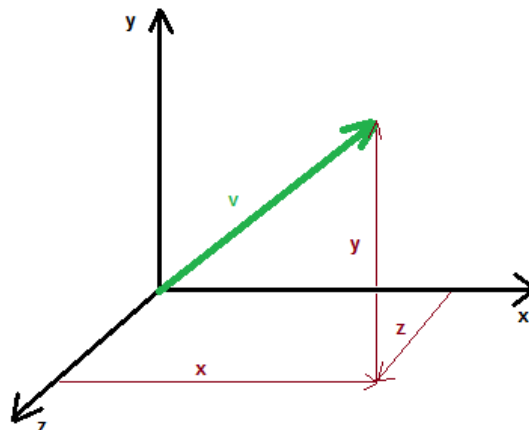
6.1 Teoretické vyhodnocení signálu

Pro vyhodnocení kritického stavu je třeba neustále počítat absolutní hodnotu vektoru všech 3 signálů pro osy X, Y a Z. Absolutní hodnota tohoto vektoru se vypočítá následující rovnicí:

$$|V| = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2} \quad (7).$$

Toto uspořádání je znázorněno na [Obr. 21](#).

Obr. 21 Vektor



6.2 Měření výstupních signálů a jejich následné vyhodnocení pro nestandardní pohyby osob

Výsledky měření výstupních signálů a jejich následné vyhodnocení je v obsaženo v příloze „Měření výstupních signálů a jejich vyhodnocení“.

7 Návrh dalšího možného řešení práce s rozšířením funkcí systému

7.1 Odeslání informace

Jistě je velmi důležitým aspektem, jestli je na kartě SIM dostatečný kredit. Toto lze částečně ošetřit tarifem pro volné SMS. V druhém případě lze podobně jako v mobilním telefonu zjišťovat aktuální stav kreditu čísla použité SIM karty. V případě, že je kredit již nízký, lze vlastníkovvi tohoto zařízení oznámit např. svítící LED diodou, informaci o malém stavu kreditu.

Dále se můžeme setkat s problémem je-li zařízení v prostorách bez signálu, potom je toto zařízení bez využití. Jako informace vlastníkovvi zařízení postačí např. indikační LED dioda.

7.2 Zjednodušení

Vylepšení možnosti uživatelského navolení telefonního čísla příjemce zvýší pohodlnost uživatele. V každém případě to ale zvětší rozměry zařízení a zajistí potřebu mikrokontroléru s větším množstvím pinů kvůli přidanému displeji, na kterém se budou čísla zobrazovat. Toto vylepšení ovšem zredukuje počet indikačních LED diod, ale zvýší počet tlačítek kvůli zadávání čísel a komunikaci se základním uživatelským rozhraním.

7.3 Doplnkové funkce

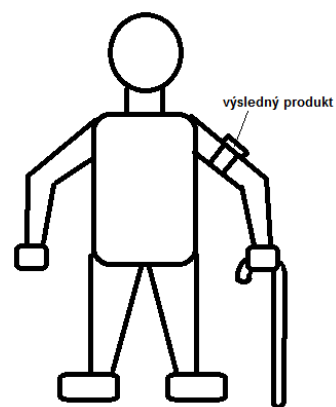
Aby nenastala situace, kdy zařízení bude vypnuté z důvodu vybité baterie, bude třeba také měřit její výstupní napětí. Pro indikaci nízkého stavu baterie opět postačí LED dioda.

V případě zrakově postiženého vlastníka tohoto zařízení lze místo LED diod použít slabou sirénu nebo vibrátor o velikosti vibrátorů v mobilních telefonech. V případě zrakově i sluchově postiženého bude využit pouze vibrátor. Pro rozšíření možností lze zařízení udělat univerzální s možností uživatelského výběru dle jeho libosti. Zvýší to ale počet tlačítek.

7.4 Vylepšení vzhledu

Pro praktičtější využití je toto zařízení jakožto laboratorní vzorek příliš velké. Pro zmenšení rozměrů zařízení bude ideálním řešením umístit GSM modul na hlavní desku. Dále ke zmenšení rozměrů pomůže vhodnější rozmístění součástek a použití podstatně nákladnější baterie s minimalizovanými rozměry.

Pro reálné využití je třeba vymyslet pouzdro vhodných rozměrů. Mělo by být pokud možno co nejmenší, ploché a ze spodní části měkké. Toto pouzdro by kvůli praktičnosti mělo být připevněno na paži méně využívané ruky. Tedy pro většinu lidí levé. To zajistí, že se vlastníkovi tohoto zařízení bude minimálně plést při každodenním životě a zároveň sníží možnosti falešných kritických pohybů např. oproti umístění na předloktí jako hodinky. Toto pouzdro by mělo být připevněno pohodlnou gumou případně pružnou látkou tak, aby vlastníkovi tohoto zařízení nebyla odkrývána ruka a zároveň pouzdro drželo pevně na paži. Tento návrh je znázorněn na [Obr. 22](#).



Obr. 22 Návrh praktického pouzdra

Závěr

Snaha této práce byla vytvořit laboratorní vzorek, podle kterého bude následovně navázáno řešení pro kontrolu nesoběstačných osob, zvýšení jejich bezpečnosti a zabránění předčasnému úmrtí.

Pro úvod do problematiky byly v této práci popsány základní principy akcelerometrů. A hlavní firmy, které zastupují tento druh senzoru na trhu. Z těchto firem byl vybrán konkrétní akcelerometr, k němu dále mikrokontrolér, GSM modul a další součástky přizpůsobené této funkci a jejich popis.

Následoval návrh a řešení schématu a konstrukce desky plošného spoje a byl popsán princip softwaru tohoto přípravku. Jelikož vývoj tohoto softwaru byl v době psaní této práce ještě v procesu, dosažené naměřené výsledky výstupních signálů akcelerometru a jejich následné vyhodnocení pro nestandardní pohyb osoby nebyly úplné, a proto jsou v příloze „Měření výstupních signálů a jejich vyhodnocení“.

Nakonec jsem v této práci uvedl návrhy dalšího možného řešení či vylepšení, které bych chtěl realizovat ve své diplomové práci.

Literatura

- [1] *AKCELEROMETRY*. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická, 2013. Dostupné z: <http://www.micro.feld.cvut.cz/home/X34SES/prednasky/08%20Akcelerometry.pdf>.
- [2] Absolutní senzor kmitavého pohybu [online]. *Senzory*. 2012 [cit. 2013-12-11]. Dostupné z: <http://senzory.aspone.cz/askp.htm>
- [3] Accelerometers. *SiliconFarEast.com* [online]. 2005 [cit. 2013-12-17]. Dostupné z: <http://www.siliconfareast.com/accelerometers.htm>
- [4] *STMicroelectronics* [online]. 2013 [cit. 2014-01-28]. Dostupné z: <http://www.st.com/web/en/home.htm>
- [5] MOUSER electronics [online]. [cit. 2014-01-28]. Dostupné z: <http://cz.mouser.com/>
- [6] *Analog Devices: Semiconductors and Signal processing ICs* [online]. 1995 - 2014 [cit. 2014-01-29]. Dostupné z: <http://www.analog.com/en/index.html>
- [7] *Farnell* [online]. 2014 [cit. 2014-01-29]. Dostupné z: <http://cz.farnell.com/>
- [8] *Freescale Semiconductor* [online]. 2004 - 2014 [cit. 2014-01-29]. Dostupné z: <http://www.freescale.com/>
- [9] *LIS3DH*. 2010. Dostupné z: <http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/datasheet/CD00274221.pdf>
- [10] *MikroElektronika: Development Tools, Compilers, Books* [online]. 1998 [cit. 2014-05-17]. Dostupné z: <http://www.mikroe.com>
- [11] *Analog, linear, and mixed-signal devices from Maxim* [online]. 2014 [cit. 2014-05-17]. Dostupné z: <http://www.maximintegrated.com>
- [13] Global System for Mobile Communications. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2014 [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Gsm>
- [14] *Microchip Technology Inc* [online]. 1998-2014 [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: <http://www.microchip.com>

- [15] PIC- Tutorial: PIC- Projecte. *PIC- Tutorial* [online]. 2014 [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: <http://pic-projekte.de/wordpress/?p=31>
- [16] Serial Peripheral Interface. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2014 [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Serial_Peripheral_Interface
- [17] USART. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2013 [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/USART>

Seznam obrázků

[Obr. 1 Model absolutního senzoru \[2\]](#)

[Obr. 2 Princip piezoelektrického akcelerometru](#)

[Obr. 3 Princip piezodporového akcelerometru](#)

[Obr. 4 Model deskového kondenzátoru s jednou pohyblivou elektrodou \[1\]](#)

[Obr. 5 Ekvivalentní obvodové schéma \[1\]](#)

[Obr. 6 Princip činnosti kapacitních akcelerometrů \[1\]](#)

[Obr. 7 Různá možná uspořádání diferenciálního kapacitoru \[1\]](#)

[Obr. 8 Princip hřebenového akcelerometru \[3\]](#)

[Obr. 9 Hřebenové uspořádání kapacitního akcelerometru \[1\]](#)

[Obr. 10 Blokový diagram akcelerometru LIS3DH \[9\]](#)

[Obr. 11 GSM2 Click pohled z vrchu \[10\]](#)

[Obr. 12 GSM2 Click pohled ze spodu \[10\]](#)

[Obr. 13 Rozvržení konektoru mikroBUS \[10\]](#)

[Obr. 14 Obvodové zapojení stabilizátoru MAX6103EUR-T \[11\]](#)

[Obr. 15 Schéma zapojení přípravku](#)

[Obr. 16 Návrh desky plošného spoje](#)

[Obr. 17 Rozvržení připojení pinů programátoru PICkit3 k mikrokontroléru \[15\]](#)

[Obr. 18 Schéma zapojení sběrnice SPI \[16\]](#)

[Obr. 19 Asynchronní 8-bitový přenos \[17\]](#)

[Obr. 20 Stavový diagram softwaru](#)

[Obr. 21 Vektor](#)

[Obr. 22 Návrh praktického pouzdra](#)