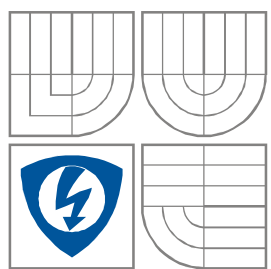


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND
COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

Bezdrátové zabezpečovací zařízení

Wireless safety appliance

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S PROJECT

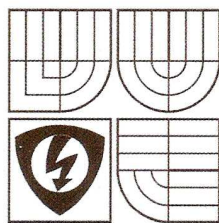
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Lukáš Čapek

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. Jaromír Kolouch, CSc.

BRNO, 2009



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ
Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií
Ústav radioelektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Elektronika a sdělovací technika

Student: Čapek Lukáš
Ročník: 3

ID: 77722
Akademický rok: 2008/09

NÁZEV TÉMATU:

Bezdrátové zabezpečovací zařízení

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Prostudujte právní předpisy a doporučení pro provozování vysílačů malého výkonu v pásmu ISM - 433.92 MHz. Vyberte vhodné typy přijímače/vysílače/transceiveru a navrhnete zapojení univerzálního miniaturního zabezpečovacího zařízení pracujícího s oboustrannou komunikací v tomto pásmu. Komunikace bude probíhat mezi zabezpečovací jednotkou umístěnou na hlídaném objektu a přenosnou jednotkou. Obě jednotky budou osazeny mikrokontroléry ATMEL, ovládací program bude napsán v jazyce C, zapojení musí umožňovat napájení z baterií.

Vypracujte podrobné elektrické schéma zařízení, navrhnete uspořádání plošných spojů, vzorek zařízení realizujte v rozsahu stanoveném vedoucím projektu a ověřte jeho funkci.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] MANN, B. C pro mikrokontroléry. Praha: BEN - technická literatura, 2003. ISBN 80-7300-077-6

[2] VÁŇA, V. Programování v jazyce C - popis a práce ve vývojovém prostředí CodeVisionAVR C. Praha: BEN - technická literatura, 2003. ISBN 80-7300-102-0

Termín zadání: 9.2.2009

Termín odevzdání: 5.6.2009

Vedoucí práce: doc. Ing. Jaromír Kolouch, CSc.

Konzultanti bakalářské práce: Ing. Ondřej Pavelka, Honeywell


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 § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

Abstrakt

Cílem práce je zabezpečit objekt např. kolo, kočárek, zboží. Zabezpečovací zařízení se skládá ze sensorové a uživatelské jednotky, pageru. Obě jednotky jsou osazeny tranceiverem, který pracuje v ISM pásmu, a neustále mezi sebou komunikují kvůli kontrole dosahu. Řízení obvodů zajišťuje mikroprocesor AVR s nízkou spotřebou kvůli možnosti napájení z baterií. Sensorová jednotka je připojena na hlídáný objekt, monitoruje stav senzorů a vybití baterie. Jako senzory jsou použity akcelerometr a dva obyčejné kontaktní senzory. Osobní jednotka indikuje alarm opticky i akusticky, dále také stav baterií obou jednotek a upozorňuje na ztrátu spojení.

Abstract

The purpose of this project is to secure an object, for example bicycle, buggy, merchandise. Protecting device consists of a sensor unit and a pager unit. Both of these units contain a transceiver which works in ISM band. Operation circuits drive microprocessor AVR with low power technology because of possible battery supply. Sensor unit is monitoring the state of sensors and battery discharging. This unit can use accelerometer sensor and two contact sensors. The pager unit indicates alarm, the state of battery in both units and signalizes loss of connection.

Klíčová slova

Zabezpečovací zařízení, AVR, ISM, bateriové napájení, akcelerometr, tlakový senzor, bezdrátový systém

Keywords

Security system, AVR, ISM, battery supply, accelerometer, pressure sensor, wireless system

Bibliografická citace

ČAPEK, L. *Bezdrátové zabezpečovací zařízení*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009. 35 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Jaromír Kolouch, CSc.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Bezdrátové zabezpečovací zařízení 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.

V Brně dne 5. června 2009

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Jaromíru Kolouchovi, CSc a panu Ing. Ondřeji Pavelkovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne 5. června 2009

.....
podpis autora

OBSAH

1 Úvod.....	6
2 Využití senzorů pro zabezpečení.....	7
2.1 Otřesová čidla.....	7
2.2 Senzory zrychlení.....	7
2.3 Tlakové senzory	8
2.4 Kontaktní ochrana	8
3 Právní předpisy pro vysílání v ISM pásmech.....	9
4 Hardware zabezpečovacích jednotek	10
4.1 Transceiver jednotek	10
4.2 Řídící mikroprocesor.....	11
4.3 Napájení jednotek.....	12
4.4 SPI rozhraní.....	13
4.5 Návrh uživatelské jednotky (Pageru)	14
4.6 Návrh senzorové jednotky.....	15
4.7 Spotřeba jednotek a metody její snížení.....	16
5 Firmware jednotek	18
5.1 Pohotovostní režim.....	19
5.2 Synchronizace jednotek.....	19
5.3 Běžný provoz jednotek.....	20
5.4 Vyhodnocení a spuštění alarmu	22
5.5 Struktura paketů	23
5.6 Indikace stavů jednotek.....	24
6 Závěr.....	25
SEZNAM ZKRATEK.....	27
A SCHÉMA ZAPOJENÍ	28
B MOTIVY PLOŠNÝCH SPOJŮ	30
C SEZNAM SOUČÁSTEK	32
D ZÁKLADNÍ NAMĚŘENÉ PARAMETRY	34

1 Úvod

Bezpečnostní systémy používáme k ochraně majetku, proti nežádoucímu vniknutí cizí osoby do objektu nebo pro naši bezpečnost.

Pro střežení prostor můžeme využívat např. kamery. Při tomto způsobu zabezpečení je ovšem spolehlivost systému značně závislá na člověku, který pozoruje dané prostory. V kombinaci s PIR senzorem, který reaguje na infračervené záření, čili na teplo, se spolehlivost systému zvětšuje. Základem zabezpečovacího zařízení je tedy senzor, který reaguje na změnu určité veličiny. Jako příklad můžeme uvést senzory, tlaku, zrychlení, otřesu. Dále je potřeba vyhodnocovací jednotka, v případě kamer to byl člověk. Tato jednotka má za úkol zjistit, kdy došlo k narušení, a spustit alarm nebo vyhodnotit falešný poplach. Díky dnešnímu použití mikroprocesorů se zvětšuje spolehlivost odhalení falešného alarmu na základě zpracování signálu ze senzoru. Spolehlivé zabezpečovací zařízení by mělo rozpoznat neoprávněný zásah do svého hardwaru nebo softwaru, případně indikovat poruchu sebe sama a svých senzorů.

Jako dnešní moderní zabezpečovací zařízení můžeme uvést imobilizéry, sledování automobilu pomocí kombinace GPS/GSM. Díky dnešním bezlicenčním rádiovým pásmům je možné vybudovat podnikové bezdrátové sítě a monitorovat tak rozsáhlé objekty bez nutnosti drahého pokládání kabelů.

2 Využití senzorů pro zabezpečení

V této kapitole jsou popsána některá čidla, která se dají využít k zabezpečení, a nastíněny principy jejich funkce. Některá z nich budou dále využita k realizaci hardwaru zabezpečovacího zařízení.

2.1 Otřesová čidla

Otřesová čidla mohou pracovat na elektromechanickém principu nebo na využití pieoelektrického efektu. To je takový jev při němž se deformací krystalu indukují elektrický náboj. Senzor se využívá např. v automobilu, kde může detekovat násilné vniknutí do vozidla, případně rozbití okna. V přenosných počítačích upozorňuje na nežádoucí vibrace, díky tomu lze zaparkovat čtecí hlavičky disku, aby nedošlo k poškození.



Obr. 2.1: Piezoelektrické otřesové čidlo [1]

2.2 Senzory zrychlení

Senzory zrychlení neboli akcelerometry pracují na principu měření kapacity. V senzoru jsou pevné a pohyblivé elektrody, při pohybu se mění vzdálenost těchto elektrod, čímž se mění i výsledná kapacita. Zrychlení lze měřit v několika osách podle typu akcelerometru. Některé mají zabudovanou vyhodnocovací logiku a výstupem může být digitální signál. Senzory lze využít k měření vibrací, v robotice, detekci volného pádu. Na obr. 2.2 můžeme vidět analogový akcelerometr od společnosti Freescale.



Obr. 2.2: Akcelerometr Freescale[2]

2.3 Tlakové senzory

Princip měření tlaku může fungovat na následujících principech[3]:

- změnou kapacity kondenzátoru působením tlaku
- změna odporu dráhy na níž působí tlak (tenzometry)
- piezoelektrickém jevu, tzn. vzniku napětí s působícím tlakem

První princip se používá k měření velkých tlaků. Využívá se porovnání kapacit měřícího kondenzátoru, tvořený jednou pevnou a pružnou křemíkovou elektrodou, a referenčního kondenzátoru pro eliminaci nežádoucích okolních vlivů.

Druhý případ se obvykle vyznačuje integrovaným Wheatstonovým můstkem složeným ze čtyřech tenzometrů (odporových cest), které mění svůj odpor se změnou rozměrů vlivem působícího tlaku.

Třetí případ je založen na použití křemíkových piezorezistorů, který působením tlaku generují přímo napětí na dvou kontaktních ploškách.

Tlakový senzor můžeme v bezpečnostním zařízení využít k detekci odcizení předmětu, který daný tlakový senzor zatěžoval, nebo narušení prostor.

2.4 Kontaktní ochrana

Umožňují asi nejjednodušší, ale vcelku spolehlivé řešení zabezpečení. Hlídaný objekt se provlékne vodičem, v případě jeho přerušení je indikován poplach. Tento typ zabezpečení bývá častý v obchodech na ochranu zboží.

3 Právní předpisy pro vysílání v ISM pásmech

Bezlicenční rádiová pásma nám umožňují používání některých radiových kmitočtů bez zvláštních povolení. Např. v domácnosti můžeme používat bezdrátové zvonky, bezdrátové ovládání světel nebo dětské chůvičky. Pro stanice krátkého dosahu je v dnešní době k dispozici několik bezlicenčních radiových pásem. Vysílání je povoleno za dodržení určitých podmínek, např. maximální výstupní výkon, šířka pásma, klíčovací poměr, modulace. V některých pásmech je dovoleno používat pouze digitální modulaci. V tab. 3.1 jsou uvedeny podmínky pro vysílání v některých ISM pásmech.

Tab. 3.1: Konkrétní podmínky pro nespécifikované stanice krátkého dosahu v ISM pásmech 433,868 a 2400MHz [4]:

Kmitočtové pásmo [MHz]	Vyzářený výkon	Kanálová rozteč	Klíčovací poměr 4) [%]
433,050 - 434,790	10mW e.r.p.	1)	<10
433,050 - 434,790	1mW, 2)	1)	až 100
433,050 - 434,790	10mW e.r.p.	max. 25kHz	až 100
863,000 – 870,000	25mW e.r.p.	3)	< 0,1
868,000 – 868,600	25mW e.r.p.	1)	< 1,0
868,700 – 869,200	25mW e.r.p.	1)	< 0,1
869,300 – 869,400	25mW e.r.p.	max. 25kHz	-
869,400 – 869,650	500mW e.r.p.	max. 25kHz	< 10
869,700 – 870,000	5mW e.r.p.	1)	až 100
2400 – 2483,5	25mW e.r.p.	1)	-

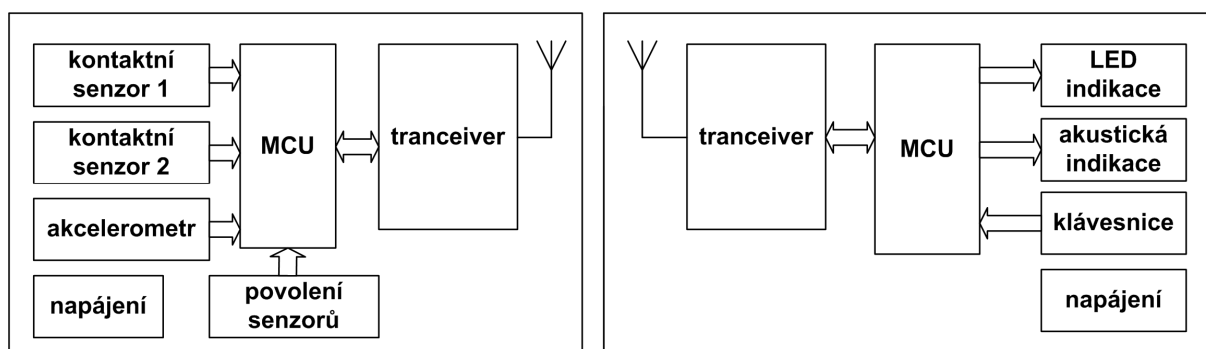
- 1) kanálová rozteč není stanovena, pro přenos signálů může být použito celé kmitočtové pásmo
- 2) pro širokopásmové kanály o šířce > 250kHz je spektrální hustota kanálu omezena na – 13dBm/10kHz
- 3) podmínky pro vysílání v pásmu jsou uvedeny v [4]
- 4) klíčovací poměr je podíl času kdy vysílač vysílá na nosném kmitočtu, v rámci jedné hodiny

Tab. 3.2: Charakteristika některých ISM pásem [5]:

ISM pásmo	výhody	nevýhody	užití pásma
433MHz	středně velký dosah i v zastavěné oblasti	v celku vytížené pásmo	Bezdrátové zvonky
868MHz	středně velký dosah	menší dosah v zastavěné oblasti	Zigbee moduly
2400MHz	nízká cena, jednoduché připojení k PC, široká hardwarová i softwarová podpora	menší dosah, omezený dosah v zastavěné oblasti, velká hustota provozu	WLAN, Bluetooth, Zigbee

4 Hardware zabezpečovacích jednotek

Blokové schéma zabezpečovacího systému je na obr. 4.1. Zařízení se skládá ze dvou jednotek, jak již bylo popsáno v úvodu. Obě jednotky jsou si velice podobné, mají stejný mikroprocesor, transceiver, stejně řešené napájení. Sensorová jednotka má k dispozici dva kontaktní senzory a jeden akcelerometr jako čidla pro zabezpečení objektů. Všechny senzory lze individuálně povolit. Osobní jednotka obsahuje LED diody a akustickou signalizaci pro indikaci alarmu nebo různých stavů zařízení.



Obr. 4.1: Blokové schéma sensorové a osobní jednotky

4.1 Transceiver jednotek

Mezi jednotkami probíhá oboustranná komunikace, která je použita hlavně z důvodu kontroly dosahu. Při jednostranné komunikaci by nebylo možné kontrolovat spojení mezi jednotkami. Pokud by byla uživatelská jednotka mimo dosah sensorové jednotky, nemusela by přijít informace o spuštění alarmu a zařízení by bylo méně spolehlivé. Pro komunikaci oběma směry bychom mohli použít samostatný vysílač a přijímač na obou jednotkách, museli bychom však řešit přepínání antény a rozměry desek plošných spojů by byly také větší. Pro jednoduchost je výhodné použít transceiver, tedy přijímač i vysílač v jednom pouzdrů.

Pro výběr transceiveru jsou rozhodující následující kritéria:

- odběr transceiveru a napájecí napětí – zařízení může být napájeno z baterií
- pracovní kmitočet
- rozměry transceiveru (zabezpečovací jednotky musí být co nejmenší)
- výkon

Pro tuto aplikaci byl vybrán komunikační modul RFM12B/868D (Obr. 4.2) od firmy HOPE MICROELEKTRONICS. Modul pracuje v ISM pásmu 868MHz. Pásmo bylo zvoleno kvůli jeho možnostem - má větší počet kanálů, není příliš vytížené. Modul používá FSK modulaci. Díky interním obvodům transceiveru můžeme rovnou číst / zapisovat platná data. Komunikace s řídicím mikroprocesorem probíhá po SPI sběrnici. Díky nízkému napájecímu napětí a nízkému odběru je modul vhodný pro bateriové aplikace.



Obr. 4.2: Modul RFM12B/868D [6]

Některé základní parametry modulu jsou uvedeny v tab. 4.1. Modul také umožňuje nastavení mnoha parametrů. Pro úsporu energie můžeme využít regulaci výkonu, uspání modulu, pokud není potřeba zrovna přijímat data. Za zmínku určitě stojí i wake-up timer, který nám umožňuje probuzení modulu za určitý čas. Transceiver má také nastavitelný pracovní kmitočet, šířku pásma/frekvenčního zdvihu.

Tab. 4.1: Parametry modulu RFM12B/868D [6]

Parametr	Min	Typ	Max	Jednotka
Napájecí napětí	2.2		3.8	V
Pracovní teplota	- 40		85	°C
Odběr proudu (TX mód, P=Pmax)		23	25	mA
Odběr proudu (TX mód, P=0dBm)		16	18	
Odběr proudu (RX mód)		12	14	mA
Odběr proudu ve sleep módu		0,3		μA
Maximální výkon (Pmax)		7		dBm
Citlivost, BER = 10^{-3} , BW=134kHz, BR=1.2kbps		- 102	- 96	dBm
Pracovní kmitočet		868		MHz
Programovatelný frekvenční zdvih	15		240	kHz
Maximální přenosová rychlost		115		kbps

4.2 Řídící mikroprocesor

Jako řídicí obvod je použit mikroprocesor AVR od firmy Atmel. Protože zařízení má umožnit napájení z baterií, první kritérium pro výběr procesoru je jeho napájecí napětí a odběr proudu. Atmel má k dispozici i řadu mikroprocesorů s nízkou spotřebou tzv. picoPower, označují se P na konci názvu. V ČR však nejsou příliš rozšířené. Přehled mikroprocesorů vhodných pro bateriové aplikace je v tab. 4.2. Pro snadnou komunikaci s transceiverem by měl mikroprocesor mít SPI rozhraní. Tuto periférii však má většina AVR, jelikož se používá pro programování.

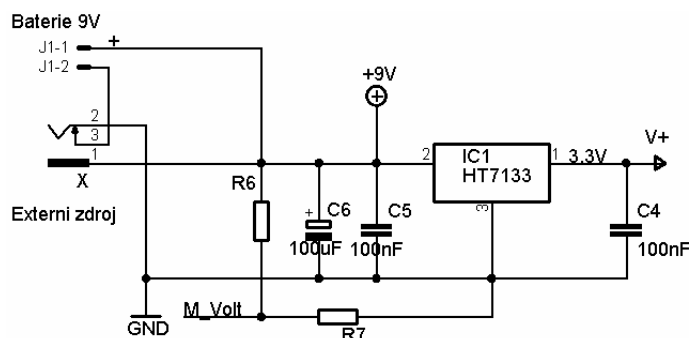
Tab 4.2: AVR mikroprocesory vhodné pro bateriové aplikace

Mikroprocesor	Proudový odběr[μA]		SPI	Programová paměť[KB]	Počet V/V pinů
	Aktivní mód 1MHz,1,8V	Power down mód			
ATtiny48/88	240	0,1	ANO	4/8	28
ATtiny2313	230	<0,1	ANO	2	18
ATtiny25/45/85	300	<0,1	ANO	2/4/8	6
ATmega48V/88V/168V	240	0,1	ANO	4/8/16	23

Pro obě jednotky byl vybrán mikroprocesor ATmega88V v smd pouzdru QFP. Má malý odběr, dostatek programové paměti i vstupně výstupních pinů. Dále obsahuje A/D převodník, několik PWM kanálů a téměř od všech pinů lze vyvolat externí přerušení, tzv. pin Change Interrupt.

4.3 Napájení jednotek

Obě jednotky jsou napájeny 9V baterií nebo externím zdrojem. Při připojení konektoru zdroje se automaticky odpojí napájení z baterií, jak můžeme vidět na obr. 4.3. Stabilizované napětí 3,3V pro ostatní části obvodu zajišťuje nízkopříkonový stabilizátor od firmy HOLTEK HT7133. Bez připojené zátěže má podle [10] spotřebu v řádu jednotek μA, maximální vstupní napětí může být až 28V.



Obr. 4.3: Schéma napájecí části jednotek

Rezistory R6, R7 tvoří dělič napětí, jehož výstup bude napojen na A/D převodník mikroprocesoru pro měření napětí baterie. Dělič by měl baterii co nejméně zatěžovat aby nedocházelo ke zbytečnému vybíjení, rezistory by tedy měli být co největší. Podle [7] je spotřeba proudu vstupu mikroprocesoru asi 1μA. Maximální proud děličem R6, R7 zvolíme pětikrát větší, tedy 5μA. Pokud bude napájecí napětí 9V, potom platí:

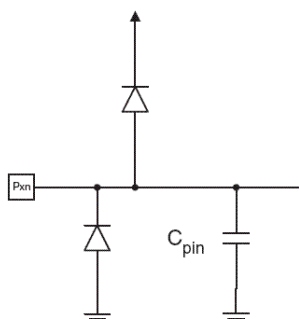
$$R_{VST} = R6 + R7 = \frac{U_{nap}}{I_D} = \frac{9}{5 \cdot 10^{-6}} = \underline{\underline{1,8M\Omega}}$$

Referenční napětí A/D převodníku můžeme nastavit na napájecí napětí mikroprocesoru, tedy 3,3V. Poměr rezistorů R_{VST} a R7 zvolíme tak aby při napájecím napětí 9V bylo výstupní napětí děliče 3,3V:

$$\frac{R7}{R_{VST}} = \frac{3,3}{9} \Rightarrow R7 = \frac{3,3}{9} \cdot 1,8 = \underline{\underline{0,66M\Omega}} \quad R6 = R_{VST} - R7 = 1,8 - 0,66 = \underline{\underline{1,134M\Omega}}$$

Z řady E24 zvolíme hodnoty rezistorů R6=1,2MΩ a R7=620kΩ.

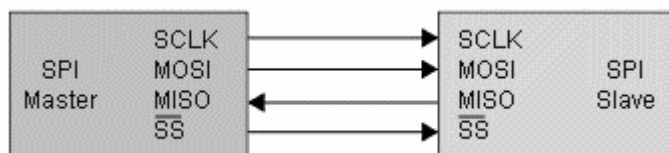
Pokud budeme používat pro napájení externí zdroj s napětím vyšším než 9V, bude na výstupu děliče R6,R7 vyšší napětí než 3,3V (napájecí napětí procesoru). V takovém případě bude po A/D převodu digitální číslo odpovídat maximální možné hodnotě. Na ochranu proti vyššímu napětí na vstupu nebo zápornému napětí jsou v mikroprocesoru ATmega88 na pinu připojeny dvě diody, viz. obr.4.4.



Obr.4.4 : Ochrana vstupu mikroprocesoru ATmega48 diodami[7]

4.4 SPI rozhraní

Pomocí SPI rozhraní komunikuje mikroprocesor s transceiverem. Jedná se o full-duplexní rozhraní se synchronním přenosem. Jeho výhodou je v celku vysoká přenosová rychlost, jednoduchost, avšak pro komunikaci je zapotřebí více vodičů oproti např. I2C. Propojení master-slave přes SPI znázorňuje obr. 4.5. Výběr obvodu se kterým chce master komunikovat se provádí nastavením log.0 na pin SS (slave select).



Obr. 4.5: SPI propojení master-slave[8]

Průběh komunikace[8]:

Master nastaví log.0 na SS pin obvodu, se kterým chce navázat komunikaci. Následně master začne generovat hodinový signál SCLK a oba obvody začnou posílat data ve směru jakém vidíme na obr. 4.5. Komunikace se ukončuje nastavením SS do stavu log. 1 a zastavením generování hodin. Délka vyslaných dat je 1 nebo 2 Byty.

4.5 Návrh uživatelské jednotky (Pageru)

Hlavní část schématu, tj. spojení bezdrátového modulu RFM12B s mikroprocesorem vychází z [6]. Kompletní schéma jednotky je vloženo do přílohy A. Uživatelská jednotka je napájena 9V baterií nebo externím zdrojem jak bylo popsáno v 4.3. Srdcem obvodu je mikroprocesor s nízkým odběrem proudu ATmega88V. Taktování mikroprocesoru určuje krystal Q1. Rezonanční kmitočet krystalu je potřeba zvolit podle předpokládané složitosti softwaru, ale zároveň je potřeba brát ohled na spotřebu, čím vyšší kmitočet, tím větší spotřeba. Q1 byl zvolen 4MHz jako kompromis. Pro případné snížení taktovacího kmitočtu můžeme použít předděličku 8, kterou obsahuje přímo mikroprocesor (pojistka CKDIV8). U krystalu jsou připojeny blokovací kondenzátory C1,C2. Dále je ve schématu šesti-pinový konektor JP1, který slouží pouze k programování obvodu přímo v aplikaci(ISP) přes SPI rozhraní. K ovládání jednotky je k dispozici pouze jedno tlačítko S1, proti zákmitům má paralelně připojen kondenzátor 100nF.

Pro akustickou signalizaci alarmu nebo stavu jednotek slouží piezoelement SG1 zapojen na výstup zesilovače s tranzistorem T1. Druhý pól piezoelementu je zapojen přímo na kladný pól zdroje nebo baterie z důvodu, že piezoměnič může mít vyšší odběr proudu než je maximální výstupní proud stabilizátoru HT7133. Generování signálu pro piezoměnič zajišťuje pin PD3, který může být použit i jako generátor kmitočtu nebo pwm modulátor. Fotografie uživatelské jednotky vidíme na obr. 4.6.

Pro světelnou indikaci jsou použity Led diody LED1 – LED3. Pro jednodušší programování softwaru jsou všechny tři připojeny na piny s pwm kanály stejně jako piezoelement. Komunikace mikroprocesoru s transceiverem probíhá po SPI sběrnici, která byla popsána v kapitole 4.4. K indikaci rádiového příjmu nebo vysílání dat slouží pin NIRQ , který je připojen na vnější přerušování mikroprocesoru.



Obr. 4.6: Fotografie uživatelské jednotky

4.6 Návrh senzorové jednotky

Senzorová jednotka je z velké části podobná uživatelské. Důležitou částí jednotky jsou senzory pro hlídání objektů, dva kontaktní a akcelerometr. Každý senzor lze individuálně povolit pomocí propojení pinů na lamací liště. Fotografie jednotky vidíme na obrázku 4.7.

Akcelerometr je použit jako senzor vibrací. Jedná se o 3 – osý analogový akcelerometr od firmy Freescale MMA7260Q, jeho parametry jsou uvedeny v tab. 4.3. Senzor má malý odběr, nastavitelnou citlivost zrychlení a dá se jednoduše uvést do sleep módu nastavením log. 0 na pin SLEEP. Všechny tři výstupy os akcelerometru jsou připojeny na vstupy A/D převodníku mikroprocesoru, abychom zaznamenali vibrace ve všech směrech. RC články na výstupech senzoru jsou použity k omezení rušení, které produkují filtry se spínanými kapacitami v akcelerometru. Protože budeme měřit malé zrychlení, je citlivost akcelerometru hardwarově nastavena na 1,5 mV/g.

Tab 4.3: Parametry akcelerometru MMA7260Q[11]

Parametr		Min	Typ	Max	Jednotka
Napájecí napětí		2.2	3.3	3.8	V
Pracovní teplota		- 20		85	°C
Odběr proudu			500	800	μA
Odběr proudu ve sleep módu			3	10	μA
Citlivost	1.5g (G-S2= 0, G-S1= 0)	740	800	860	mV/g
	2g (G-S2= 0, G-S1= 1)	555	600	645	mV/g
	4g (G-S2= 1, G-S1= 0)	277.5	300	322.5	mV/g
	6g (G-S2= 1, G-S1= 1)	185	200	215	mV/g

Tlačítko S1 slouží pouze k zapnutí jednotky, vypínání bude zajišťovat dálkově osobní jednotka. Jako indikační prvek je použita jediná LED dioda, která bude indikovat různé stavy stejně jako LED1 v osobní jednotce.



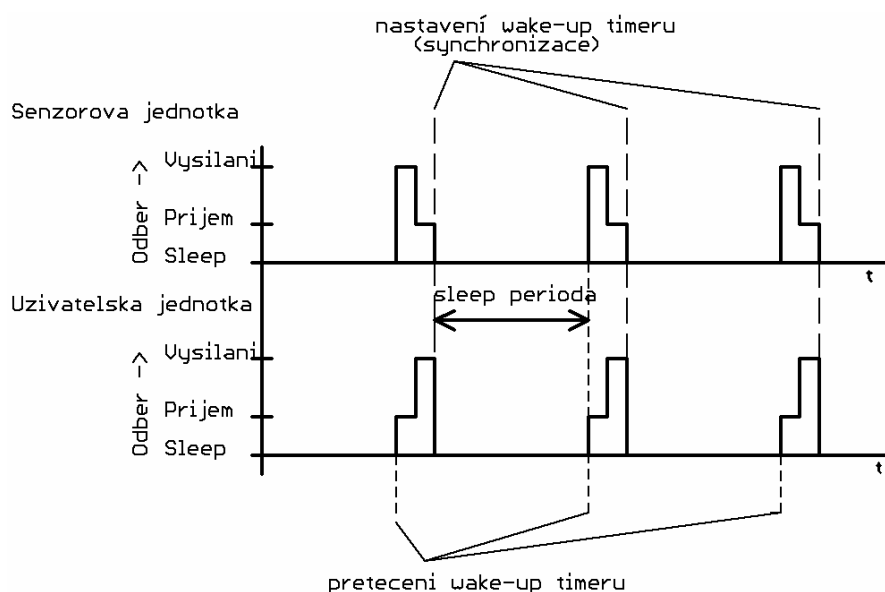
Obr. 4.7: Fotografie senzorové jednotky

4.7 Spotřeba jednotek a metody její snížení

Protože obě jednotky mohou být napájeny z baterií je potřeba se detailně zabývat snížením spotřeby. Největší odběr proudu má transceiver RFM12B při příjmu přibližně 12mA a vysílání asi 23mA. Jeho odběr při příjmu snížit nelze, při vysílání můžeme regulovat výstupní výkon, čímž se dá dosáhnout snížení spotřeby v řádu jednotkách mA, avšak za cenu složitějšího softwaru. U mikroprocesoru ATmega88 můžeme softwarově snížit spotřebu vypnutím některých periférií, které zrovna nepotřebujeme. Velké úspory energie dosáhneme softwarovým přepínáním následujících módů:

- Příjem dat
- Vysílání dat
- Spánek

Princip je nastíněn na obr. 4.8 a spočívá v tom, že se obě jednotky časově zasynchronizují, tj. určí si čas, kdy mají přijímat/vysílat, pošlou si kontrolní data a ve zbývajícím čase jsou uspany. Perioda spánku velkou mírou určuje průměrný odběr proudu jednotek. Je potřeba si ale uvědomit, že s narůstáním této periody se prodlužuje doba, kdy se ohlásí případný alarm.



Obr. 4.8: Snížení spotřeby časovou synchronizací

Teoretický odběr proudu v těchto módech ukazuje tab. 4.4. Protože většinu času budou jednotky ve spánku, musí být odběr v tomto stavu co nejmenší. Uživatelská jednotka má odběr přijatelný. U senzorové jednotky zřejmě nebudeme moci uvést akcelerometr i mikroprocesor do sleep módu z důvodu kontinuálního vzorkování jeho výstupů a následného vyhodnocování změn zrychlení.

Tab 4.4: Teoretický odběr jednotek v různých módech

	Uživatelská jednotka			Senzorová jednotka		
	Příjem [mA]	Vysílání [mA]	Spánek [μA]	Příjem [mA]	Vysílání [mA]	Spánek [μA]
Transceiver RFM12B	12	23	0,3	12	23	0,3
Mikroprocesor ATmega88	0,5	0,5	0,1	0,5	0,5	500
Vstupní dělič R6,R7	0,005	0,005	5	0,005	0,005	5
Stabilizátor HT7133	0,01	0,01	10	0,01	0,01	10
Akcelerometr MMA7260Q	-	-	-	0,5	0,5	500
Součet	12,515	23,515	15,4	13,015	24,015	1015,4

Příklad: Minimální teoretický odběr jednotky v provozu s periodou buzení 0.6 s

Max. přenosová rychlost	BR	115 kbit/s	
Spánek	T	0.5 s	
Počet vyslaných Bytů	n	10 Bytů	
Počet přijatých Bytů	n	10 Bytů	
Odběr proudu při příjmu	I _{RX}	12,515 mA	(viz. tabulka 4.4)
Odběr proudu při vysílání	I _{TX}	23,515 mA	(viz. tabulka 4.4)
Odběr proudu ve spánku	I _{SL}	15,4 μA	(viz. tabulka 4.4)

Pro výpočet střední hodnoty proudu platí:

$$I_{AVG} = \frac{1}{T} \int i(t) dt \quad (4.1)$$

Kde I_{AVG} je střední hodnota proudu, T je perioda signálu a i(t) je okamžitá hodnota proudu.

Čas pro vysílání nebo příjem 10 Bytů:

$$T_{RTX} \cong n \cdot 8 \cdot \frac{1}{BR} \cong 10 \cdot 8 \cdot \frac{1}{115000} \cong \underline{\underline{0,7ms}}$$

Dosadíme do (4.1):

$$I_{AVG} = \frac{1}{T + 2 \cdot T_{RTX}} \cdot (I_{RX} \cdot T_{RTX} + I_{TX} \cdot T_{RTX} + I_{SL} \cdot T) =$$

$$\frac{1}{0,5 + 2 \cdot 0,7 \cdot 10^{-3}} \cdot (12,515 \cdot 10^{-3} \cdot 0,7 \cdot 10^{-3} + 23,515 \cdot 10^{-3} \cdot 0,7 \cdot 10^{-3} + 15,4 \cdot 10^{-6} \cdot 0,5) \cong \underline{\underline{0,06mA}}$$

Z výsledku vidíme, že metoda časové synchronizace má velký vliv na odběr proudu a také tedy na prodloužení životnosti baterie. Hodnota je však pouze teoretická, s narůstající přenosovou rychlostí roste chybovost, proto budeme muset volit kompromis.

5 Firmware jednotek

Obslužný firmware jednotek byl napsaný v jazyku C v programu AVR studio s využitím překladače AVR-GCC. Většina funkcí pro ovládání bezdrátových modulů byla s malými změnami převzata z [6]. Seznam používaných knihoven pro firmware.

Tab 5.1: Soubory firmwaru zabezpečovacích jednotek

Soubor *	Obsažené funkce, popis
rfm12b.c	funkce pro komunikaci a řízení transceiveru RFM12B, vychází z [6]
function.c	pomocné funkce, např. získání stavu baterií, časové prodlevy nebo funkce pro uvedení obvodů do spánku
main.c	soubor hlavního programu s funkcemi pro přerušení
rfm12b.h	deklarace funkcí pro řízení transceiveru
function.h	deklarace pomocných funkcí
main.h	definice konstant, maker a vstupně-výstupních pinů

* obě zabezpečovací jednotky mají stejně nazvané soubory firmwaru a podobný obsah

Jednotlivé funkce a hlavní program jsou u obou jednotek opět velice podobné. Uživatelská jednotka se při komunikaci chová jako master – navazuje spojení, žádá senzorem jednotku o kontrolní data nebo jí nařizuje přechod do pohotovostního režimu. Po připojení napájení k jednotkám proběhne základní inicializace registrů, transceiverů a povolení přerušení. Poté ihned dojde k usnutí obvodů. K probuzení dojde jen při stisku tlačítka – vyvolání vnějšího přerušení. Přičemž pro navázání komunikace je potřeba zapnout obě jednotky. Následuje synchronizace obou jednotek. K probouzení obvodů za určitý časový interval je využit watchdog. Ke své činnosti využívá interní oscilátor 128 kHz, odběr proudu je tedy nízký. K usnutí a probuzení jednotky slouží funkce `go_sleep(unsigned char)`. Vstupní parametr funkce řídí čas probuzení jednotky nebo určuje, jestli má být jednotka probuzena jen vnějším přerušením – stiskem tlačítka. Dobu probuzení jednotek určuje použitá předdělička watchdogu.

```
// příklady parametrů funkce go_sleep - nastavení předděličky watchdogu
#define WAKE_UP_16MS      0      // předdělička 2k
#define WAKE_UP_32MS      1      // předdělička 4k
#define WAKE_UP_64MS      2
#define WAKE_UP_125MS     3
#define WAKE_UP_250MS     4
#define WAKE_UP_500MS     5
#define WAKE_UP_1000MS    6
#define WAKE_UP_2000MS    7      // předdělička 1024k
#define WAKE_UP_4000MS    0x20
#define WAKE_UP_8000MS    0x21
#define ONLY_LEVEL        0x22 // probuzení jen vnějším přerušením

// použití funkce go_sleep
go_sleep(WAKE_UP_500MS); // usní jednotku a probudí se za 0,5 s
```

```

// definice funkce
void go_sleep (unsigned char time)
{
    rf_sleep();           // uspí transceiver

    if(time!=ONLY_LEVEL) { // má být jednotka buzena watchdogem?
        cli();
        WATCH_DOG_RESET;
        WDTCSR =(1<<WDCE)|(1<<WDE);
        WDTCSR = time|(1<<WDIE)|(1<<WDIF); // nastav čas probuzení
        sei();
        EIMSK &= ~(1<<INT0);           // vnější přerušení zakázáno
    } else EIMSK |= (1<<INT0);         // povoleno vnější přerušení
    SMCR |= (1<<SE)|(1<<SM1);          // nastavení úsporného režimu
    asm("SLEEP");                     // přechod do úsporného režimu
}

```

Režimy jednotek můžeme rozdělit do těchto stavů:

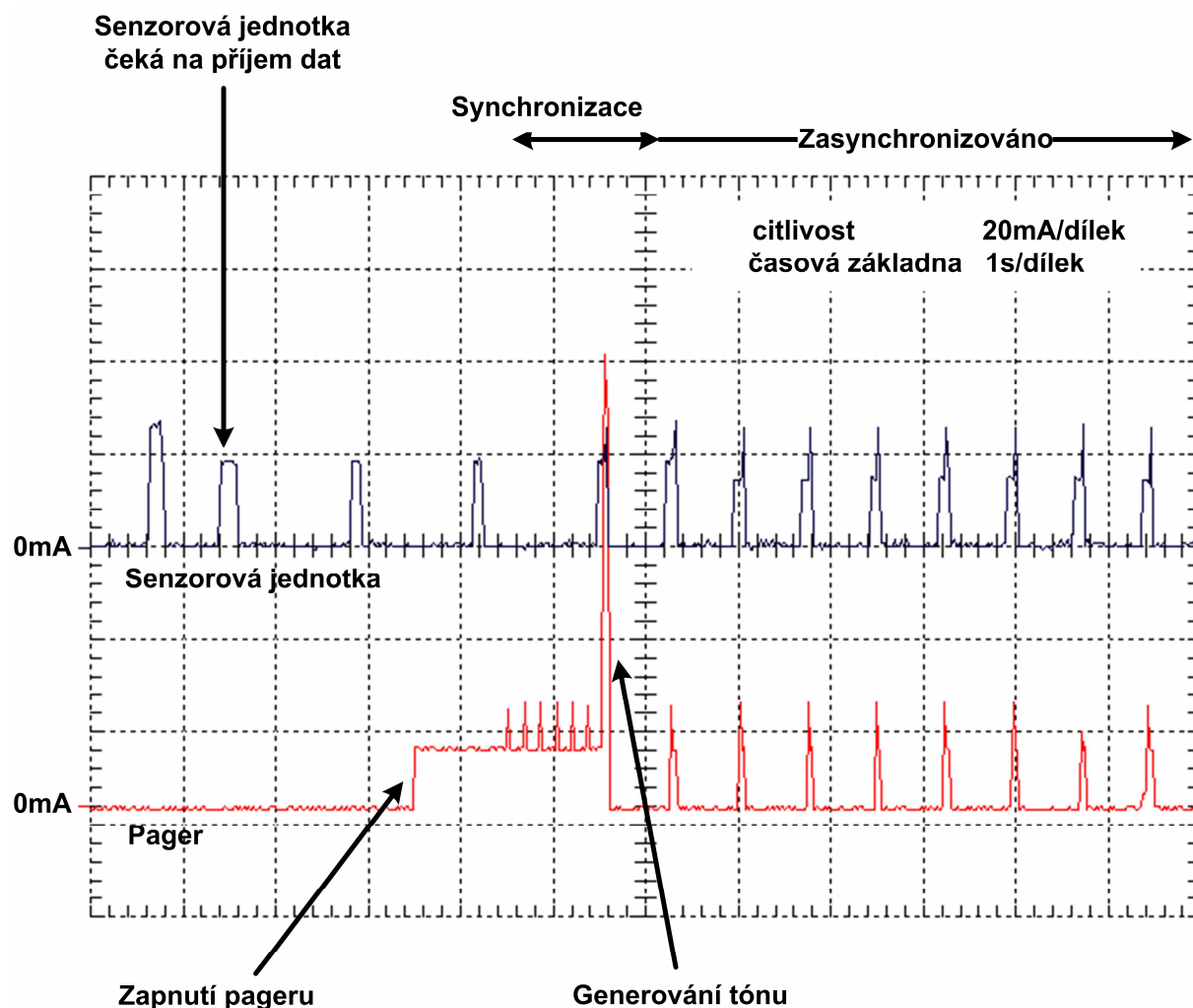
- Pohotovostní režim
- Synchronizace jednotek
- Běžný provoz jednotek
- Vyhodnocení a spuštění alarmu

5.1 Pohotovostní režim

Pohotovostní režim je stav, kdy jsou jednotky usnány a lze je probudit pouze stiskem tlačítka. Tento stav může opět nastat při vypnutí napájení nebo na příkaz uživatele – dlouhý stisk tlačítka vypne obě jednotky. Přičemž uživatelská jednotka těsně před svým uvedením do pohotovostního režimu pošle senzorové jednotce příkaz pro uvedení do téhož režimu. Senzorová jednotka se také může uvést do pohotovostního režimu sama, pokud nedojde do dvou minut od zapnutí k synchronizaci nebo dvě minuty od poslední úspěšné synchronizace.

5.2 Synchronizace jednotek

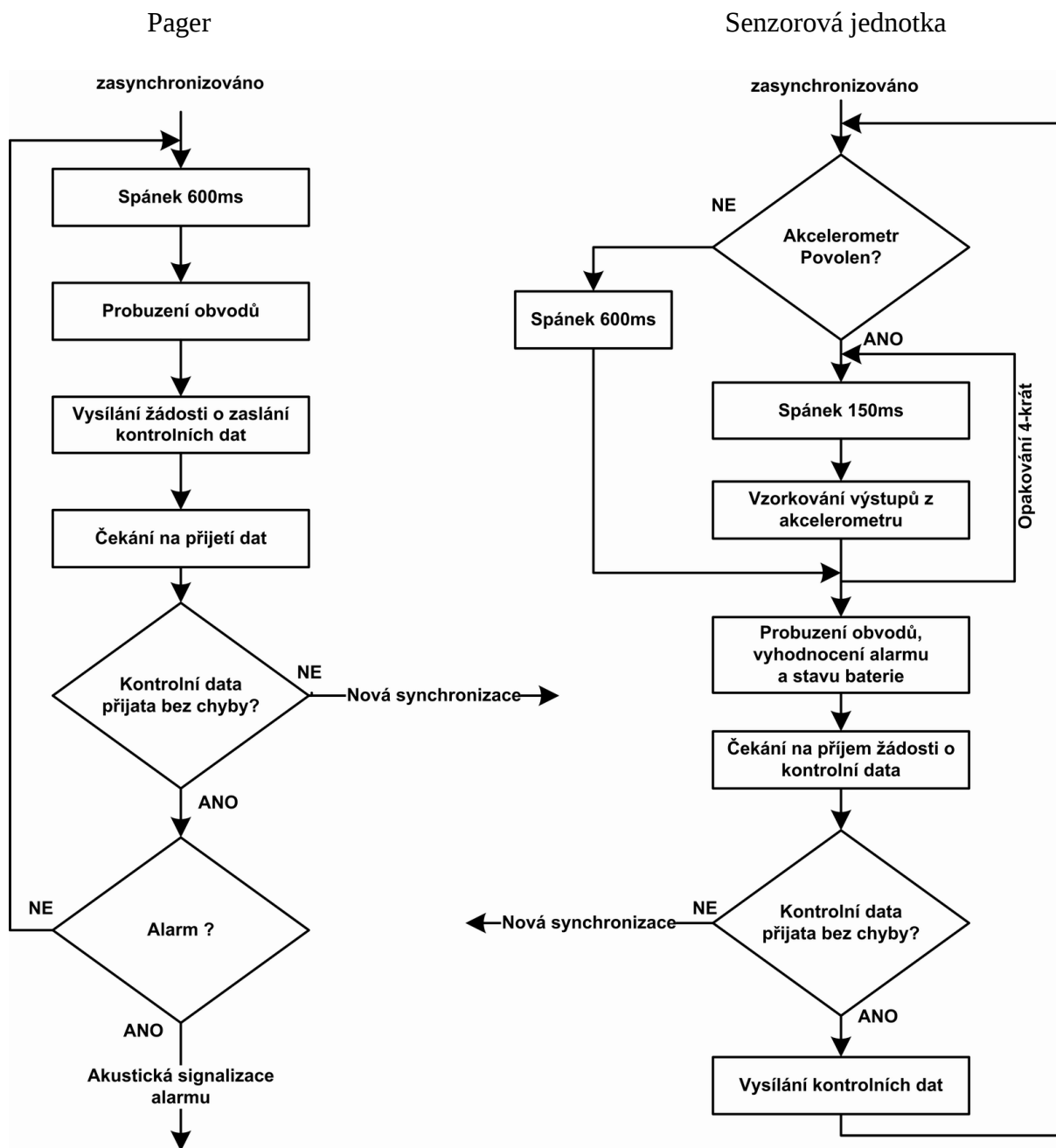
Synchronizace je nutná pro stanovení času, kdy si jednotky navzájem budou předávat data. Po zapnutí se senzorová jednotka přepne na dobu asi 100 ms do režimu přijímače, pokud v této době nepřijde žádost o kontrolní data, jednotka se uspí přibližně na 1s z důvodu úspory energie. Po zapnutí pageru dochází každých 50 ms k vysílání paketu, který žádá o zaslání kontrolních dat. Při tom dochází i ke generování tónu piezoměničem, abychom věděli, že zabezpečovací zařízení ještě není v provozu. Pokud pager přijme odpověď na žádost o kontrolní data, jednotky jsou zasynchronizovány a uspí se. K další výměně dat dojde přibližně za 0,6 s kdy se obě jednotky probudí. Obr. 5.1 ukazuje odběr proudu jednotek, z něhož vidíme jak probíhá synchronizace i komunikace po úspěšném zasynchronizování. Ke stejné synchronizaci dochází i v případě výpadku spojení.



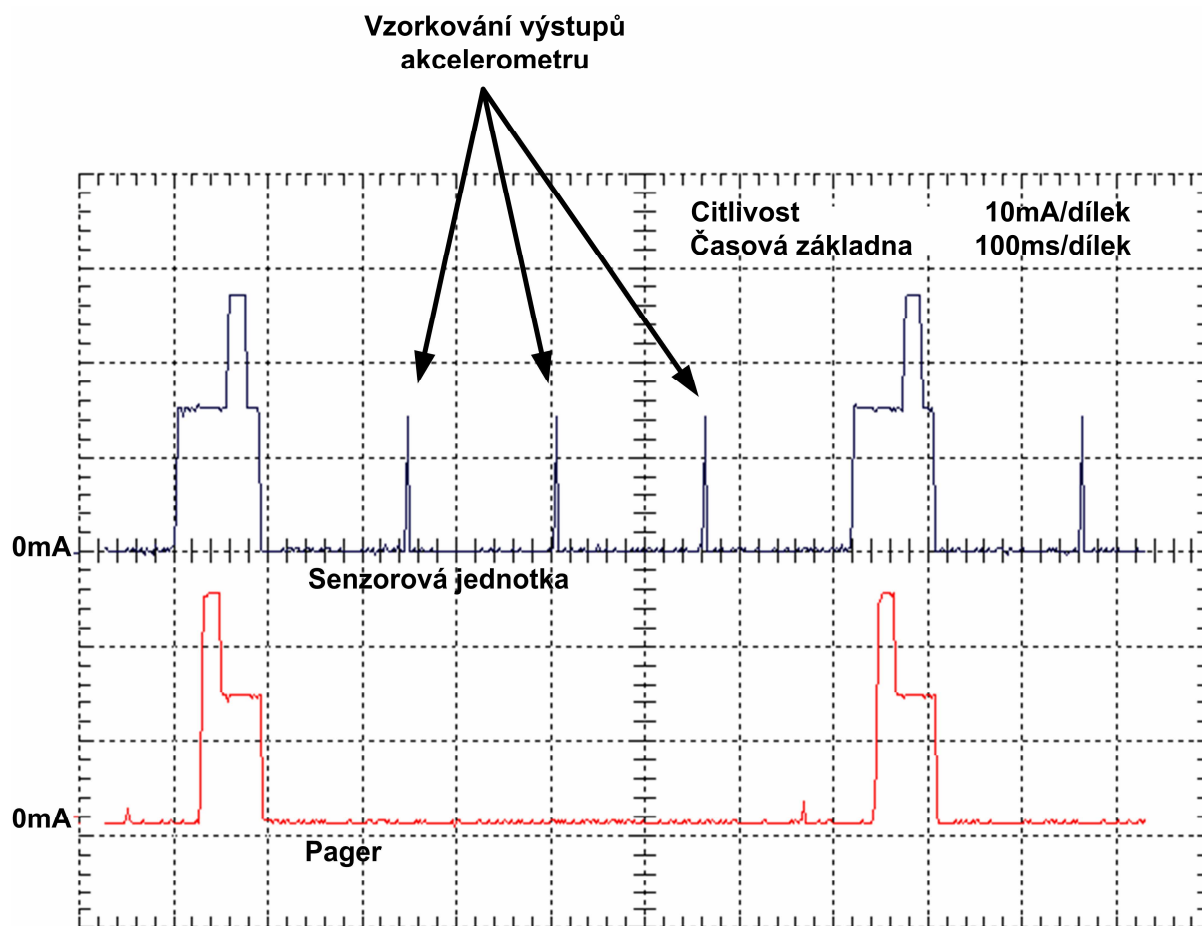
Obr. 5.1: Synchronizace jednotek

5.3 Běžný provoz jednotek

Průběh komunikace je opět volen s ohledem na co nejmenší spotřebu. Jednotky se probouzí po 0,6 s, posílají si kontrolní data a zbytek času jsou uspany. Pokud je u senzorové jednotky povoleno spuštění alarmu od vibrací, probouzí se každých 150 ms a měří zrychlení ve všech třech osách, vyhodnocení alarmu však probíhá až po 0,6 s. Vzorkování zanáší prodlevu asi 4 ms v každém cyklu, proto je potřeba na straně pageru prodloužit dobu probuzení. Pokud vypadne spojení, např. jednotky jsou mimo dosah nebo kontrolní suma nesouhlasí, přechází se znovu do režimu synchronizace. Jak probíhá komunikace v tomto režimu názorně ukazuje zjednodušený vývojový diagram na obr. 5.2 a časový průběh proudu jednotek na obr. 5.3.



Obr. 5.2: Vývojový diagram programu pro běžný provoz jednotek



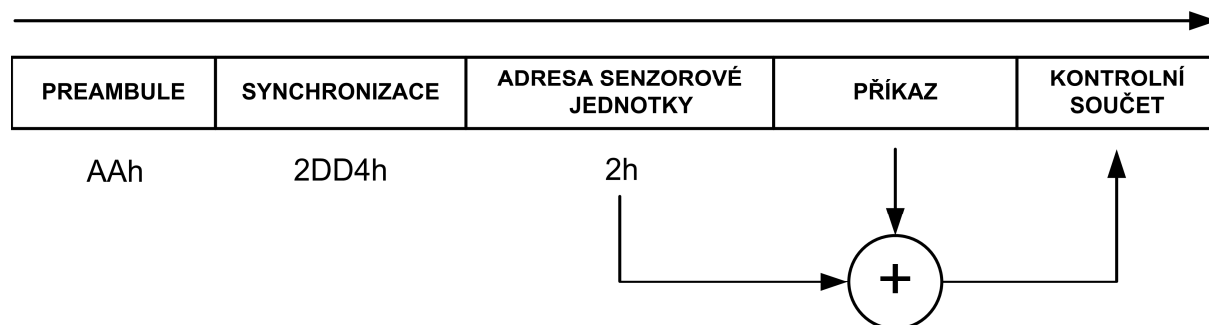
Obr. 5.2: Průběh proudu jednotek v běžném provozu

5.4 Vyhodnocení a spuštění alarmu

Z hlediska náročnosti je nejtěžší vyhodnocení alarmu od akcelerometru. Při první synchronizaci program načte referenční hodnotu statického zrychlení všech os, se kterou poté každých 150 ms porovnává aktuální zrychlení. Pokud dojde ke změně zrychlení od referenční hodnoty alespoň dvakrát, je spuštěn alarm. Citlivost na změny zrychlení lze nastavit v `main.h`. U kontaktních senzorů (pokud jsou povoleny) dochází k vyhodnocení alarmu každých 0,6 s ještě před odesláním kontrolních dat. Jestli se má alarm spustit při sepnutí nebo rozepnutí kontaktu, lze opět nastavit v souboru `main.h` pomocí direktiv.

5.5 Struktura paketů

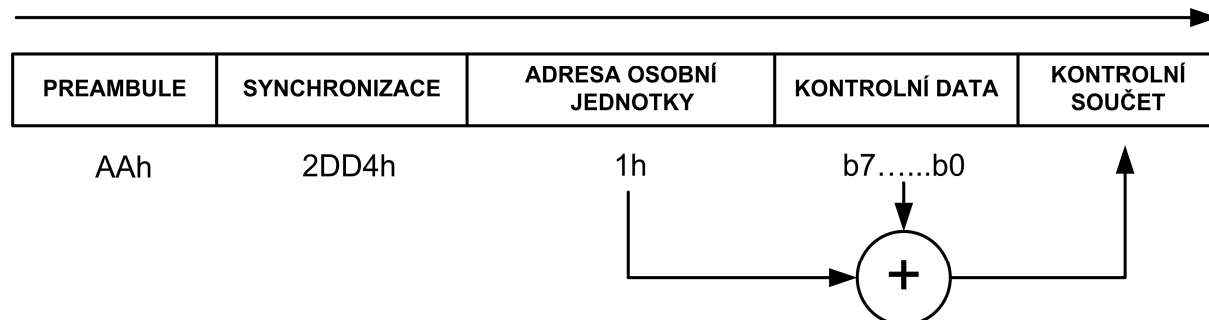
Vysílací pakety jsou dlouhé řádově jednotek Bytů. Několik prvních Bytů používá transceiver pro interní potřeby a synchronizaci. Užitečná data zabírají pouze tři Byty, a to adresu jednotky, příkaz / data a kontrolní součet jako jednoduchý detekční kód chyby. Adresa jednotky je vždy konstanta. Strukturu paketů jednotek vidíme na obr. 5.3 a 5.4.



Obr. 5.3: Struktura vysílacího paketu uživatelské jednotky

Uživatelská jednotka používá jen dva příkazy:

- žádost o kontrolní data 80h
- příkaz pro uspání sensorové jednotky 08h



Obr. 5.4: Struktura vysílacího paketu sensorové jednotky

Popis jednotlivých bitů:

- b0 ... stav alarmu od akcelerometru, 1 = aktivní, 0 = alarm vypnut
- b1 ... stav alarmu od kontaktního senzoru 1, 1 = aktivní, 0 = alarm vypnut
- b2 ... stav alarmu od kontaktního senzoru 2, 1 = aktivní, 0 = alarm vypnut
- b4,b3 ... 00 = baterie v pořádku, 01 = nízké napětí baterie, 10 = baterie vybitá
- b6,b5 ... rezervováno
- b7 .. konstantě 1

5.6 Indikace stavů jednotek

Indikaci stavů u uživatelské jednotky zajišťují 3 LED diody a piezoměnič, u senzorové jednotky jen jedna LED dioda. Tab. 5.2 ukazuje rozlišení čtyř stavů jednotek, které mohou nastat. Zvláštní ohled je potřeba brát na běžný provoz jednotek. Časté blikání LED diod v tomto režimu by zbytečně zvyšovalo spotřebu, proto je interval bliknutí několik sekund. Piezoměnič generuje tón jen při synchronizaci nebo při spuštění alarmu.

Tab 5.2: Indikace stavů jednotek

Stav jednotek	Uživatelská jednotka		Senzorová jednotka
	LED1 Zelená	Piezoměnič	LED1 Zelená
Pohotovostní režim	Vypnuta	Vypnutý	Vypnuta
Synchronizace jednotek	Vypnuta	Generování tónu 1kHz se střídou 100 ms / 2 s	Bliká se střídou 64 ms / 1 s
Běžný provoz jednotek	Bliká se střídou 64 ms / 5 s	Vypnutý	Bliká se střídou 64 ms / 5 s
Spuštěn alarm	Vypnuta	Generování tónu 1kHz se střídou 60 ms / 2 s	Bliká se střídou 64 ms / 1 s

Stav baterií obou jednotek indikuje pouze uživatelská jednotka pomocí dvou červených LED diod. I když může interní A/D převodník v mikroprocesoru přesně měřit napětí baterie, běžnému uživateli stačí vědět, jestli je baterie vybitá, případně má nízké napětí. LED diody tedy indikují pouze tři stavy baterie, které ukazuje tab 5.3.

Tab 5.3: Indikace stavů baterií uživatelskou jednotkou

Stav baterie	Baterie v pořádku	Upozornění na nízké napětí	Baterie je vybitá
LED2(pager), LED3(senzorová jednotka)	Vypnuta	Bliká se střídou 64 ms / 9 s	Bliká se střídou 64 ms / 3 s

6 Závěr

Navržené zařízení bylo zrealizováno a umístěno do krabičky, je tak připraveno k použití. Byly také naměřeny základní parametry, které jsou umístěny v příloze D. Naměřený odběr jednotek byl ve všech režimech vyšší než teoretický. Dosah zabezpečovacích jednotek byl měřen pomocí mobilního telefonu s GPS přijímačem, s anténami $\lambda/2$ a pohyboval se kolem 150 m ve volném prostoru. Zabezpečovací zařízení pracuje na kmitočtu 869,7 MHz s výkonem 5 mW. Vysílacím výkonem, šířkou pásma a dobou klíčování vyhovuje právním předpisům ČR.

Zařízení se jeví jako vcelku spolehlivé, postačující pro zabezpečení obyčejných věcí. Pokud je povoleno spuštění alarmu od vibrací, je téměř nemožné vyřadit senzorovou jednotku z provozu, protože reaguje i na malé změny otřesů. Naopak kontaktní senzory lze vyřadit snadno pouhým vytáhnutím jejich konektorů nebo přemostěním.

Případné zarušení komunikačního kanálu sice přeruší spojení mezi jednotkami, ale díky oboustranné komunikaci víme, že je zařízení mimo provoz. Protože jednotky pracují stále na jednom kmitočtu a jejich pakety mají stejnou strukturu, není složité vyčíst posloupnost dat jiným přijímačem a případně simulovat senzorovou jednotku jiným vysílačem. Proti tomuto napadení by bylo vhodné data šifrovat, případně použít kmitočtové skákání nosné podle pseudonáhodné posloupnosti.

Hardwarové řešení jednotek lze vylepšit použitím akumulátoru s menšími rozměry a nižším napětím baterie, zmenší se tak rozměry jednotek a zamezí se zbytečným ztrátám výkonu na stabilizátoru. Pro snadné nabíjení by bylo vhodné do jednotek implementovat nízkopříkonové nabíjecí obvody. Nevýhodou navržené uživatelské jednotky je málo indikačních prvků, rozšíření o další senzorové jednotky je tedy omezené. Lepší řešení by přinesl lcd displej, který by mohl indikovat alarm od více jednotek, případně i jejich stav baterií.

LITERATURA

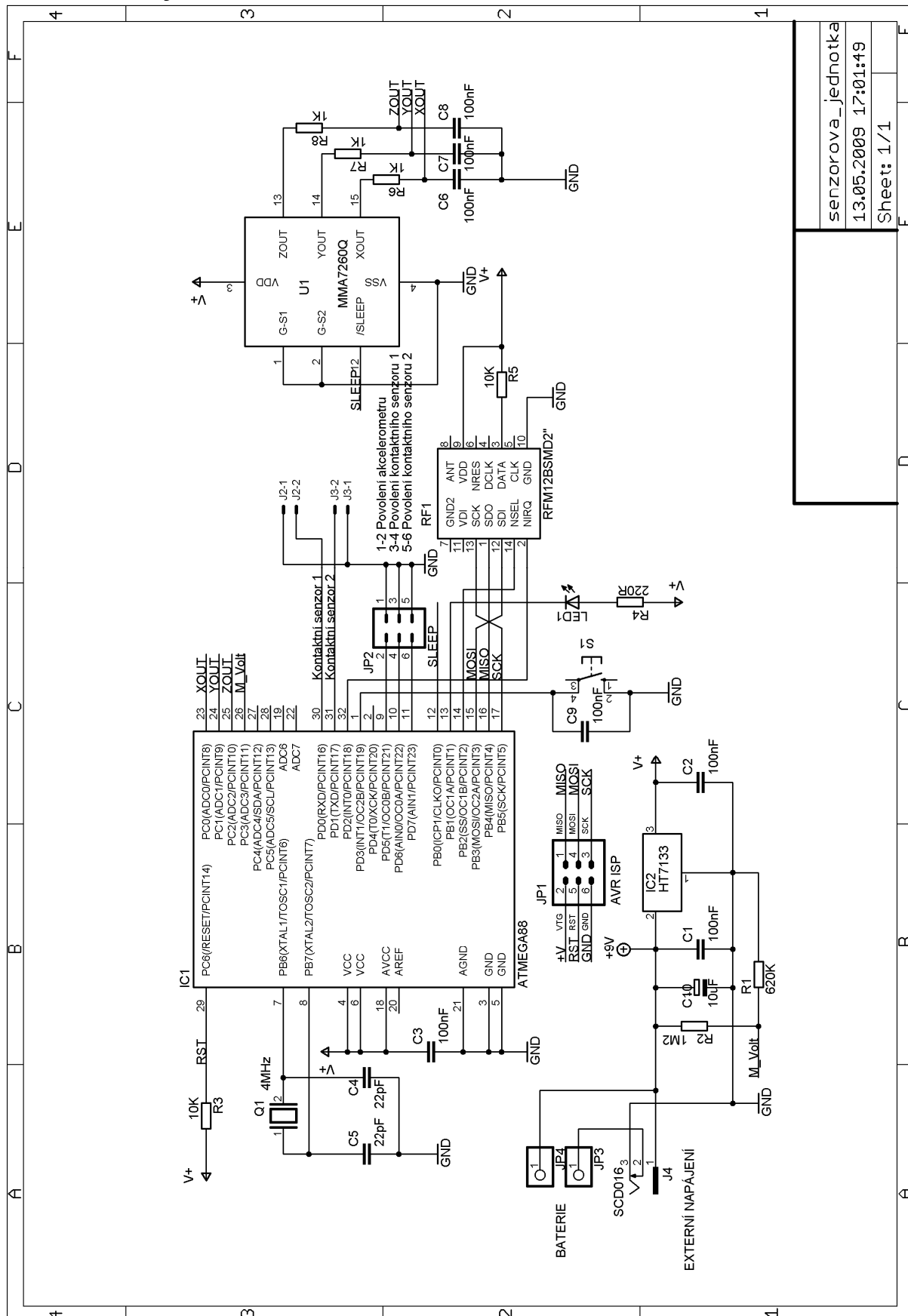
- [1] *Obrázek otřesového čidla* [online]. GES, webové stránky [cit. 2008-17-11]
Dostupný z WWW: <<http://www.ges.cz>>.
- [2] *Obrázek akcelerometru Freescale* [online]. [2004] [cit. 2008-10-01].
Dostupný z WWW: <<http://www.freescale.com> >.
- [3] *Senzory pro měření tlaku v integrovaném provedení* [online]. HW server, [2000]
[cit. 2008-10-15]. Dostupný z WWW: <<http://www.hw.cz>>.
- [4] *Všeobecné oprávnění č. VO-R/10/03.2007-4 k využívání rádiových kmitočtů a k provozování zařízení krátkého dosahu* [online]. Český telekomunikační úřad, [2007]
[cit. 2008-11-03]. Dostupný z WWW: <<http://www.ctu.cz>>.
- [5] POVALAČ, Aleš. *Dálkové ovládání měřicích přístrojů v SRD pásmu* [online]. 2001
[cit. 2008-11-12].
Dostupný z WWW: <<http://www.alpov.net/elektronika/domep/domep.html>>.
- [6] *Datasheet komunikačního modulu RFM12B/868D* [online]. 2007 [cit. 2008-10-08].
Dostupný z WWW: <<http://www.tme.eu/cz/>>.
- [7] *ATmega48 8-bit AVR Microcontroller, Data Sheet* [online]. [2008] [cit. 2008-11-05].
Dostupný z WWW: <<http://www.atmel.com/>>.
- [8] *SPI sběrnice* [online]. Wikipedie, 2001 [cit. 2008-11-20].
Dostupný z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/SPI>>.
- [10] *Datasheet stabilizátoru HT7133A* [online]. 2001 [cit. 2008-11-04].
Dostupný z WWW: <www.gme.cz>.
- [11] *Datasheet akcelerometru MMA7260Q* [online]. 2001 [cit. 2008-11-08].
Dostupný z WWW: <www.gme.cz>.
- [12] MATUSZCZYK, Jacek. *Antény prakticky*. Marek Michalek. 2. české vyd. Praha : BEN, 2003. 239 s. ISBN 80-7300-109-8.

SEZNAM ZKRATEK

ISM	Industrial, Scientific and Medical Bands
GPS	Global Position System
GSM	Global System for Mobile Communications
WLAN	Wireless Local Area Network
FSK	Frequency Shift Keying
SPI	Serial Peripheral Interface
ISP	In-System Programming
PWM	Pulse Width Modulation
MOSI	Master Output Slave Input
MISO	Master Input, Slave Output
SCLK	Serial Clock
SS	Slave Select
CRC	Cyclic Redundancy Check

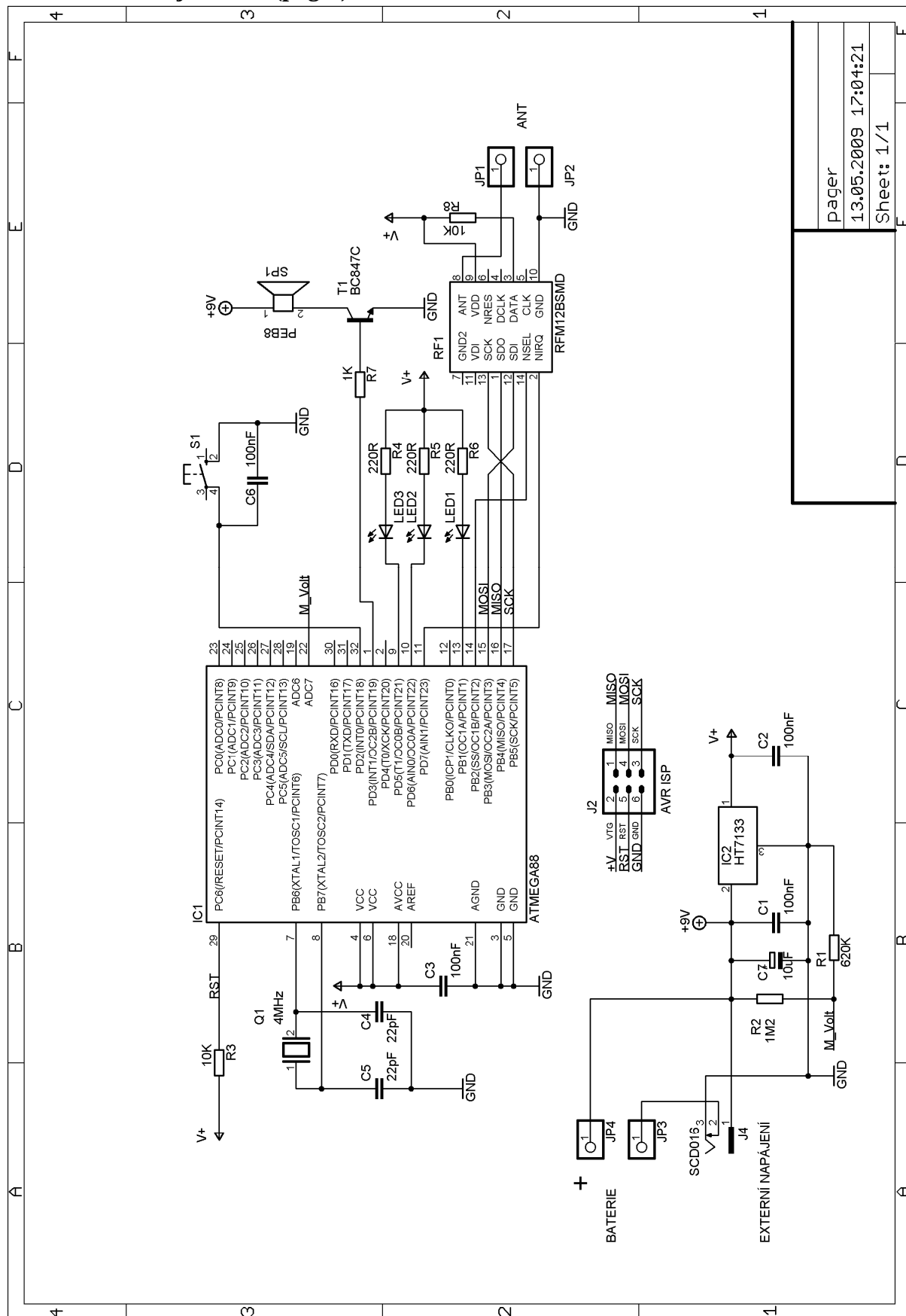
A SCHÉMA ZAPOJENÍ

A.1 Senzorová jednotka



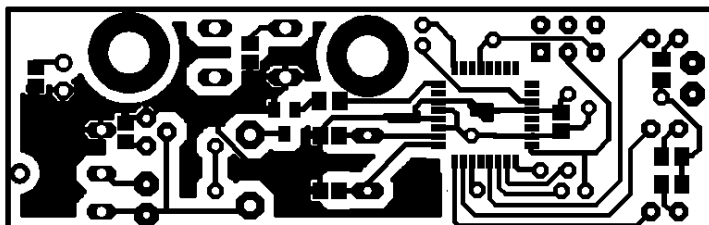
senzorova_jednotka
13.05.2009 17:01:49
Sheet: 1/1

A.2 Uživatelská jednotka (pager)

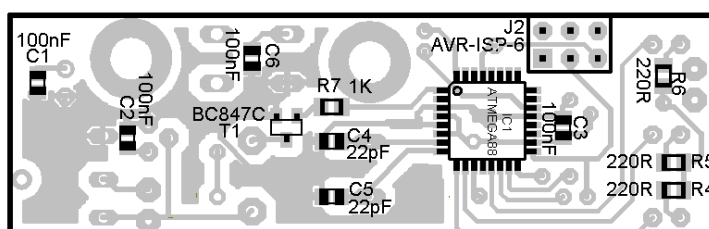


B.2 Uživatelská jednotka (Pager)

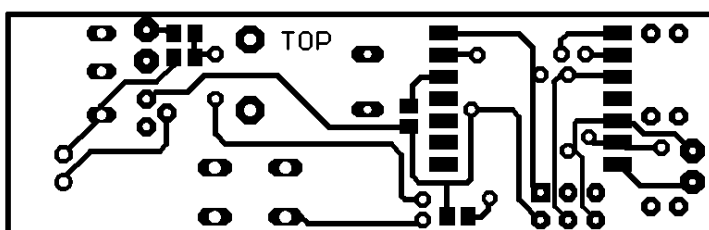
Motiv plošného spoje (strana spojů)



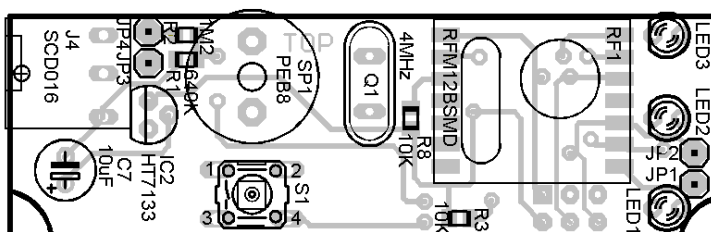
Osazovací plán pro stranu spojů



Motiv plošného spoje (strana součástek)



Osazovací plán pro stranu součástek



C SEZNAM SOUČÁSTEK

C.1 Seznam součástek pro senzorovou jednotku

Označení	Hodnota	Pouzdro	Popis
C1,C2,C6-C8,C10,C11	100nF	C0603	Keramický kondenzátor
C3	100nF	C0805	Keramický kondenzátor
C4,C5	22pF	C0603	Keramický kondenzátor
C9	10uF		Elektrolytický kondenzátor
IC1	ATMEGA88	TQFP32-08	Mikroprocesor atmel
IC2	HT7133	TO92	Stabilizátor napětí
J2,J3	PSH02-02W		Dvoupinové konektory
J4	SCD-016		napájecí konektor
JP1,JP2			lámací lišta dvouřadá
LED1	L – 934LGD		nízkopříkonová, zelená led dioda
Q1	4MHz	HC49US	krystal
R1	620K	R0603	smd rezistor
R2	1M2	R0603	
R3	10K	R0603	
R4	330R	R0603	
R5	10K	R0603	
R6 – R8	1K	R0603	
RF1	RFM12B/868S2		modul transceiveru
S1			mikrospínač 6 mm
U1	MMA7260Q		freescape-akcelerometr
Plastová krabička	KG 22 M		

C.2 Seznam součástek pro uživatelskou jednotku

Označení	Hodnota	Pouzdro	Popis
C1 – C3	100nF	C0805	Keramický kondenzátor
C4,C5	22pF	C0805	Keramický kondenzátor
C7	10uF		Elektrolytický kondenzátor
IC1	ATMEGA88	TQFP32-08	Mikroprocesor atmel
IC2	HT7133	TO92	Stabilizátor napětí
J4	SCD-016		napájecí konektor
J2			lámací lišta dvouřadá
LED1	L – 934LGD		zelená led 3 mm
LED2 – LED3	L – 934LID		červená led 3 mm
Q1	4MHz	HC49US	krystal
R1	620K	R0805	smd rezistor
R2	1M2	R0805	
R3	10K	R0805	
R4 – R6	100 R	R0805	
R7	1K	R0805	
R8	10K	R0805	
RF1	RFM12B/868S2		modul transceiveru
S1			mikrospínač 6 mm
SP1	PEB8		piezoměnič
T1	BC847C		SOT23
Plastová krabička	KG 22 M		

D ZÁKLADNÍ NAMĚŘENÉ PARAMETRY

Uživatelská jednotka

Střední hodnota odběru proudu v pohotovostním režimu:	51 uA
Střední hodnota odběru proudu v běžném provozu:	0,8 mA
Střední hodnota odběru při spuštění alarmu:	28 mA
Výdrž baterie v pohotovostním režimu (200 mAh):	4000 hod
Výdrž baterie v běžném provozu (200 mAh):	250 hod

Senzorová jednotka

Střední hodnota odběru proudu v pohotovostním režimu:	55 uA
Střední hodnota odběru proudu v běžném provozu:	
• S povoleným akcelerometrem	1,6 mA
• Akcelerometr zakázaný	1,2 mA
Výdrž baterie v pohotovostním režimu (200 mAh):	3630 hod
Výdrž baterie v běžném provozu (200 mAh):	
• S povoleným akcelerometrem	125 hod
• Akcelerometr zakázaný	166 hod

Společné parametry

Dosah ve volném prostoru:	150 m
---------------------------	-------

Použité měřicí přístroje

Ampermér	HP34401A
Osciloskop	Owon HDS2062M
GPS přijímač	Mobilní telefon ASUS P750