



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV MIKROELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF MICROELECTRONICS

NÍZKOPŘÍKONOVÝ GPS PŘIJÍMAČ

LOW POWER GPS LOCATOR

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Peter Hus

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Michal Pavlík, Ph.D.

BRNO 2017

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Mikroelektronika a technologie**
Ústav mikroelektroniky

Student: Peter Hus

ID: 173658

Ročník: 3

Akademický rok: 2016/17

NÁZEV TÉMATU:

Nízkopříkonový GPS přijímač

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte a realizujte prototyp zabezpečovacího zařízení pro sledování polohy dopravního prostředku s využitím technologií GSM a GPS. Informace o poloze a stavu vozidla bude zobrazitelná na mobilním telefonu, případně na osobním počítači. Vzhledem k bateriovému napájení optimalizujte aplikaci s ohledem na minimalizaci potřebného příkonu.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího práce

Termín zadání: 6. 2. 2017

Termín odevzdání: 8.6.2017

Vedoucí práce: Ing. Michal Pavlík, Ph.D.

Konzultant:


doc. Ing. Jiří Háze, Ph.D.
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

Cieľom tejto práce je navrhnúť nízkopríkonový GPS prijímač, ktorý bude slúžiť ako zabezpečovacie zariadenie na sledovanie polohy a stavu motorových vozidiel. Navrhnuté zariadenie bude schopné rozpoznať neoprávnenú manipuláciu s vozidlom a používateľa upozorniť pomocou SMS správy. V prípade odcudzenia vozidla bude zariadenie pravidelne odosielať informácie o svojej polohe získanej pomocou GPS modulu. Návrh je zameraný na čo najmenšiu prúdovú spotrebu zariadenia, široký rozsah pracovných teplôt a spoľahlivosť.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

GSM, GPS, sledovacie zariadenie, alarm, lokalizácia

ABSTRACT

The aim of the work is to design a low power GPS locator which will serve as a security device for location tracking and checking vehicles status. The designed device will be able to identify unauthorised manipulation of the vehicle and warn a user through SMS message. The device will be sending some information from GPS module in case of a theft regularly. The design is focused on the lowest current consumption, wide range of operating temperatures and reliability.

KEYWORDS

GSM, GPS, tracking device, alarm, localization

HUS, P. *Nízkopříkonový GPS přijímač*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav mikroelektroniky, 2017. 51 s., 4 s. příloh. Bakalárska práca. Vedúci práce: Ing. Michal Pavlík, Ph.D.

PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že svoju bakalársku prácu na tému Nízkopříkonový GPS přijímač som vypracoval samostatne pod vedením vedúceho bakalárskej práce a s použitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú všetky citované v práci a uvedené v zozname literatúry na konci práce.

Ako autor uvedenej bakalárskej práce ďalej prehlasujem, že v súvislosti s vytvorením tejto bakalárskej práce som neporušil autorské práva tretích osôb, predovšetkým som nezasiahol nedovoleným spôsobom do cudzích autorských práv osobnostných alebo majetkových a som si plne vedomý následkov porušenia ustanovení § 11 a nasledujúcich zákona č. 121/2000 Sb., o práve autorskom, o právach súvisiacich s právom autorským a o zmene niektorých zákonov (autorský zákon), v znení neskorších predpisov, vrátane možných trestnoprávných dôsledkov vyplývajúcich z ustanovení časti druhej, hlavy VI. diel 4 Trestného zákonníka č. 40/2009 Sb.

V Brne dňa

.....

(podpis autora)

POĎAKOVANIE

Ďakujem vedúcemu bakalárskej práce Ing. Michalovi Pavlíkovi, Ph.D. za účinnú metodickú, pedagogickú a odbornú pomoc, mojej mame Márii Husovej za štylistickú úpravu, mojej priateľke Valérii Harnišovej za pravopisnú úpravu a mnohým ďalším, ktorí mi pri tvorbe tejto práce pomohli.

V Brne dňa

.....

(podpis autora)

OBSAH

Úvod	8
1 Teoretický rozbor	9
1.1 Globálny systém mobilných komunikácií	9
1.1.1 Systémová architektúra	9
1.1.2 Lokalizácia zariadenia v sieti	11
1.2 Satelitný navigačný systém	11
1.2.1 Princíp lokalizácie	12
2 Prehľad dostupných zariadení na trhu	13
2.1 Lokalizátor KEETEC GPS SNIPER	14
2.2 Jablotron CA-2103 GSM/GPS autoalarm	14
2.3 GPS lokátor TK-104	15
3 Návrh konceptu vlastného zariadenia	16
3.1 Bloková schéma	16
4 Výber vhodných obvodov a modulov	18
4.1 Nabíjací obvod	18
4.2 GSM modul	18
4.3 GPS modul	19
4.4 Akcelerometer	20
4.5 Teplotný senzor	21
4.6 Mikrokontrolér	21
4.7 Napäťový regulátor	23
4.8 Akumulátor	23
5 Návrh hardvéru	24
5.1 Napájanie	24
5.2 Mikrokontrolér a snímače	25
5.3 Komunikačné moduly	27
5.4 Návrh Dosky plošných spojov	29
6 Tvorba programového vybavenia	31
6.1 Štruktúra programu	31
6.2 Implementované funkcie	33

7	Testovanie	35
7.1	Oživovanie zariadenia.....	35
7.2	Test prepäťovej ochrany	35
7.3	Meranie prúdovej spotreby	37
7.4	Testovanie funkčnosti	38
8	Záver	41
	Literatúra	42
	Zoznam obrázkov	44
	Zoznam tabuliek	45
	Zoznam symbolov, veličín a skratiek	46
	Prílohy	48

ÚVOD

Pri odcudzení motorového vozidla zohráva kľúčovú úlohu predovšetkým čas. Čím skôr sa o krádeži vozidla dozvieme a upovedomíme políciu, tým sú šance na jeho nájdenie väčšie. Veľkou výhodou je, ak nám zabezpečovací systém dokáže rýchlo oznámiť nielen informáciu o odcudzení vozidla, ale aj jeho presnú polohu. Návrhom takéhoto zabezpečovacieho zariadenia spolu s realizáciou prototypu sa budem zaoberať v tejto bakalárskej práci.

Trh síce ponúka množstvo podobných zabezpečovacích zariadení, ale vlastný návrh riešenia tejto problematiky má svoje opodstatnenie. Skúsení zlodeji majú väčšinou prehľad o používaných profesionálnych zariadeniach, poznajú ich slabiny, snímače alebo miesta, kde sa vo vozidle nachádzajú. Z tohto pohľadu je výhodou použitie takého zabezpečovacieho systému, ktorý nie je vo veľkom používaný, respektíve je málo známy.

Zabezpečovacie zariadenie by malo obsahovať modul GPS pre primárne a presné lokalizovanie vozidla, GSM modul slúžiaci na komunikáciu s používateľom a zároveň ako sekundárna možnosť približnej lokalizácie pomocou GSM siete. Zariadenie by malo byť doplnené akcelerometrom slúžiacim na detekciu pohybu vozidla, manipulácie s vozidlom a riadenie elektrickej spotreby za účelom úspory energie. Samozrejmosťou je aj použitie záložného akumulátora pre prípad výpadku primárneho zdroja napájania.

Táto práca sa bude spočiatku venovať teoretickému rozboru GSM a GPS technológií, následne budú predstavené niektoré používané produkty na domácom trhu, a z nich vychádzajúce vlastné riešenie tejto problematiky. Práca ďalej obsahuje podrobný popis navrhnutého zariadenia spolu s programovým vybavením a v závere sa zaoberá testovaním vyrobeného prototypu.

1 TEORETICKÝ ROZBOR

Táto kapitola popisuje funkciu kľúčových systémov, ktoré budú využité pri návrhu vlastného sledovacieho zariadenia, konkrétne globálny systém mobilných komunikácií GSM a globálny navigačný satelitný systém GNSS.

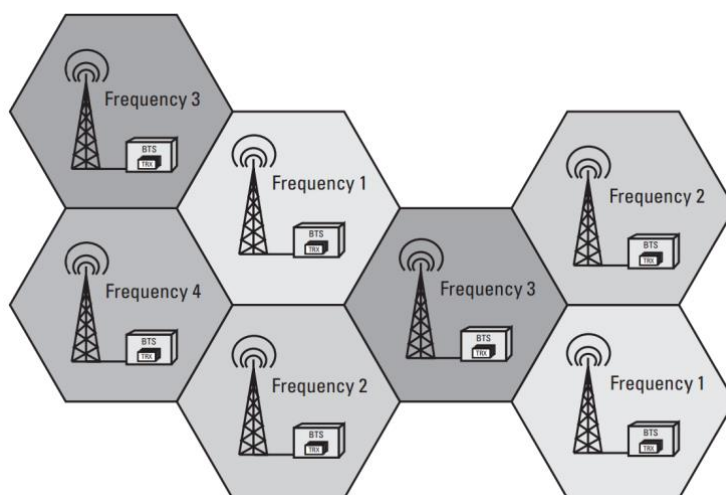
1.1 Globálny systém mobilných komunikácií

Prvýkrát sa výraz GSM spomenul v roku 1982, kde označoval výbor Groupe Spéciale Mobile pod záštitou Európskej normalizačnej komisie CEPT. Jej úlohou bolo vytvoriť nový medzinárodný štandard pre digitálne mobilné komunikácie v pásme 900 MHz, ktorý by nahradil sieť prvej generácie. 1G sieť bola analógová a v mnohých krajinách sa značne odlišovala, preto nebol možný vzájomný roaming. Rozšírená bola najmä v západnej Európe. [1]

Roku 1991 bola uvedená do prevádzky sieť druhej generácie a význam skratky GSM bol pozmenený na Global System for Mobile Communications. Taktiež sa objavil aj prvý derivát siete GSM s názvom DCS 1800, ktorý v podstate preniesol GSM sieť do kmitočtu 1800 MHz. V USA sa pásmo DCS 1800 adaptovalo na frekvenciu 1900 MHz a vznikla sieť PCS 1900. O dva roky neskôr bola sieť GSM rozšírená v 22 štátoch, ďalších 25 štátov GSM sieť pripravovalo. Rýchlo sa rozšírila do celého sveta, kde si ju mnohé krajiny zvolili najmä z hľadiska kompatibility. [2]

1.1.1 Systémová architektúra

GSM sieť využíva bunkovú štruktúru, ktorej základný princíp spočíva v rozdelení dostupného frekvenčného pásma, ktorého časti potom pridelí jednotlivým pozemným vysielačim staniciam - BTS. Susedným staniciam sa pridelujú odlišné časti rozdeleného frekvenčného pásma, aby sa eliminovalo vzájomné rušenie. Po určitej vzdialenosti môžu opäť prideliť rovnaké frekvenčné pásma inej BTS, vid' príklad na obr. 1.1. [1]

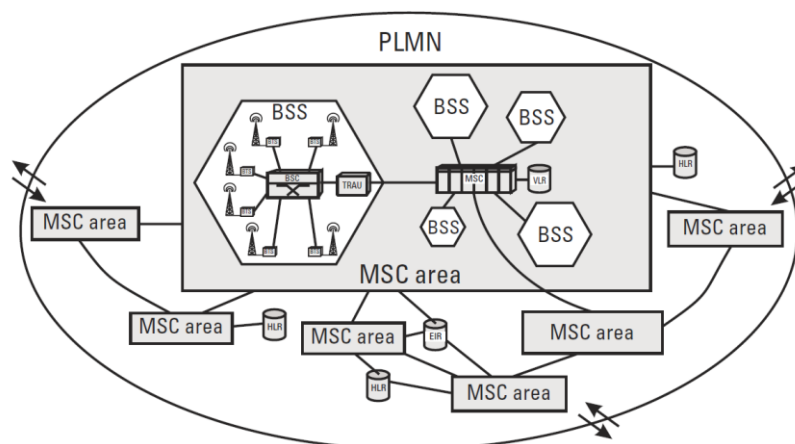


Obr. 1.1 Bunková štruktúra BTS staníc v sieti GSM, [1]

GSM sieť sa skladá z niekoľkých hlavných častí: [1]

- **MS** (Mobile Station) – mobilná stanica
- **SIM** (Subscriber Identity Module) – rozlišuje medzi identitou používateľa a mobilného zariadenia IMEI (International Mobile Equipment Identity)
- **BTS** (Base Transceiver Station) – vysielač stanica, ktorá zaobstaráva spojenie medzi sieťou a mobilnou stanicou
- **BSC** (Base Station Controller) – spája vysielač stanice BTS z určitej oblasti pomocou rozhrania Abis. Stará sa o všetky centrálné funkcie a riadenie subsystému BSS (Base Station Subsystem), ktorý zahŕňa BSC a k nej pripojené BTS stanice
- **TRAU** (Transcoding Rate and Adaptation Unit) – stará sa o efektivitu prenosu a kompresiu dát. Z hľadiska architektúry súčasťou BSS
- **MSC** (Mobile Services Switching Centre) – spája veľké množstvo BSC jednotiek a jeho hlavnou úlohou je smerovanie prichádzajúcich a odchádzajúcich hovorov a pridelovanie užívateľských kanálov na A-interface.
- **HLR** (Home Location Register) – úschovňa dát o veľkom množstve odoberateľov
- **VLR** (Visitor Location Register) – podobne ako HLR obsahuje informácie o odoberateľoch, ale iba niektoré a len o tých, ktorí sa práve nachádzajú v oblasti, za ktorú je VLR zodpovedná
- **EIR** (Equipment Identity Register) – kontroluje IMEI (International Mobile Equipment Identity) pri prihlásení do siete a následne môže odmietnuť prihlásenie do siete napríklad kradnutým mobilným zariadeniam

Diagram popisovanej štruktúry GSM siete je možné vidieť na obr. 1.2.



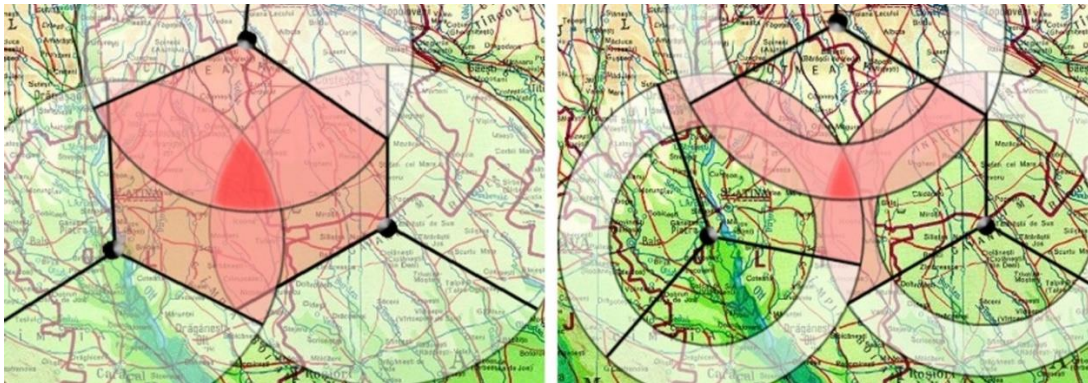
Obr. 1.2 Štruktúra mobilnej siete GSM, [1]

1.1.2 Lokalizácia zariadenia v sieti

Najjednoduchší spôsob ako určiť približnú polohu mobilnej stanice je zistiť k akej vysielacej BTS stanici je zariadenie pripojené. Tento spôsob je značne nepresný a v praxi ním môžeme určiť polohu s presnosťou o ploche kružnice s priemerom jednotiek až desiatok kilometrov. BTS väčšinou nevysielať všetkými smermi, ale využívajú smerové antény, čím sa zvýši presnosť určenej polohy na časť kruhového výseku. [3]

Pre presnejšie určenie polohy je možné využiť parameter TA (Timing Advance), ktorý predstavuje oneskorenie signálu pri jeho prenose medzi BTS a mobilnou stanicou. Pomocou nameranej hodnoty TA sa vykonáva korekcia oneskorenia signálu pre zvýšenie efektivity prenosu. Presnosť lokalizácie sa týmto zvýši na výsek medzikružia s presnosťou polomeru približne do 1 km. [3]

Najpresnejšie lokalizovanie docielime pomocou triangulácie. Prakticky sa jedná o zameriavanie mobilnej stanice pomocou troch najsilnejších BTS v okolí, buď bez alebo s využitím hodnoty TA. Princíp spočíva v hľadaní priesečníku kružníc, kam zasahujú signálmi jednotlivé BTS. Presnosť v husto zastavaných oblastiach môže dosahovať až desiatky metrov. Princíp triangulácie je možné vidieť na obr. 1.3. [3]



Obr. 1.3 Princíp triangulácie bez využitia parametra TA (vľavo) a s využitím parametra TA (vpravo), [3]

1.2 Satelitný navigačný systém

Je systém, ktorý využíva signál zo satelitov pre určenie polohy na alebo nad zemským povrchom v troch dimenziách. Prijímač satelitného navigačného signálu môže byť použitý na určenie zemepisnej šírky, dĺžky, výšky, rýchlosti a zistenie informácií o čase a dátume. Presnosť lokalizácie je pre komerčnú sféru obvykle maximálne 2,5 m, pre armádne účely sa môže pohybovať v jednotkách centimetrov. [4]

Pokiaľ je signál pre výpočet polohy dostupný vo všetkých častiach zemegule, hovoríme o tzv. Globálnom Navigačnom Satelitnom Systéme (GNSS). V súčasnosti sú v plnej prevádzke iba dva, konkrétne americký GPS a ruský GLONASS, oba využívajúce 24 satelitov na zemskej orbite. Onedlho sa k nim pridajú európsky systém Galileo disponujúci 30-timi satelitmi s očakávaným dokončením v roku 2019 a čínsky

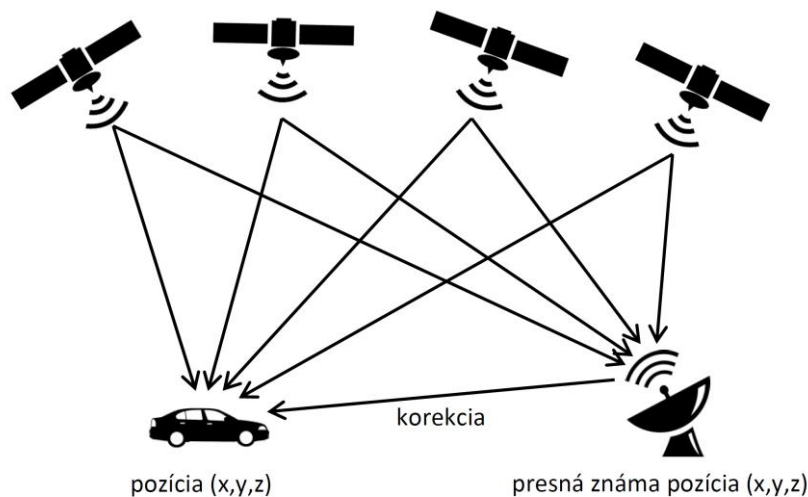
Compass využívajúci 35 satelitov s očakávaným spustením v roku 2020. [4]

Ak je signál dostupný iba na určitom území, hovoríme o Regionálnom Navigačnom Satelitnom Systéme (RNSS), napríklad japonský QZSS, čínsky BeiDou alebo indický IRNSS. Princíp fungovania je u všetkých systémov takmer rovnaký, odlišujú sa hlavne vysielačovou frekvenciou. [4]

1.2.1 Princíp lokalizácie

Satelity používajú atómové hodiny, ktoré sú momentálne najpresnejšie na meranie času, pre zachovanie synchronizácie všetkých satelitov v zoskupení. Prijímač potom porovnáva čas vysielača, ktorý je zakódovaný v prenose s časom príjmu meraným jeho internými hodinami. Týmto spôsobom prijímač vypočíta vzdialenosť medzi ním a satelitom. Prijímač zachytáva signály z viacerých satelitov súčasne, preto môže využiť na určenie svojej polohy trianguláciu. Je to proces zisťovania polohy pomocou vymeriavania uhlov trojuholníka a dvoch známych bodov. Presné polohy satelitov sú podobne ako časový údaj zakódované vo vysielaní. Čím viac signálov dokáže prijímač spracovávať, tým presnejšia je výsledná lokalizácia.[4] Pre výpočet polohy je potrebné prijímať signál aspoň z troch satelitov, pre výpočet polohy s výškou je potrebný príjem aspoň zo štyroch satelitov. [5]

Pre dosiahnutie maximálnej presnosti sa využíva vylepšený systém nazývaný diferenciálny GPS alebo DGPS. Hlavná myšlienka spočíva v tom, že pre dve stanice v blízkosti 10-tok kilometrov platia rovnaké chyby spôsobené predovšetkým prechodom signálu atmosférou. Referenčná stanica, ktorá má presne známu polohu, vypočítava korekcie oproti polohe stanovenej zo satelitných signálov a odosiela ich mobilnému zariadeniu na spresnenie jeho polohy. S využitím tejto technológie je možné dosiahnuť presnosť na desiatky centimetrov. [5] Princíp funkcie je možné vidieť na obr. 1.4.



Obr. 1.4 Princíp fungovania diferenciálneho GNSS prijímu

2 PREHĽAD DOSTUPNÝCH ZARIADENÍ NA TRHU

Táto kapitola obsahuje krátky prieskum trhu a predstavuje niektoré používané produkty na domácom trhu, ich výhody a nevýhody, z ktorých bude ďalej vychádzať koncept vlastného nízkopríkonového zabezpečovacieho zariadenia.

V tab. 2.1 je možné vidieť prehľad niektorých dostupných GPS zabezpečovacích zariadení na domácom trhu, konkrétne ich základných parametrov a cien. V základnom princípe sú všetky zariadenia rovnaké, líšia sa akurát množstvom doplnkových funkcií alebo detektorov. V nasledujúcich podkapitolách sú podrobnejšie opísané 3 zariadenia. Prvé je z nižšej cenovej kategórie, druhé z vyššej cenovej kategórie a tretie je zariadenie s jednoduchou montážou pomocou magnetu, zvyčajne bez nutnosti pripojenia externých antén a napájania.

Tab. 2.1 Porovnanie parametrov a funkcií dostupných sledovacích a zabezpečovacích zariadení na domácom trhu

GSM/GPS Lokátor	Pracovná teplota [°C]	Tlačidlo SOS	História trasy	Zobrazenie na mape	Záložný akumulátor [mAh]	Senzor pohybu	Cena [Kč]
TK-102	-20 +55	áno	nie	áno	800	nie	1995
TK-104	-20 +55	áno	nie	áno	6000	nie	3995
GPS lokátor ECONOMY	-20 +55	áno	áno	áno	500	áno	2995
GPS lokátor EXCLUSIVE	neznáma	áno	áno	áno	1100	áno	6495
KEETEC GPS SNIPER	-20 +80	nie	nie	áno	300	áno	3993
Jablotron CA-2103	-20 +70	nie	áno	áno	neznáma kapacita	externý	9088
Jablotron CU-07A	-20 +80	nie	áno	áno	nie	áno	4699
Jablotron CU-08	-20 +80	áno	áno	áno	nie	nie	5638
SPY106B	-20 +65	áno	áno	áno	800	áno	2450

2.1 Lokalizátor KEETEC GPS SNIPER

Slúži k zisteniu aktuálnej pozície vozidla, ktorú odosiela ako odkaz na Google mapy pomocou SMS správ. Nastavenia sa vykonávajú pomocou SMS správ a mobilnej aplikácie. Obsahuje funkcie na detekciu odťahu, náklonu vozidla a poplachu pri rušení GSM siete. [6]

Prednosti: [6]

- vstavaný senzor náklonu a záložný akumulátor
- upozornenie pri prekročení maximálnej rýchlosti a odtiahnutí vozidla
- detekcia rušenia GSM siete
- 2 výstupy - jeden alarmu a jeden užívateľský

Nevýhody: [6]

- neznáma doba výdrže zariadenia pri výpadku hlavného zdroja napájania
- nepodporuje lokalizáciu pomocou GSM siete pri výpadku alebo rušení GPS signálu
- neuvádza sa aké GSM pásma podporuje, mohol by nastať problém pri použití napríklad v USA alebo Kanade

Cena: 3993,0 Kč

2.2 Jablotron CA-2103 GSM/GPS autoalarm

Kombinuje funkcie sledovacieho zariadenia a autoalarmu. Ponúka možnosti elektronickej knihy jász s identifikáciou šoférov, prípadne informácie o opustení alebo vstupe do definovanej zóny. Zariadenie aj s príslušenstvom je možné vidieť na obr. 2.1. [7]



Obr. 2.1 Zabezpečovacie zariadenie Jablotron CA-2103, [7]

Prednosti: [7]

- imobilizačný okruh a spínanie sirény
- quad-band modul E-GSM / GPRS 850/900/1800/1900MHz
- záložná funkcia lokalizácie pomocou GSM siete
- podpora pripojenia CAN zbernice a 24 bezdrôtových detektorov

Nevýhody: [7]

- neznáma doba výdrže zariadenia pri výpadku hlavného zdroja napájania
- vyššia cena a nutnosť dokúpenia jednotlivých senzorov

Cena: 9088,0 Kč

2.3 GPS lokátor TK-104

Lokalizačné zariadenie s jednoduchou montážou a záložným akumulátorom s kapacitou 6000 mAh, ktorý zaručuje výdrž zariadenia v prevádzke bez adaptéra až 60 dní. Informácie o polohe odosiela pomocou SMS správ. Toto zariadenie je možné vidieť na obr. 2.2. [8]

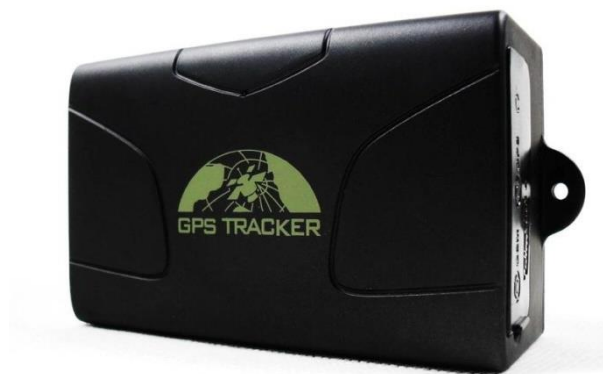
Prednosti: [8]

- quad-band modul 850/900/1800/1900MHz
- zabudované antény GPS a GSM, prípadne možnosť použitia externých antén
- tlačidlo SOS, ktoré vyšle žiadosť o pomoc s presnými GPS súradnicami

Nevýhody: [8]

- slúži výhradne ako sledovacie zariadenie, neobsahuje a ani neumožňuje pripojenie žiadnych senzorov, ako napríklad senzor náklonu

Cena: 3995,0 Kč



Obr. 2.2 Sledovacie zariadenie GPS TK-104, [8]

3 NÁVRH KONCEPTU VLASTNÉHO ZARIADENIA

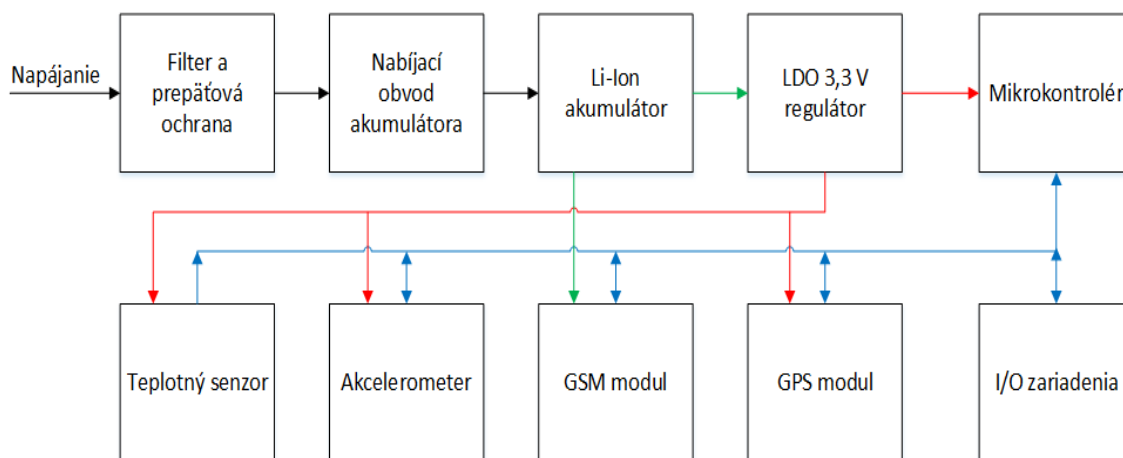
Táto kapitola sa venuje návrhu vlastného konceptu nízkopríkonového zabezpečovacieho zariadenia. Po preskúmaní dostupných zariadení na trhu boli stanovené hlavné požiadavky, ktoré kombinujú najlepšie vlastnosti a funkcie s ohľadom na náročnosť, výslednú cenu a energetické nároky.

Požiadavky na zabezpečovacie zariadenie:

- quad-band GSM modul 850/900/1800/1900MHz
- lokalizácia pomocou satelitov a záložná lokalizácia pomocou GSM siete
- odosielanie polohy s odkazom na online mapy
- integrovaný akcelerometer pre snímanie pohybu alebo náklonu
- záložný akumulátor s dostatočnou kapacitou
- inteligentné riadenie spotreby energie – čo najnižší príkon zariadenia
- upozornenie na manipuláciu a odtiahnutie vozidla
- tlačidlo SOS pre rýchle odoslanie SMS s aktuálnou polohou a žiadosťou o pomoc
- široký rozsah pracovných teplôt
- odolnosť voči možným rušeniam pôsobiacich v automobilovej palubnej sieti

3.1 Bloková schéma

Na základe stanovených požiadaviek bola navrhnutá bloková schéma zariadenia, ktorú je možné vidieť na obr. 3.1.



Obr. 3.1 Bloková schéma navrhovaného nízkopríkonového GPS prijímača

Popis jednotlivých blokov:

- **Filter a prepät'ová ochrana** – v automobilovej palubnej sieti sa môžu nachádzať rôzne druhy rušenia, ktorým musí zariadenie odolať. Obsahovať bude filter typu dolná priepusť a prepät'ovú ochranu s transilom
- **Nabíjací obvod akumulátora** – bude sa starať o napájanie zariadenia a zároveň dobíjanie záložného akumulátora
- **Li-Ion akumulátor** – zabezpečí prísun energie počas výpadku primárneho zdroja napájania a počas vysielacích prúdových špičiek GSM modulu
- **LDO 3,3 V regulátor** – stabilizátor s nízkym úbytkom napätia pre napájanie mikrokontroléra a zvyšných modulov v zariadení
- **Mikrokontrolér** – bude komunikovať so všetkými modulmi, vyhodnocovať získané údaje a riadiť činnosť celého zariadenia
- **Teplotný senzor** – slúži na orientačné meranie teploty, v prípade prekročenia povoleného rozsahu teplôt mikrokontrolér vypne komunikačné moduly a nabíjanie akumulátora v záujme ich ochrany
- **Akcelerometer** – detekcia pohybu, prípadne náklonu vozidla
- **GSM modul** – zabezpečuje komunikáciu s mobilným telefónom používateľa a slúži ako záložný spôsob lokalizácie pomocou GSM siete
- **GPS modul** – zisťuje polohu a rýchlosť vozidla pomocou satelitných signálov
- **I/O zariadenia** – zobrazovanie stavu zariadenia pomocou LED diód, snímanie palubného napätia a ovládanie SOS tlačidla

4 VÝBER VHODNÝCH OBVODOV A MODULOV

Táto kapitola sa venuje výberu vhodných integrovaných obvodov a modulov pre návrh nízko príkonového sledovacieho zariadenia. Medzi hlavné kritéria výberu patria nízka spotreba energie, veľký rozsah pracovných teplôt, potrebné funkcie a dobrá dostupnosť.

4.1 Nabíjací obvod

Nakoľko sa obvod nabíjania nachádza na vstupe hneď za filtrom a prepäťovou ochranou, hlavná požiadavka na výber obvodu je veľký rozsah napájacieho napätia. Nominálne napätie autobatérie je 12 V, pričom za behu alternátora môže byť napätie v palubnej sieti až 14 – 15 V. Pri použití 16 V transilu ako prepäťovej ochrany bude jeho maximálne chránené napätie (tzv. clamp) približne 26 V. Preto je potrebné zvoliť integrovaný obvod s rozsahom napájacieho napätia aspoň 12 - 28 V.

Týmto požiadavkám vyhovuje len niekoľko dostupných obvodov. Nakoniec bol zvolený obvod LT3650-4.2 od spoločnosti Linear Technology.

Hlavné parametre obvodu LT3650-4.2: [9]

- pracovné napätie 4,75 – 32 V (maximálne napätie 40 V)
- programovateľný nabíjací prúd do 2 A
- 1 MHz fixná frekvencia spínania s účinnosťou okolo 85 %
- prúdová spotreba 85 μ A v režime „stand by“
- vhodný pre automotive aplikácie
- puzdro MSOP - 12

4.2 GSM modul

V navrhovanom zariadení plní GSM modul viacero kľúčových funkcií, preto jeho výberu bola venovaná obzvlášť veľká pozornosť. Taktiež musí byť vždy v stave pohotovosti, aby bol schopný prijímať SMS príkazy, preto bude mať jeho spotreba zásadný vplyv na prúdovú spotrebu celého zariadenia. Spočiatku bola zvažovaná možnosť použitia GSM modulu s integrovaným GPS prijímačom, no po naštudovaní viacerých katalógových listov sa od tejto možnosti ustúpilo. Ukázalo sa, že použitie oddelených modulov poskytne väčšie možnosti, či už pri výbere potrebných funkcií, alebo riadení spotreby zariadenia. Prehľad niekoľkých dostupných a používaných modulov v Českej republike je možné vidieť v tab. 4.1.

Tab. 4.1 Porovnanie dostupných GSM modulov

Typ modulu	modul	GSM pásma [MHz]	Napájanie [V]	Pracovná teplota [°C]	Nabíjanie Li-Pol	Spotreba		Cena [Kč]
						sleep [mA]	idle [mA]	
GSM	SIM900	850 900 1800 1900	3,2-4,8	-30 +80	nie	1,5	22	380
	SIM800C		3,4-4,4	-40 +85	nie	0,9	14	253
	M66		3,3-4,6	-40 +85	nie	1,2	13	235
GSM/GPS	SIM808		3,4-4,4	-40 +85	áno	2,0	22	462
	SIM928A		3,2-4,8	-30 +80	áno	1,2	21	564

Po preskúmaní ich parametrov bol pre navrhované zariadenie zvolený modul SIM800C od spoločnosti SIMCOM, predovšetkým pre jeho nízku spotrebu energie, malé rozmery a množstvo užitočných funkcií.

Hlavné parametre modulu SIM800C: [10]

- quad-band 850/900/1800/1900 MHz
- pracovné napätie 3,4 – 4,4 V
- prúdová spotreba 0,9 mA v režime „sleep“ (dokáže prijímať SMS a hovory)
- rozmery 17,6x15,7x2,3 mm
- rozsah pracovných teplôt -40 až +85 °C s automatickým vypnutím modulu pri ich prekročení pre ochranu proti jeho zničeniu
- detekcia rušenia GSM pásma
- komunikačné rozhranie UART s ovládaním pomocou AT príkazov
- lokalizovanie modulu pomocou GSM siete

4.3 GPS modul

Pri výbere modulu pre príjem satelitných navigačných signálov boli zohľadňované predovšetkým parametre „time to first fix“, čo predstavuje čas, za ktorý dokáže modul lokalizovať svoju polohu po zapnutí a prúdová spotreba v režime stáleho sledovania polohy. Prehľad bežne dostupných navigačných modulov v Českej republike a ich parametrov môžeme vidieť v tab. 4.2.

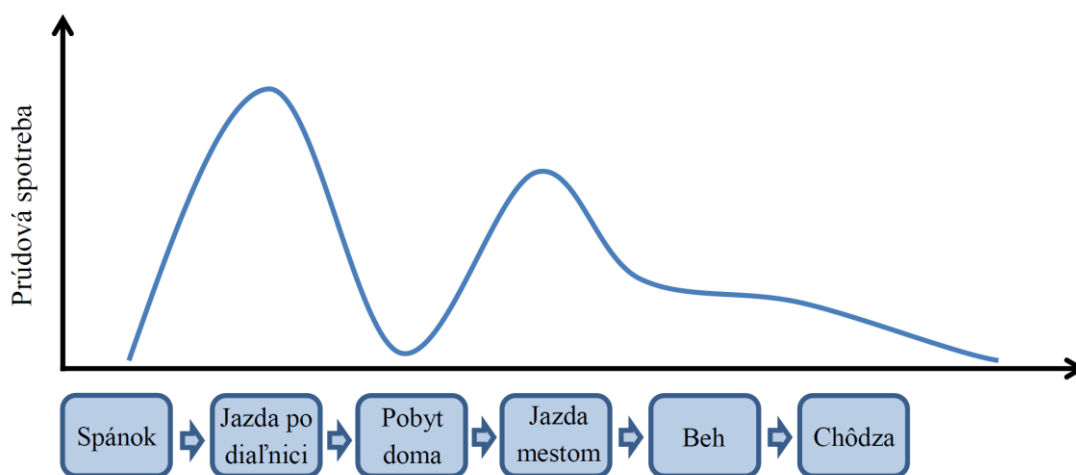
Tab. 4.2 Porovnanie dostupných GPS modulov

Typ modulu	Modul	Spotreba [mA]	Time to first fix [s]		Integrovaná anténa	Easy A-GPS	Cena [Kč]
			bez A-GPS	A-GPS			
GPS	SIM28	19	32	13,8	nie	áno	356
GPS	ORG1410	<40	<35	<10	áno	áno	636
GPS	L70	<12	<35	<15	nie	áno	230
GPS	L80	<20	<35	<15	áno	áno	255
GPS/Glonass	L86	<26	<35	<15	áno	áno	278

Pre navrhované zariadenie bol zvolený modul L80 od spoločnosti Quectel. Hoci nemá najnižšiu prúdovú spotrebu oproti napríklad L70B, ako môžeme vidieť v tab. 4.2, na rozdiel od L70B obsahuje integrovanú patch anténu aj s nízkošumovým zosilňovačom (LNA), ktorý spotrebovávajú typicky okolo 10 mA. Navyše má možnosť pripojiť aj sekundárnu externú anténu a automaticky prepínať medzi anténami. [11]

Hlavné parametre modulu L80: [11]

- pracovné napätie 3,0 – 4,3 V
- rozsah pracovných teplôt -40 až 80 °C
- automatické prepínanie medzi internou a externou anténou
- ochrana proti skratu antény
- zabudovaný nízkošumový zosilňovač LNA
- funkcia „EASY A-GPS“ – automaticky generovaná orbitálna predpoveď pre skrátenie času lokalizácie
- režim „AlwaysLocate“ – inteligentné šetrenie energie riadením spotreby modulu pri sledovaní polohy (viď. obr. 4.1)
- rozhranie UART s protokolom NMEA0183 a PMTK
- 66 zameriavacích a 22 sledovacích kanálov
- multi-tone AIC (Active Interference Cancellation) – zvýšená odolnosť voči RF rušeniu pochádzajúceho od aktívnych súčiastok na DPS
- rozmery 16x16x6,45 mm



Obr. 4.1 Prúdová spotreba GPS modulu L80 v režime AlwaysLocate, [11]

4.4 Akcelerometer

Nakoľko akcelerometer musí byť v prevádzke neustále, kľúčovým parameterom tohto komponentu je čo najnižšia spotreba elektrickej energie. Výhodou je použitie digitálneho akcelerometra, ktorý dokáže sám detekovať pohyb alebo prekročenie určitej hodnoty zrýchlenia a generovať externé prerušenie. Mikrokontrolér tak môže byť

po celú dobu v úspornom režime a prebudí sa až po zaznamenaní pohybu zariadenia. Preto bol zvolený digitálny MEMS akcelerometer MMA8452Q, ktorý spĺňa vyššie uvedené požiadavky a je dobre dostupný na domácom trhu.

Hlavné parametre obvodu MMA8452Q: [12]

- pracovné napätie 1,95 – 3,6 V
- prúdová spotreba 6 μ A v najúspornejšom režime
- frekvencia meraní od 1.56 Hz do 800 Hz
- rozsah pracovných teplôt -40 až 85 °C
- rozsah merania ± 2 g, ± 4 g alebo ± 8 g
- rozlíšenie 8 alebo 12 bit
- 2 programovateľné výstupy prerušenia
- zabudované detektory voľného pádu, pohybu, pulzov a prechodných dejov
- puzdro QFN 16 o rozmeroch 3x3x1 mm
- I2C komunikačné rozhranie

4.5 Teplotný senzor

Meranie teploty nie je kľúčová funkcia navrhovaného zariadenia, preto nemusí byť veľmi presné a má skôr informatívny charakter. Pri výbere teplotného senzora bola preto ako hlavné kritérium stanovená nízka spotreba elektrickej energie. Z tohto hľadiska najviac vyhovoval nízkoprikonový lineárny termistor MCP9700A od firmy Microchip.

Hlavné parametre obvodu MCP9700A: [13]

- teplotný rozsah merania -40 až 125 °C
- prúdová spotreba typicky 6 - 12 μ A
- presnosť typicky ± 1 °C, maximálna možná odchýlka -2 až +4 °C
- puzdro SOT-23

4.6 Mikrokontrolér

Jeho úlohou bude riadiť všetky moduly, senzory, vstupy a výstupy. Bude spracovávať informácie o polohe, komunikovať s mobilným zariadením používateľa pomocou GSM modulu, vyhodnocovať informácie z akcelerometra a iné. Preto je potrebné zvoliť mikrokontrolér s dostatočnou programovou a dátovou pamäťou, vhodným počtom vstupno-výstupných brán a veľkým výpočtovým výkonom. Z vyššie zvolených modulov a súčiastok je zrejmé, že z periférií budú potrebné A/D prevodník a minimálne 2x UART a 1x I2C komunikačné rozhranie.

Výber bol zameraný predovšetkým na 8 bitové mikrokontroléry spoločností Microchip a Atmel. Prehľad niektorých dostupných mikrokontrolérov a ich parametrov je možné vidieť v tab. 4.3. Po ich preskúmaní bol pre navrhované zariadenie zvolený

PIC 18F47k40, predovšetkým pre jeho rozšírený rozsah pracovných teplôt a nízku prúdovú spotrebu vďaka technológii XLP. Navyše obsahuje širokú škálu digitálnych a analógových periférií, ktoré zjednodušujú tvorbu programového vybavenia prípadne návrh plošného spoja. [14]

Tab. 4.3 Porovnanie niektorých dostupných 8-bitových mikrokontrolérov

Názov	Pamäť			Pracovná teplota [°C]	Počet IO	Prúdová spotreba*		Cena [Kč]
	Programu [kB]	SRAM [B]	EEPROM [B]			Sleep [µA]	4 MIPS [mA]	
ATmega64	64	4096	2048	-40 +85	53	<10	4,1	92
ATmega644	64	4096	2048	-40 +85	32	<5	2	196
18F46k22	64	3896	1024	-40 +125	35	<25	2,2	75
18F46j50	64	3776	0	-40 +85	33	<32	6	105
18F47k40	128	3728	1024	-40 +125	35	<25	1,5-2	54

*platí pre napájacie napätie $U = 3,3 \text{ V}$

Hlavné parametre mikrokontroléra PIC 18F47k40: [14]

- 8-bitový mikrokontrolér s technológiou XLP (eXtreme Low Power)
- optimalizovaná architektúra RISC pre programovanie v jazyku C
- rozsah pracovných teplôt -40 až 125 °C
- prúdová spotreba pri napájacom napätí 3,3 V a výpočtovom výkone 4 MIPS v normálnom režime 1,5 - 2 mA, 20 – 75 uA v režime „sleep“
- možnosť selektívneho vypnutia hardvérových modulov nevyužitých periférií kvôli zníženiu prúdovej spotreby
- 128 kB pamäť programu, 1024 B pamäť EEPROM a 3728 B dátová pamäť
- nastaviteľné úrovne priority pre prerušenia
- maximálny výpočtový výkon 16 MIPS
- interný digitálne riadený oscilátor s možnosťou voľby frekvencie
- 35 kanálový A/D prevodník s rozlíšením 10 bitov a integrovanou napäťovou referenciou
- možnosť mapovania digitálnych periférií na rôzne vstupno-výstupné brány
- 35 vstupno-výstupných brán s prerušením na zmenu úrovne a tromi externými zdrojmi prerušenia
- tri 8-bitové a štyri 16-bitové časovače
- komunikačné rozhrania 2x EUSART a 2x SPI/I2C
- programovanie pomocou ICSP s možnosťou ladenia programu v obvode
- obvody dohľadu WWDT a BOR
- puzdro TQFP 44

4.7 Napät'ový regulátor

Predpokladaná prúdová spotreba 3,3 V napájacej vetvy by mala byť približne 1 mA v režime spánku a maximálne 30 až 40 mA pri trvalom sledovaní polohy zariadenia. Maximálne napätie na vstupe bude 4,2 V a minimálne napätie závisí od úrovne vybitia batérie, teda približne 3,4 V. Katalógový list výrobcu GPS modulu odporúča LDO lineárny regulátor. Výber bol preto zameraný na LDO regulátory napätia s čo najnižším pokojovým odberom prúdu a zároveň s nízkym úbytkom napätia. Prehľad niektorých dostupných integrovaných obvodov je možné vidieť v tab. 4.4. Pre navrhované zariadenie bol zvolený obvod MCP1700, ktorý najlepšie spĺňal stanovené požiadavky a navyše sa predáva za veľmi nízku cenu.

Tab. 4.4 Porovnanie dostupných LDO regulátorov

Integrovaný obvod	pracovná teplota [°C]	Maximálne vstupné napätie [V]	Pokojový prúd [μA]	Maximálny prúd [mA]	Úbytok napätia [V] (I=100 mA)	Cena [Kč]
LT1521	-40 +125	± 20	12	300	300	109
LT1763	-40 +125	± 21	30	500	200	98
MCP1700	-40 +125	6,5	1,6	250	75	12
MC33275	-40 +125	13	125	300	115	18

Hlavné parametre obvodu MCP1700: [15]

- rozsah pracovných teplôt -40 až 125 °C
- pokojová prúdová spotreba 1,6 μA
- maximálny výstupný prúd 250 mA
- úbytok 75 mV pri prúdovom odbere 100 mA
- ochrana proti skratu a teplotami mimo pracovný rozsah
- puzdro SOT-89

4.8 Akumulátor

Záložný napájací zdroj je pre zabezpečovacie zariadenie veľmi dôležitý. Z hľadiska rozsahu pracovnej teploty sa jedná o jeden z najslabších prvkov celého systému, preto je potrebné zvoliť kvalitný akumulátor s veľkou teplotnou odolnosťou. Po preskúmaní dostupných možností bol zvolený Li-Ion akumulátor od spoločnosti Boston-Power typ Swing™ 4400. [16]

Hlavné parametre akumulátora Swing 4400: [16]

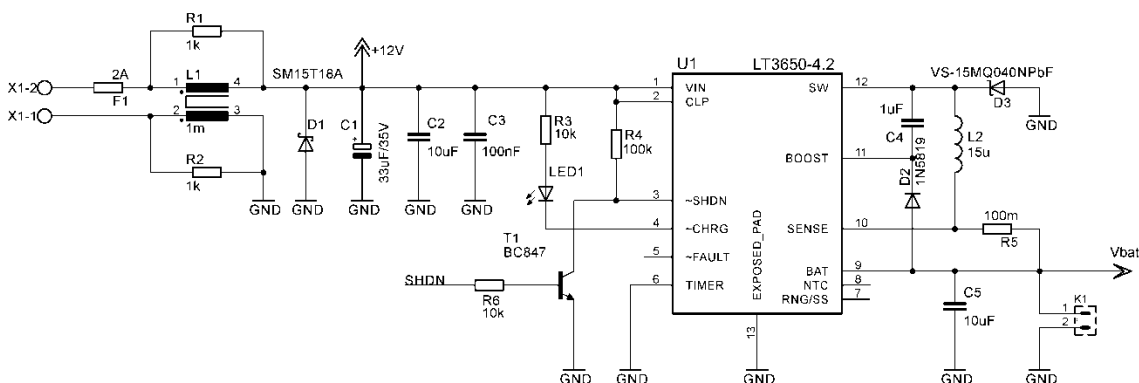
- teplotný rozsah nabíjania -10 až 60 °C, vybíjania -40 až 70 °C
- kapacita akumulátora 4400 mAh, nominálne napätie 3,7 V
- nominálna impedancia 17 mΩ a maximálny výstupný prúd 12 A
- hmotnosť 90 g pri rozmeroch 37x65x19 mm

5 NÁVRH HARDVÉRU

Táto kapitola podrobne popisuje návrh obvodovej schémy zapojenia jednotlivých blokov navrhovaného zariadenia a následný návrh plošného spoja.

5.1 Napájanie

Nakoľko je zariadenie napájané z palubnej siete motorového vozidla, je tu veľká pravdepodobnosť výskytu rôznych rušivých signálov vedených po prívodných vodičoch. Preto je na vstupe použitý common mode filter L1, pre potlačenie súhlasného rušenia, ktoré sa naviaže na prívodné vodiče. Rezistory R1 a R2 obmedzujú zákmitý napätia na indukčnosti. Indukčnosť L1 spolu s kondenzátormi C1, C2 a C3 tvoria dolno-priepustný filter druhého rádu, ktorý potlačuje sériové rušenie. Výkonový transil D1 slúži na orezanie napät'ových špičiek, ktoré sa vyskytujú v palubnej sieti predovšetkým pri spínaní indukčných záťaž'í. Poistka F1 ochráni obvod v prípade prerazenia ochranného transilu. Zapojenie je možné vidieť v ľavej časti na obr. 5.1.



Obr. 5.1 Schéma zapojenia vstupného filtra s nabíjacím obvodom akumulátora

Pravá časť zapojenia na obr. 5.1 znázorňuje katalógové zapojenie nabíjacieho obvodu LT-3650-4.2 určeného pre nabíjanie akumulátora Li-Ion. Rezistor R4 udržuje obvod zapnutý privedením úrovne vstupného napätia na bránu SHDN, ktorú je možné pomocou tranzistora T1 priviesť do nízkej logickej úrovne a tým softvérovou vypnúť nabíjací obvod. Dióda LED1 indikuje nabíjanie akumulátora, ak nesvieti, akumulátor je buď nabitý, alebo nie je prítomné napájacie napätie. Maximálny výstupný nabíjací prúd $I_{MAX} = 1$ A nastavujeme pomocou hodnôt rezistora R5 a induktora L2. Hodnota rezistora R5 je vypočítaná podľa vzťahu [9]:

$$R_5 = \frac{0,1}{I_{max}} = \frac{0,1}{1} = 100 \text{ m}\Omega \quad (5.1)$$

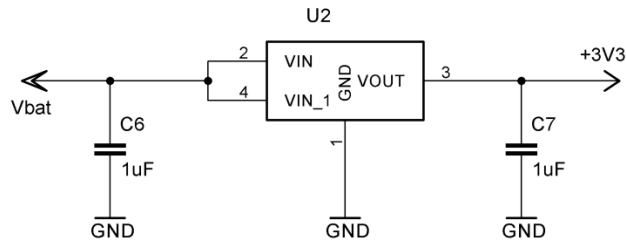
Induktor L2 má hodnotu 15 μ H, ktorá je vypočítaná podľa vzťahu [9]:

$$L_2 = \left(\frac{10}{\Delta I_{Max}} \right) * R_5 * (V_{Bat} + V_F) * \left[1 - \left(\frac{V_{Bat} + V_F}{V_{INMax} + V_F} \right) \right] = [\mu H] \quad (5.2)$$

kde ΔI_{Max} predstavuje nastavené prúdové zvlnenie (0,3), V_{Bat} je maximálne napätie na batérii, V_{INMax} je maximálne vstupné napätie a V_F je úbytok napätia na Schottkyho dióde D3.

Dióda D3 uzatvára prúdovú cestu v momente, kedy je vypnutý spínač hlavného napájania z výstupnej brány SW, preto musí byť dimenzovaná na hodnotu minimálne I_{MAX} . Odrušovaní kondenzátor C5 musí mať kapacitu aspoň 10 μF . [9]

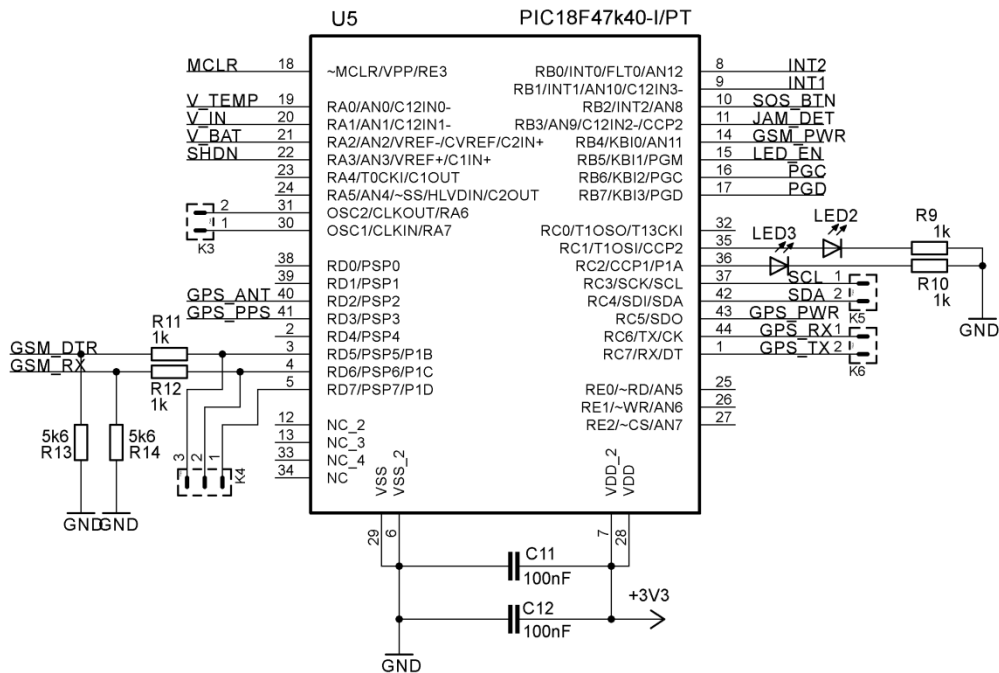
Na obr. 5.2 môžeme vidieť katalógové zapojenie LDO regulátora MCP 1700, ktorý poskytuje výstupné napätie 3,3 V pre napájanie mikrokontroléra, GPS modulu a akcelerometra. Kondenzátory C6 a C7 slúžia na blokovanie napájania. [15]



Obr. 5.2 Schéma zapojenia regulátora pre výstupné napätie 3,3 V

5.2 Mikrokontrolér a snímače

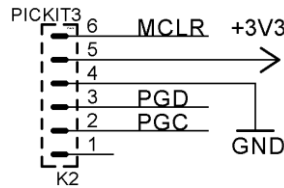
Samotný mikrokontrolér vyžaduje pre svoju správnu činnosť iba blokovacie kondenzátory C11, C12 a pokiaľ je vyžadovaná možnosť zmeniť firmvér v aplikácii, tak aj programovací konektor (vid' obr. 5.4). Obvody, ako napríklad oscilátor alebo napäťová referencia pre A/D prevodník sú už jeho súčasťou, preto ak nie je vyžadovaná veľká presnosť, nie je nutné ich pripájať externe. Šetrí sa tým miesto na plošnom spoji, ako aj náklady na súčiastky. Uspora sa ale značne prejaví až pri sériovej výrobe zariadenia. Zapojenie mikrokontroléra je možné vidieť na obr. 5.3.



Obr. 5.3 Schéma zapojenia mikrokontroléra 18F47k40

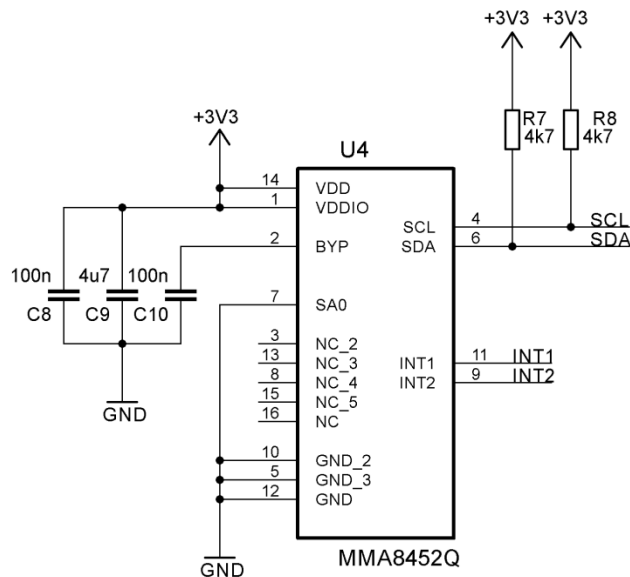
Rezistory R11, R13 a R12, R14 tvoria odporový delič, slúžiaci ako prevodník úrovne. Je to potrebné z dôvodu, že komunikačné rozhranie modulu GSM funguje pri napätí 2,8 V a mikrokontrolér pri napätí 3,3 V. Príjem signálu je možný bez prevodníku úrovne, nakoľko na vstupných bránach UART je Schmittov preklápači obvod s prahovým napätím $0,8 \cdot V_{dd}$, čo je približne 2,64 V. [10][14]

Diódy LED2 a LED3 slúžia na indikáciu rôznych stavov navrhovaného zariadenia a konektory K3 až K6 sú určené k jednoduchému pripojeniu logického analyzátora v prototypovej verzii zariadenia.



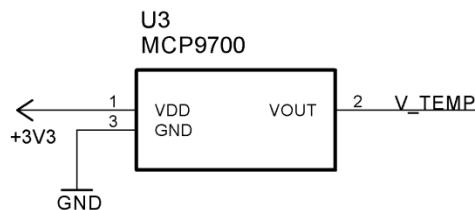
Obr. 5.4 Zapojenie programovacieho konektora pre programátor PICKit 3

Odporúčané zapojenie katalógovým listom akcelerometra MMA8452Q je možné vidieť na obr. 5.5. Kondenzátory C8, C9 a C10 slúžia na blokovanie napájania, rezistory R7 a R8 ako pull-up pre I2C zbernicu, nakoľko tá je budená tranzistormi v zapojení s otvoreným kolektorom. Výstupy interných detektorov INT1 a INT2 vedú do mikrokontroléra, kde budú generovať externé prerušenie. Bit SA0 je pripojený na GND, tým je nastavená adresa obvodu na hodnotu 0x1C. [12]



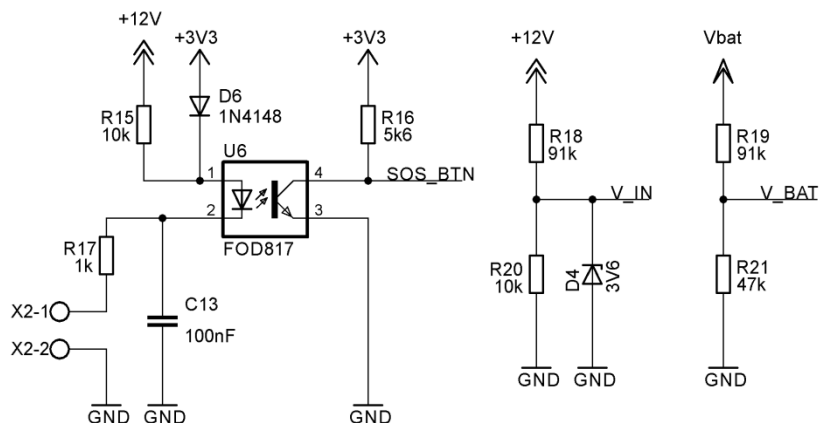
Obr. 5.5 Schéma zapojenia akcelerometra MMA8452Q

Na snímanie teploty okolia je použitý analógový senzor MCP9700, ktorý pre svoju činnosť potrebuje len napájacie napätie. Na výstupnej bráne je hodnota napätia úmerná okolitej teplote, ktorú sníma mikrokontrolér A/D prevodníkom. Jeho zapojenie je možné vidieť na obr. 5.6. [13]



Obr. 5.6 Zapojenie teplotného senzora MCP9700

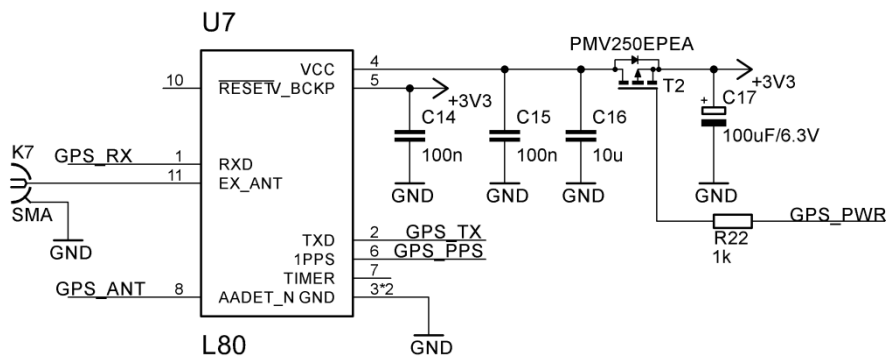
Tlačidlo SOS je pripojené na konektor X2 pomocou krútenej dvojlinky, kvôli eliminácii súhlasného rušenia, ktoré sa môže naviazať na prívodné vodiče. Zapojenie je možné vidieť na obr. 5.7. Rezistor R17 a kondenzátor C13 tvoria jednoduchý RC článok typu dolná priepusť a ich úlohou je eliminovať sériové rušenie. Signál je oddelený optočlenom, aby rušenie menej prenikalo do obvodu mikrokontroléra. Dióda D6 bola doplnená dodatočne, nakoľko pri výpadku hlavného napájania prestalo tlačidlo SOS fungovať, preto je potrebné ju externe doplniť aj na obvod plošného spoja prototypovej verzie. Rezistor R16 slúži ako pull-up pre vstupnú bránu mikrokontroléra. Rezistory R18, R20 a R19, R21 tvoria napäťové deliče pre snímanie napätí palubnej siete vozidla a interného Li-Ion akumulátora. Zenerova dióda D4 chráni vstupnú bránu A/D prevodníka pred možným prepätím.



Obr. 5.7 Schéma zapojenia SOS tlačidla a napäťových deličov pre meranie napätia

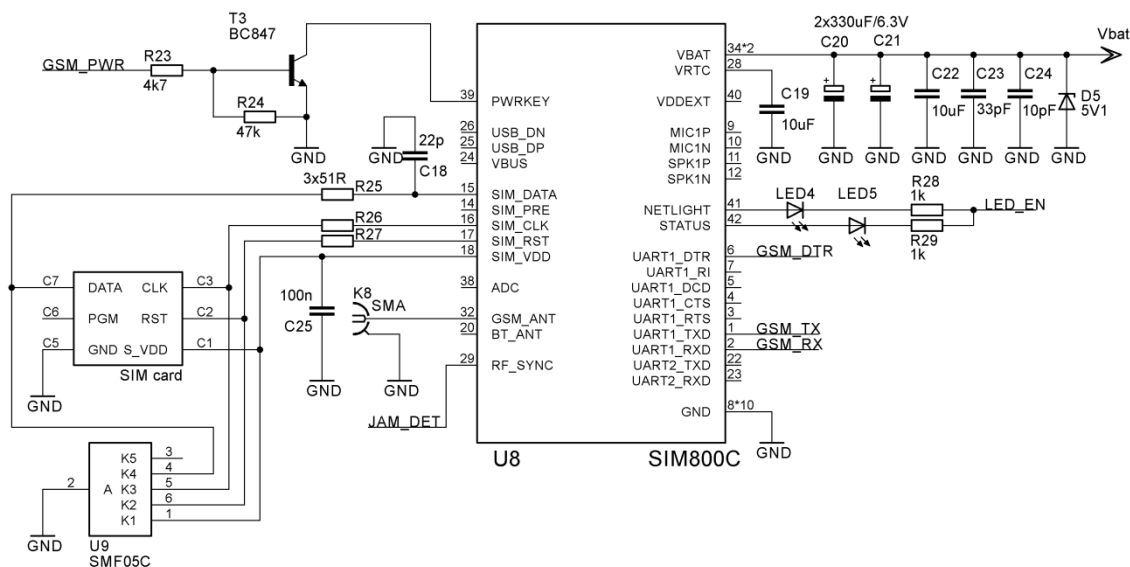
5.3 Komunikačné moduly

Zapojenie GPS modulu vychádza z odporúčaní katalógového listu, obsahuje blokovacie kondenzátory C14, C15, C16, filtračný kondenzátor C17 a SMA konektor pre pripojenie externej antény. Nakoľko tento modul má aj v najúspornejšom režime prúdovú spotrebu 1 mA, zapojenie je doplnené o unipolárny PMOS tranzistor vo funkcii spínača. Zvolený bol tranzistor s nízkym prahovým napätím a odporom vodivého kanála v zopnutom stave. Rezistor R22 slúži na obmedzenie maximálneho prúdu, pri nabíjaní a vybíjaní kapacity hradla tranzistoru. Tým je prúdová spotreba redukovaná na 7 μ A, ktoré využíva interný RTC obvod napájaný pomocou brány V_BCKP. Zapojenie je možné vidieť na obr. 5.8. [11]



Obr. 5.8 Schéma zapojenia GPS modulu L80

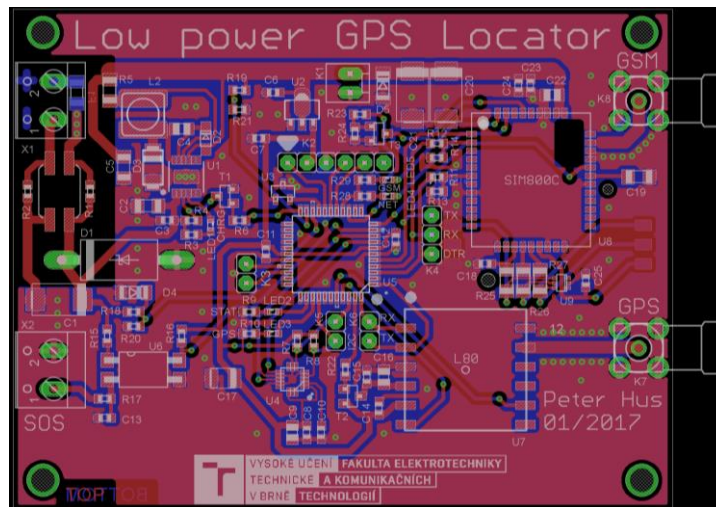
Schému zapojenia GSM modulu vychádzajúcu z katalógového listu [10] je možné vidieť na obr. 5.9. Tranzistor T3 riadi zapínanie a vypínanie modulu privedením brány PWRKEY na nízku logickú úroveň. Kondenzátor C25 slúži na blokovanie napájania pre SIM kartu, C18 redukuje vysokofrekvenčné rušenie. Rezistory R25 až R27 spolu s transilom U9 slúžia ako ESD ochrana. Kondenzátor C19 slúži ako záložný zdroj energie pre interný RTC modul v prípade krátkeho výpadku napájania. Pri vysielaní dosahuje prúdový odber špičkovo až 2 A, preto sú použité kondenzátory C20 a C21 s nízkym sériovým odporom a dostatočnou kapacitou a kondenzátory C22 až C24 pre elimináciu vysokofrekvenčného rušenia. Zenerova dióda D5 chráni modul v prípade prepätia. Dióda LED4 indikuje, či je modul registrovaný v GSM sieti a dióda LED5 zobrazuje, či je modul zapnutý. Pomocou signálu LED_EN je možné povoliť svietenie diód pri ladení programu a v prípade funkčnej prevádzky ich vypnúť pomocou vysokej logickej úrovne s cieľom znížiť prúdovú spotrebu zariadenia. Konektor K8 slúži na pripojenie GSM antény, ktorá je nevyhnutná pre funkčnosť modulu.



Obr. 5.9 Schéma zapojenia GSM modulu SIM800C

5.4 Návrh Dosky plošných spojov

Návrh dosky plošných spojov prebiehal v softvéri EAGLE verzia 7.2.0. Snaha bola vytvoriť najmenší obojstranný plošný spoj pri dodržaní všeobecných zásad správneho návrhu a odporúčaní výrobcov jednotlivých integrovaných obvodov a modulov. Napríklad spínaný DC-DC obvod nabíjania U1 je umiestnený čo najďalej od komunikačných modulov a ich antén. Zároveň jeho hlavné prúdové slučky tvorené D3-L2-R5-C5 a U1-L2-R5-C5-C2 sú navrhnuté tak, aby zaberali malú plochu a zároveň sú tienené vrstvou rozliatej medi na spodnej strane dosky. Zemná plocha plní zároveň aj úlohu chladiča a odvádza vzniknuté teplo od obvodu U1. Navrhnutý plošný spoj má rozmery 87 x 66 mm a je zobrazený na obr. 5.10.

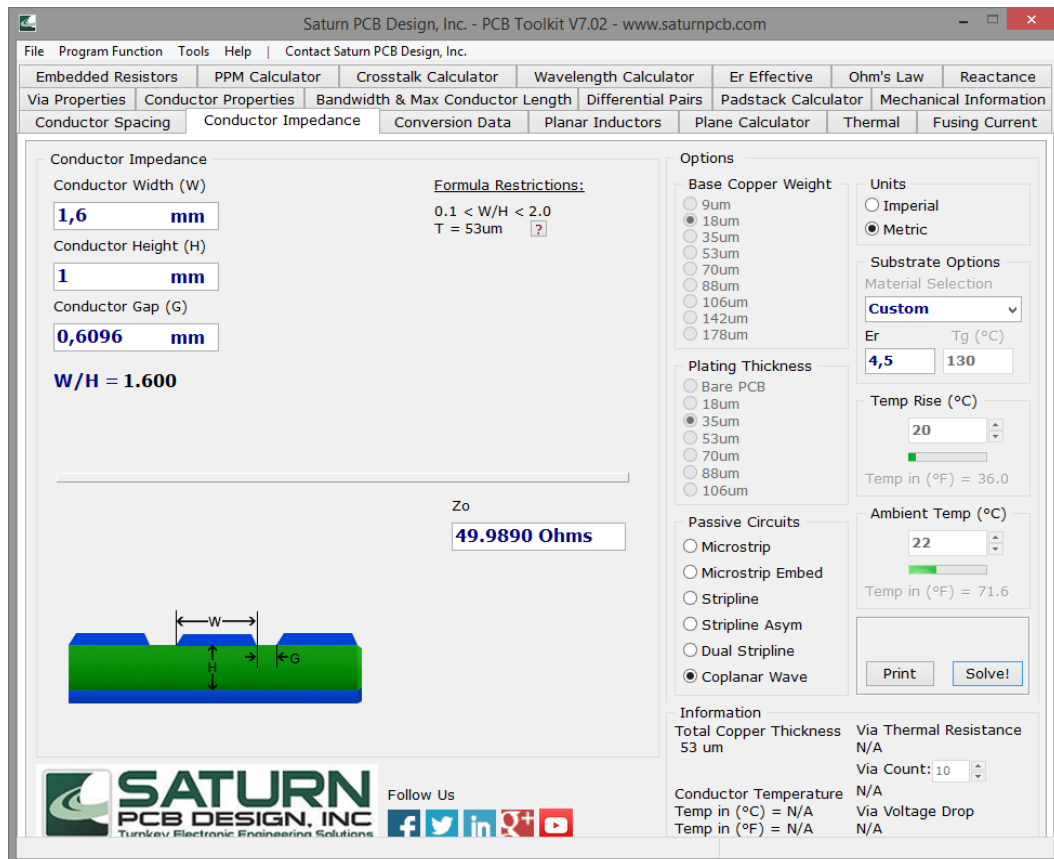


Obr. 5.10 Navrhnutá doska plošných spojov v programe EAGLE

Pre kvalitný príjem GPS signálu a komunikáciu GSM modulu je dôležité správne navrhnuť anténne vedenie od konektorov k modulom. Impedancia antén, konektorov a vstupných obvodov modulov je 50Ω . Aby nevznikali odrazy a rušenia signálu, je potrebné rovnakú impedanciu dodržať aj pri anténnom vedení na doske plošných spojov. Zároveň je vhodné, aby dĺžka vedenia bola krátka. Anténne vedenie bolo navrhované v programe Saturn PCB design, ako je možné vidieť na obr. 5.11. Zvolené bolo koplánárne tienené vedenie, ktoré umožňovalo pri rovnako širokej ceste vedenia použiť hrubší substrát, ako napríklad mikropáskové vedenie.

Po ukončení návrhu boli vygenerované gerber dáta, ktoré boli odoslané spoločnosti Seedstudio na výrobu. Parametre plošného spoja:

- počet vrstiev: 2
- dielektrikum: FR-4 TG130
- hrúbka DPS: 1 mm
- hrúbka medenej vrstvy: $35 \mu\text{m}$
- nespájková maska: červená
- povrchová úprava: HASL
- rozlíšenie čiara/medzera: $152/152 \mu\text{m}$

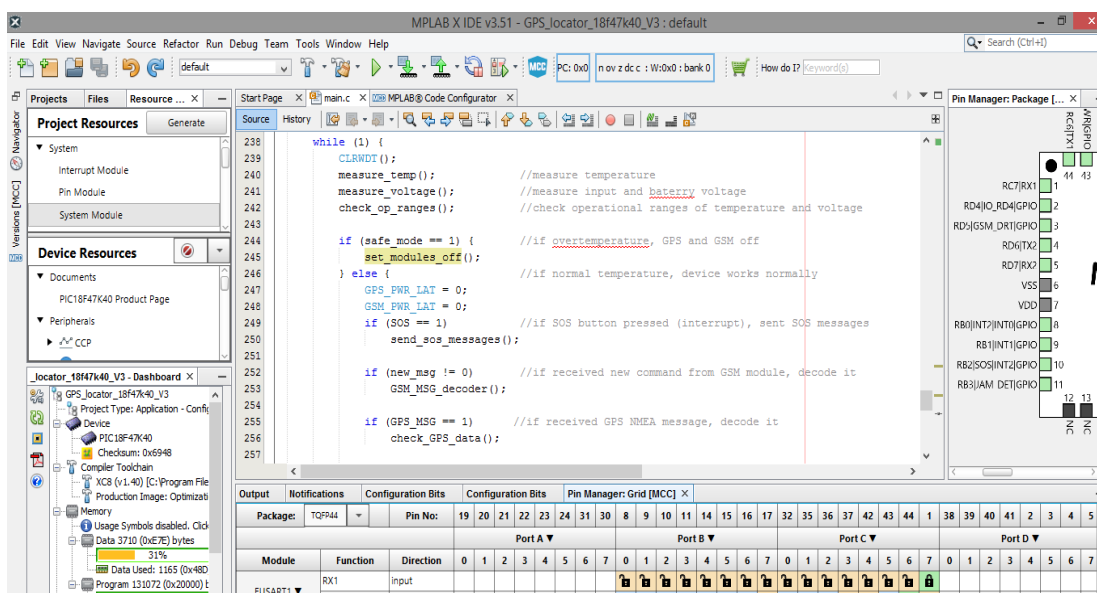


Obr. 5.11 Návrh anténneho vedenia v programe Saturn PCB design

6 TVORBA PROGRAMOVÉHO VYBAVENIA

Táto kapitola popisuje tvorbu programového vybavenia pre riadiaci mikrokontrolér 18F47k40 od spoločnosti Microchip, vysvetľuje jeho fungovanie a popisuje funkcie zabezpečovacieho zariadenia.

Programové vybavenie bolo vytvorené vo vývojovom prostredí MPLAB X IDE v3.51 za využitia nástroja MPLAB Code Configurator v3.26.2 určeného na konfiguráciu a tvorbu nízkoúrovňového kódu pre obsluhu periférií. Jeho používateľské rozhranie je možné vidieť na obr. 6.1. Použitý bol kompilátor XC8 verzia 1.40 určený pre jazyk C. Pre programovanie a ladenie bol použitý programátor PICkit 3.



Obr. 6.1 Používateľské rozhranie programu MPLAB X

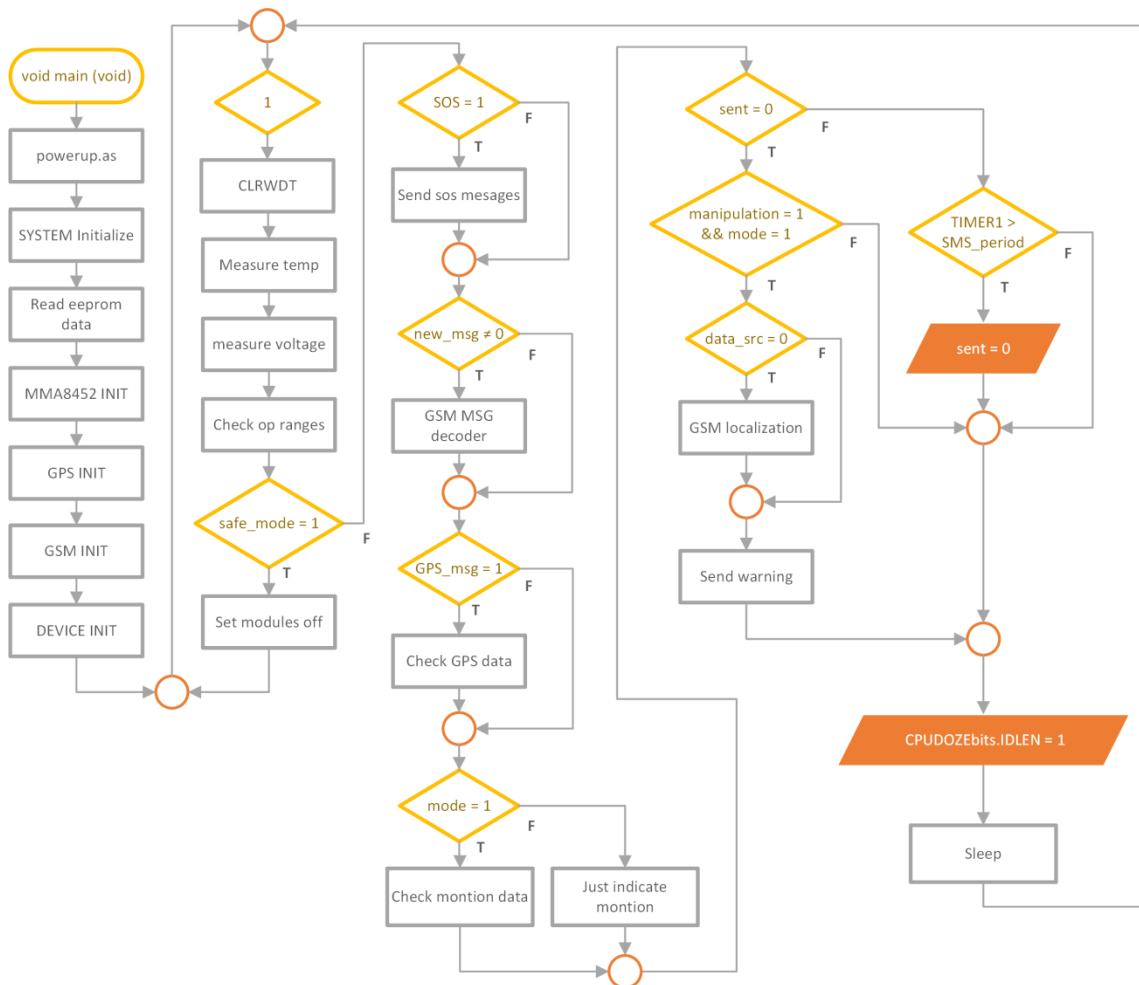
6.1 Štruktúra programu

Program obsahuje inicializáciu, hlavnú slučku programu a pseudoparalelne sa vykonáva kód obsluhujúci zdroje prerušení. Zdroje prerušení sú obe komunikačné rozhrania sériovej zbernice, I2C rozhranie, časovač Timer1, externé prerušenia pre tlačidlo SOS a výstupy detektorov akcelerometra. Mikrokontrolér je taktovaný interným oscilátorom s frekvenciou 8 MHz a výsledný výpočtový výkon je 2 MIPS. Obvod dohľadu, inak nazývaný watchdog, je taktovaný sekundárnym nízkofrekvenčným oscilátorom s deličom pre výslednú periódu približne 16 sekúnd. Časovač Timer1 je nastavený na generovanie prerušenia každých 0,5 sekundy.

Obe sériové komunikačné rozhrania obsahujú vstupný kruhový zásobník, do ktorého sa prijímajú všetky dáta prenášané zbernicou. Ten je v prípade GSM modulu 128 bitový a pre GPS modul má veľkosť 256 bitov. Následne sa potrebné dáta a správy kopírujú do sekundárných zásobníkov, aby nedošlo k ich prepísaniu skôr, než stihnú byť mikrokontrolérom spracované. Zbernica I2C je využitá iba pri nastavení detektorov akcelerometra, preto nepotrebuje žiadny veľký zásobník na prijaté dáta ani špeciálnu obsluhu.

Ako je možné vidieť na vývojovom diagrame obr. 6.2, program začína procesom powerup.as, kde je potrebné kvôli chybe na výrobnnej sérii mikrokontrolérov s označením A2 nastaviť bit NVMREG na správnu hodnotu, aby ukazoval na korektné miesto v pamäti. Bez tohto kroku by mikrokontrolér nepracoval správne. Podobne je potrebné dbať na jeho správnu hodnotu aj pri zápise a čítaní dát z eeprom. [17] Nasleduje inicializácia systému, kde sa nakonfiguruje celý mikrokontrolér. Nastavia sa správne vstupno-výstupné brány aj s priradením periférií, oscilátor, prerušenia, nakonfigurujú sa periférne obvody a nepoužívané periférie sa kvôli úspore energie vypnú. Touto užitočnou funkciou sa dá ušetriť vyše 0,35 mA.

Následne sa načítajú dáta z eeprom pamäte, kde na adrese 0x00 je uložený predchádzajúci stav zariadenia, na adresách 0x10, 0x20 a 0x30 sú uložené telefónne čísla s predvoľbou bez znaku + alebo 00. Na adrese 0x40 je názov APN pripojenia do GPRS siete, ktorá je potrebná na zistenie polohy pomocou GSM modulu. Na nevyužitých miestach v pamäti eeprom musia byť do adresy 0x50 hodnoty 0x00 pre korektné načítanie dát.



Obr. 6.2 Vývojový diagram programu pre mikrokontrolér 18F47k40

Nasleduje inicializácia akcelerometra, kde sa nastaví príslušné detektory na snímanie pohybu a pokračuje sa konfiguráciou GPS a GSM modulov. Následne sa inicializujú dôležité premenné a program sa dostáva do nekonečnej slučky. V tomto bode začína program aj po prebudení mikrokontroléra prerušením z úsporného režimu.

Ako prvé sa vynuluje časovač obvodu dohľadu, následne sa pomocou A/D prevodníku odmeria okolitá teplota, napätie vstupu a internej batérie. Údaje sa porovnávajú so zadanými hodnotami pracovných rozsahov a v prípade ich prekročenia je odoslaná informačná SMS správa. Ak je prekročený teplotný rozsah, nastaví sa premenná `safe_mode = 1`, odošle sa SMS a moduly sa vypnú za účelom ich ochrany. Program čaká, až kým teplota neklesne na povolenú hodnotu, potom moduly opäť zapne a zariadenie vykoná reštart, po ktorom sa uvedie do pôvodného stavu.

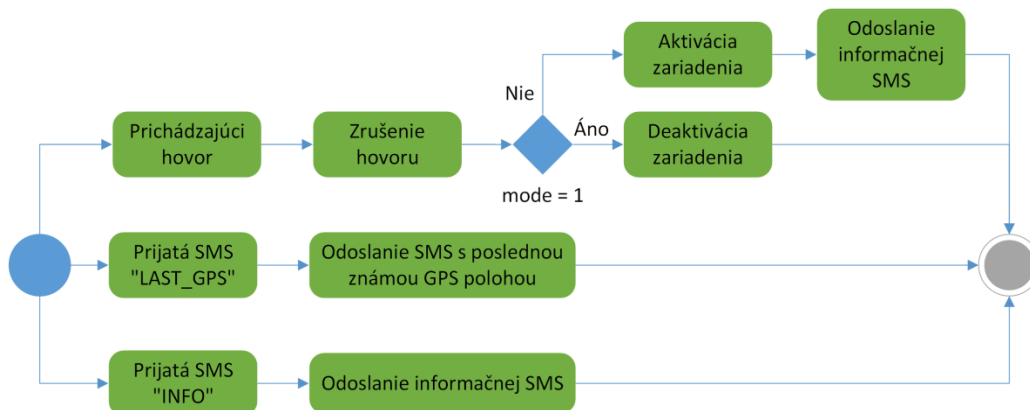
V prípade povoleného teplotného rozsahu program kontroluje premennú SOS, či nie je potrebné odoslať správu so žiadosťou o pomoc s aktuálnymi GPS súradnicami. Ďalej sa kontrolujú registre `new_msg` a `GPS_msg`, či sa v zásobníkoch nenachádza nová správa alebo príkaz od komunikačných modulov. Ak áno, sú volané funkcie, ktoré správy dekodujú a v prípade potreby z nich extrahujú potrebné informácie.

Ak premenná `mode = 0`, zariadenie je deaktivované a detekcia pohybu je zobrazovaná na LED dióde, bez ďalšej akcie. V prípade, že `mode = 1`, kontroluje sa počet detekovaných otrasov za nastavený časový úsek a vyhodnocuje sa, či nedošlo k manipulácii s vozidlom alebo jeho pohybu. Ak áno, nastaví sa príslušné registre a kontroluje sa, či už bola odoslaná SMS (`sent = 0`). Ak nie a `data_src = 0`, znamená to, že GPS nenašlo polohu, preto sa volá funkcia na zistenie polohy pomocou GSM siete a odošle sa informačná SMS. Ak pohyb stále trvá, po prekročení nastavenej hodnoty opakovacej periódy je informačná správa odoslaná opäť. Na konci slučky sa mikrokontrolér uvedie do úsporného režimu a čaká na prebudenie zdrojom prerušenia.

6.2 Implementované funkcie

Ako už bolo spomínané v predchádzajúcej kapitole, pokiaľ dôjde k prekročeniu povoleného rozsahu pracovnej teploty, zariadenie odošle informačnú správu s textom „Out of Temp. range!“. Moduly sa vypnú a čakajú, kým sa teplota opäť vráti do povoleného rozsahu, potom sa celé zariadenie reštartuje. Mikrokontrolér kontroluje aj optimálnu teplotu pre nabíjanie záložného akumulátora. Ak sa nachádza mimo povolený rozsah, nabíjací obvod je vypnutý. Informačná SMS je odoslaná aj v prípade poklesu vstupného napájania, konkrétne s textom „No power supply!“ a v prípade vybitého záložného akumulátora je odoslaná správa „LOW battery!“. V prípade, že zariadenie nemá externé napájanie, je pre úsporu energie vypnutá signalizácia stavu zariadenia pomocou LED diód.

Interakcia so zariadením je možná na základe prezvonenia alebo pomocou SMS správy z uloženého čísla, ako je vyobrazené na obr. 6.3.



Obr. 6.3 Možnosti užívateľskej interakcie so zabezpečovacím zariadením

Do zariadenia je možné uložiť 3 telefónne čísla, prvé je primárne a zvyšné sú sekundárne. Na primárne telefónne číslo chodia všetky SMS, na sekundárne chodia iba SMS po aktivovaní zabezpečovacieho zariadenia a správy na základe dotazu „INFO“ alebo „LAST_GPS“. Príkaz INFO vráti informačnú SMS a LAST_GPS vráti poslednú zaznamenanú GPS polohu späť na číslo odosielateľa. Zariadenie sa aktivuje a deaktivuje pomocou prezvonenia zo známeho čísla. Spracovanie príkazu je signalizované prijatím a okamžitým zrušením hovoru. Stlačením tlačidla SOS je odoslaná správa so žiadosťou o pomoc a aktuálnou polohou na všetky uložené čísla. Každá SMS, ktorá je odosielaná modulom obsahuje súradnice s polohou a internetový odkaz pre zobrazenie polohy na online mapách.

Ak je zariadenie deaktivované, zaznamenanie otrasov alebo pohybu je iba zobrazované na signalizačnej LED, bez ďalšej akcie. V prípade, že je zariadenie aktivované, zisťuje sa počet otrasov zaznamenaných za nastavený časový úsek a tým sa vyhodnocuje, či došlo iba k manipulácií s vozidlom, alebo je vozidlo v pohybe. Pri absencii GPS signálu sa zistí približná poloha pomocou GSM modulu a odošle sa správa s textom „Manipulation with vehicle!“ alebo „Vehicle in motion!“ spolu s údajmi o polohe, čase a napätíach vstupu a akumulátora. Súradnice sú vo formáte xx+xx.xxxx ak sú zistené pomocou GPS modulu, v prípade formátu xx.xxxxxx bola poloha zistená približne pomocou GSM siete. Ak je s vozidlom stále manipulované, alebo je stále v pohybe, SMS s novými údajmi sa odosielajú každých 30 sekúnd.

Modul GPS je za normálnych okolností v režime „AlwaysLocate“, ktorý automaticky riadi prúdovú spotrebu podľa rýchlosti pohybu vozidla a tým znižuje príkon zariadenia. Je to ale na úkor zníženej presnosti a dlhšieho času zistenia polohy po strate signálu. V princípe sa modul zapína na pár sekúnd a potom sa opäť na určitú dobu prepne do úsporného režimu. Ak zariadenie zistí, že je vozidlo v pohybe, GPS modul je nastavený späť do režimu maximálnej citlivosti a presnosti. Po následnej deaktivácii zariadenia je modul vrátený do úsporného režimu „AlwaysLocate“.

Kvôli šetreniu energie je GSM modul po každom spracovanom príkaze nastavovaný do najúspornejšieho režimu, v ktorom ešte dokáže prijímať hovory a SMS správy.

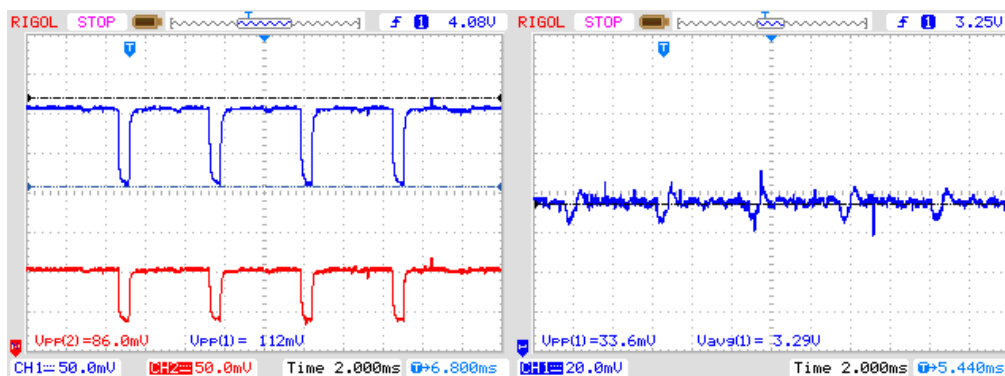
7 TESTOVANIE

Táto kapitola popisuje priebeh oživovania navrhnutého zariadenia a jeho testovania, ktoré bolo zamerané na overenie kvality návrhu dosky plošných spojov, spoľahlivosti firmvéru a funkčnosti.

7.1 Oživovanie zariadenia

Prvé spustenie prebiehalo na laboratórnom zdroji s nastaveným prúdovým limitom na 100 mA. Po pripojení napätia na vstup od batérie zariadenie nevykazovalo žiadne abnormality, preto bol do obvodu zapojený záložný Li-Ion akumulátor. Následne sa proces opakoval, tentokrát už s privedením napájania na vstup zariadenia a skúmala sa činnosť nabíjacieho obvodu.

Po zapnutí zariadenia sa GSM modul začne automaticky registrovať do mobilnej siete a komunikovať s najbližšou BTS stanicou. Osciloskopom bola preverená kvalita navrhnutého rozvodu a filtrácie napájania. Výsledok merania je možné vidieť na obr. 7.1. V ľavej časti obrázka je zobrazený pokles úrovne napájania pri komunikácii GSM, modrá predstavuje pokles napätia meraný na vstupe komunikačného modulu, červená zobrazuje napätie merané na svorkách akumulátora. V odporúčanom zapojení katalógového listu sa uvádza pokles napätia do 350 mV. [10] Maximálny nameraný úbytok napätia bol 112 mV na vstupe vysielacieho modulu a 33,6 mV na napájacej vetve 3,3 V, ako je vyobrazené v pravej časti obr. 7.1.

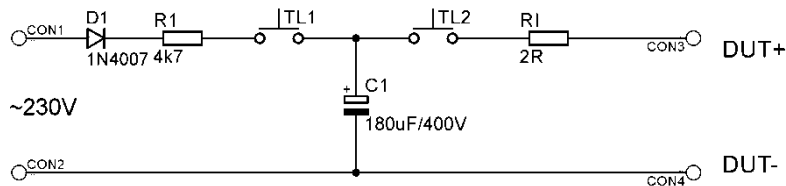


Obr. 7.1 Meranie poklesu napájacieho napätia pri komunikácii GSM, vľavo CH1 vstup GSM modulu, CH2 batéria a vpravo CH1 vstup mikrokontroléra

7.2 Test prepät'ovej ochrany

Kompletným testom pre automotive zariadenia, konkrétne testom prechodných dejov na prívodných vodičoch sa venuje norma ISO 7637-2. [18] V nej sú popísané testovacie priebehy napätí, ich tvary, parametre a počet opakovaní. Tieto testy vyžadujú špeciálny generátor testovacích priebehov, ktorý ale nebol k dispozícii. Preto boli vykonané aspoň testy pomocou testovacích pulzov 2a, 3b, ktoré majú priebeh podobný vybíjaniu kondenzátora a simulujú náhle prerušenie prúdu zariadenia zapojeného paralelne k testovanému zariadeniu. Pulzy vznikajú kvôli indukčnosti káblového zväzku. Tento

test prepäťovej ochrany je možné jednoducho vykonať bez použitia špeciálneho generátora pomocou zapojenia zobrazeného na obr. 7.2.



Obr. 7.2 Zapojenie na testovanie prepäťovej ochrany zariadenia

Tab. 7.1 zobrazuje parametre testovacieho pulzu 2a podľa normy ISO 7637-2. Pre tento typ testu je určený minimálny počet opakovaní 5000 pulzov. Pre overenie funkčnosti prototypu bolo v tomto prípade aplikovaných len pár desiatok pulzov v rozmedzí 37 až 105 V.

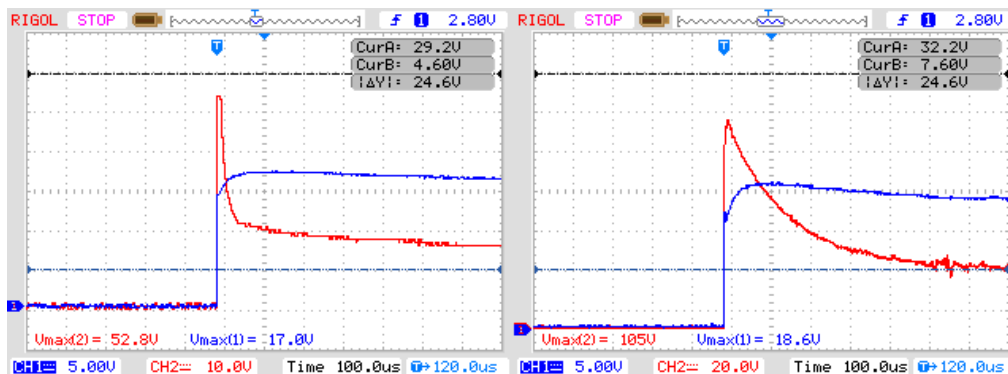
Tab. 7.1 Parametre testovacieho pulzu 2a podľa normy ISO 7637-2 [18]

Parameter	12 V system	24 V system
U_s	+ 37 V to + 50 V	
R_i	2 Ω	
t_d	0,05 ms	
t_r	$\left(1_{-0,5}^0\right) \mu\text{s}$	
t_1^a	0,2 s to 5 s	

Energii testovacích impulzov je možné vypočítať zo vzťahu pre výpočet energie nabitého kondenzátora. V prípade, že sa kondenzátor nevybije úplne, je potrebné odpočítať energiu, ktorá v ňom zostala.

$$E_p = \frac{1}{2} * C * (U_N^2 - U_V^2) = \frac{1}{2} * 180\mu\text{F} * (105^2 - 17^2) = 0,97 \text{ J} \quad (7.1)$$

,kde E_p je energia absorbovaného impulzu, C je kapacita kondenzátora, U_N je napätie nabitého kondenzátora a U_V je napätie na kondenzátore po vybití. Testovanie bolo vykonané s maximálnou uvoľnenou energiou takmer 1 J. Záznam priebehov z osciloskopu je možné vidieť na obr. 7.3. Testovanie prebehlo úspešne, prepäťová ochrana sa nezničila a účinne ochránila vstup zariadenia.

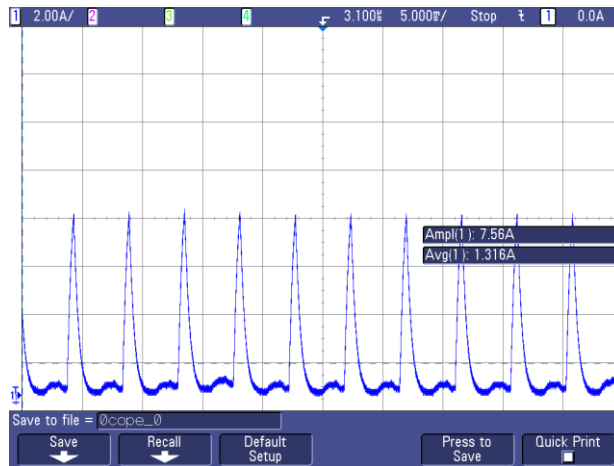


Obr. 7.3 Testovanie vstupu zariadenia na odolnosť voči krátkodobému prepätiu

7.3 Meranie prúdovej spotreby

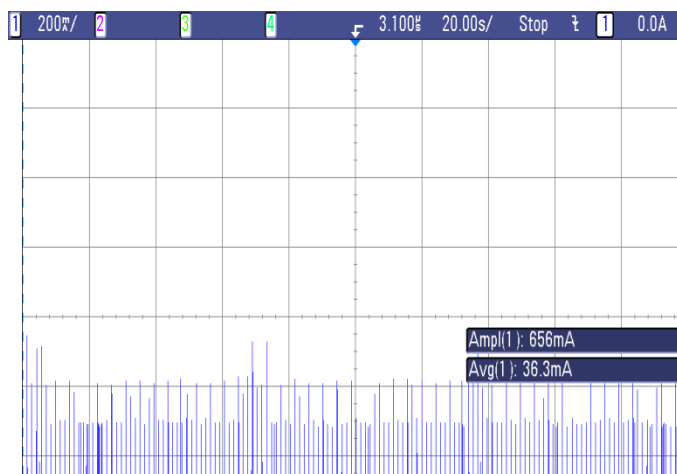
Zariadenie bolo navrhované s dôrazom na minimalizáciu potrebného príkonu. Údaje o prúdovej spotrebe zariadenia sú preto dôležité pre posúdenie kvality navrhovaného zariadenia. Meranie prebiehalo na osciloskope s využitím nízkošumovej aktívnej prúdovej sondy Agilent 1147B. Pre zvýšenie citlivosti a presnosti merania bolo na prúdovú sondu navinutých päť závitov, preto je pre správne údaje potrebné namerané výsledky podeliť číslom 5.

Na obr. 7.4 je možné vidieť prúdovú spotrebu v okamihu prichádzajúceho hovoru s amplitúdou 1,5 A a priemerom 263 mA. Trvanie týchto prúdových impulzov je však len pár desiatok až stoviek milisekúnd.



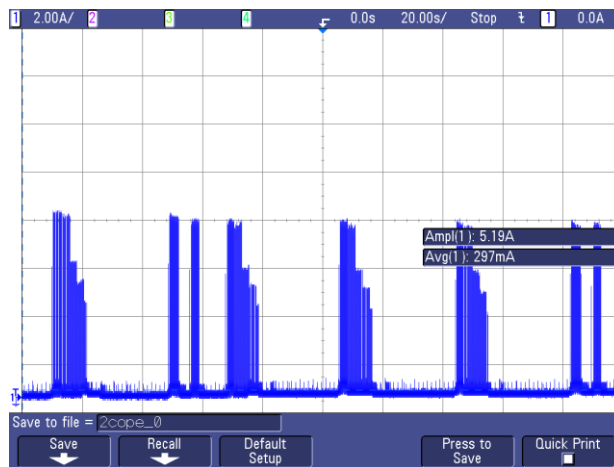
Obr. 7.4 Prúdová spotreba v okamihu prichádzajúceho hovoru

Na obr. 7.5 je možné vidieť prúdovú spotrebu zariadenia v statickom režime. Je vidieť, že GPS modul je v režime „AlwaysLocate“, približne každú minútu sa zapne, zistí či sa poloha nezmenila a znova sa uvedie do úsporného režimu. Krátke impulzy s amplitúdou 131 mA sú produkované GSM modulom, ktorý síce je v úspornom režime, ale pravidelne kontroluje sieť a komunikuje s BTS stanicou, aby bol schopný prijímať SMS správy a hovory. Priemerná spotreba je v tomto prípade 7,26 mA.



Obr. 7.5 Prúdová spotreba v statickom režime

Na obr. 7.6 je možné vidieť prúdovú spotrebu v aktívnom režime pri zisťovaní polohy pomocou GSM modulu a odosielaní SMS správ každých 30 sekúnd. Amplitúda prúdovej spotreby je v tomto prípade 1,04 A s priemernou hodnotou 59,4 mA.



Obr. 7.6 Prúdová spotreba v aktívnom režime a periodickom odosielaní SMS správ

Za prítomnosti GPS signálu, kedy nie je potrebné zisťovať polohu pomocou GSM siete, kde je nutné využívať GPRS pripojenie, sa priemerná prúdová spotreba pohybuje na hodnote okolo 50 mA.

Z výsledkov merania a kapacity použitého akumulátora môžeme stanoviť približnú výdrž zariadenia na záložný akumulátor pri výpadku primárneho zdroja napájania. Ak uvažujeme reálne využitie kapacity batérie približne 80% z nominálnej hodnoty 4400 mA, dostaneme nasledujúce hodnoty, ktoré je možné vidieť v tab. 7.2.

Tab. 7.2 Prúdová spotreba v rôznych režimoch a výdrž zariadenia na záložný akumulátor

Režim zariadenia	Priemerná prúdová spotreba [mA]	Výdrž zariadenia [hod]
statický	7,26	485
neaktívny, dynamický	10-25	141-352
aktívny, GPS lokalizácia, SMS 2x/min	50	70,4
aktívny, GSM lokalizácia, SMS 2x/min	60	58,7

7.4 Testovanie funkčnosti

Záverečné testovanie bolo zamerané na spoľahlivosť programového vybavenia a celkovú spoľahlivosť zabezpečovacieho zariadenia. Skúmané bolo aj nastavenie optimálneho času detekcie a prahu citlivosti pre rozlíšenie manipulácie s vozidlom a pohybu vozidla. Len počas záverečného testovania bolo zariadenie aktivované vyše 50-krát a odoslaných bolo vyše 500 SMS správ, čo je možné vidieť na obr. 7.7. V rámci neho bolo zistených niekoľko nedostatkov súvisiacich predovšetkým s GSM modulom. Napríklad, keď modul prijal SMS správu s príkazom, ktorý dekodoval a snažil sa odoslať odpoveď, niekedy sa správa odoslala, inokedy zasa watchdog spôsobil reštart mikrokontroléra. Bolo zistené, že modul po prijatí SMS správy potrebuje určitý časový

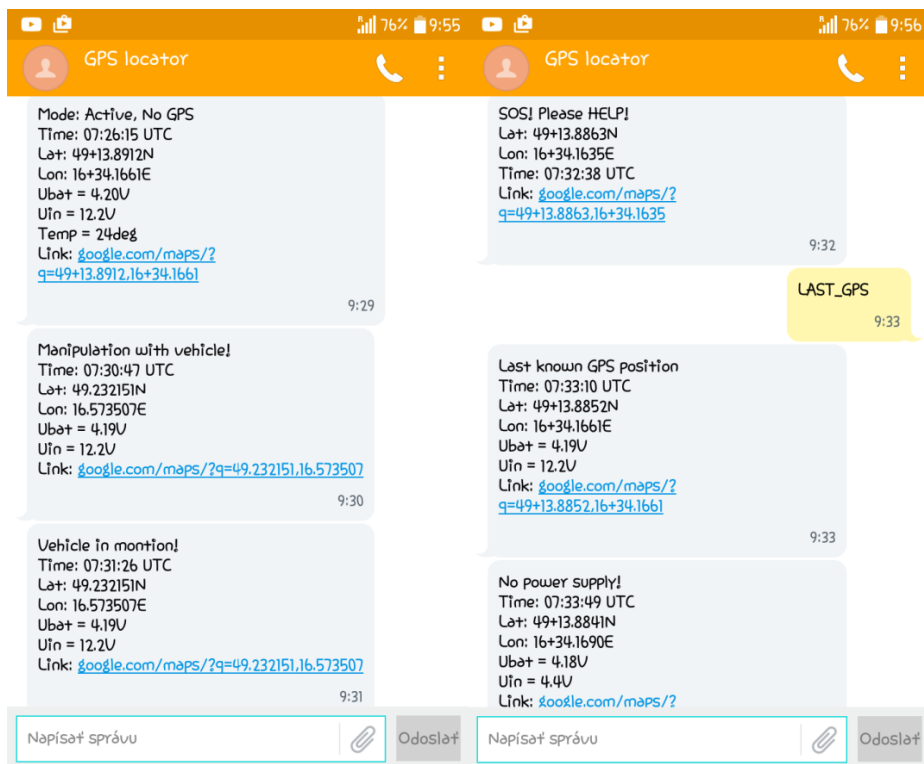
úsek na to, aby dokázal korektné odoslať odpoveď. V prípade, že tento časový úsek neprešiel, modul príkaz na odoslanie SMS sice spracoval, avšak neodoslal a zamrzol. Problém vyriešilo prídanie krátkého časového oneskorenia po prijatí príkazu.

Hovory	
Začiatok zúčtovacieho obdobia:	01.05.17
Príchodzie:	27:54 (6) 21:05:56
Odhádzajúce:	01:23:40 (54) 10:43:20
SMS	
Začiatok zúčtovacieho obdobia:	01.05.17
Príchodzie:	504 1188
Odhádzajúce:	35 195

Obr. 7.7 Spotreba dát počas testovania zabezpečovacieho zariadenia

Ďalší zásadný nedostatok bol, že pravdepodobne pri preťažení mobilnej siete trvala lokalizácia pomocou GSM modulu namiesto jednotiek až desiatky sekúnd, prípadne skončila neúspechom po približne jednej minúte. Výskyt tohto problému je nízky, preto na jeho odhalenie bolo potrebné dlhé testovanie. Riešenie spočívalo v jednoduchom ošetrení daného stavu v programe mikrokontroléra.

Po ošetrení drobných nedostatkov v programovom vybavení bolo zariadenie ďalej testované v rôznych režimoch. Ukážka odosielaných SMS práv je zobrazená na obr. 7.8. Výsledkom testov je, že zariadenie je plne funkčné a spoľahlivé. Výskyt chybových stavov sa blížil k nule, pokiaľ sa ale stane, že dôjde k neočakávanému stavu, prípadne chybe, watchdog reštartuje mikrokontrolér, ten reštartuje komunikačné moduly a zariadenie sa po chvíli vráti do stavu pred reštartom.



Obr. 7.8 Ukážka odosielaných SMS správ zabezpečovacieho zariadenia

Kliknutím na internetový odkaz v SMS správe sa v prípade mobilného operačného systému Android zobrazí poloha vozidla v aplikácii Google maps, ako je možné vidieť na obr. 7.9. Pri použití iného operačného systému sa poloha zobrazí v internetovom prehliadači na stránke Google mapy.



Obr. 7.9 Zobrazenie polohy na Google mapách po kliknutí na odkaz v SMS

8 ZÁVER

Cieľom bakalárskej práce bol návrh nízkopríkonového GPS prijímača, teda zabezpečovacieho sledovacieho zariadenia určeného na sledovanie polohy a stavu motorových vozidiel.

V práci je popísaný systém fungovania globálnej siete mobilných komunikácií a satelitných navigačných systémov, predovšetkým ich využitie pri lokalizácii. Vykonaný bol stručný prieskum domáceho trhu, z ktorého boli stanovené požiadavky na navrhované zariadenie. Na ich základe bol navrhnutý koncept vlastného sledovacieho zariadenia, ktorý kombinuje najlepšie vlastnosti a funkcie jednotlivých zariadení s ohľadom na celkovú náročnosť prevedenia a výslednú cenu.

Veľká pozornosť bola kladená na výber jednotlivých komponentov a súčiastok, nakoľko zariadenie spadá pod kategóriu automotive dizajn. Preto je navrhnuté pre prácu v širokom tepelnom rozsahu a s ohľadom na rušivé vplyvy, ktoré sa vyskytujú v palubnej sieti motorových vozidiel.

Zariadenie riadi mikrokontrolér spoločnosti Microchip PIC 18F47k40, ktorý vyhodnocuje údaje z akcelerometra a GPS modulu, ktoré v prípade potreby odosiela pomocou GSM modulu na mobilný telefón používateľa. Súčasťou zariadenia je záložný Li-Ion akumulátor s dostatočnou kapacitou, zabezpečujúci spoľahlivú funkciu aj v prípade dlhodobého výpadku primárneho zdroja elektrickej energie. Konkrétne 485 hodín v statickom režime a minimálne 58,7 hodín v režime neustáleho sledovania a odosielania informačných SMS správ každých 30 sekúnd. V prípade neprítomnosti alebo rušenia GPS signálu je zistená približná poloha pomocou GSM siete. Rozsah pracovnej teploty zariadenia je v rozmedzí od -40 do 70 °C, teoreticky by zariadenie malo zvládnuť krátkodobé zvýšenie teploty až do hodnoty 125 °C bez trvalého poškodenia.

Výstupom bakalárskej práce je plne funkčný prototyp zabezpečovacieho zariadenia, ktorý je dostatočne otestovaný a po vhodnom zapuzdrení bude pripravený na inštaláciu do motorového vozidla na dlhodobé používanie.

LITERATÚRA

- [1] HEINE, G. *GSM networks: protocols, terminology, and implementation*. Boston: Artech House, 1998. ISBN 0890064717.
- [2] KREJČÍŘÍK, A. *SMS: střežení a ovládání objektů pomocí mobilu a SMS : GSM pagery a alarmy : princip použití, návody, příklady*. Praha: BEN - technická literatura, 2004. ISBN 8073000822.
- [3] SNÁŠEL, J. *Jak určit polohu mobilního telefonu* [online]. In: . 2004 [cit. 2016-10-09]. Dostupné z: <http://www.mobilmania.cz/jak-urcit-polohu-mobilniho-telefonu/a-1107567/>
- [4] CROSLow, A. *The Beginner's Guide to Different Satellite Navigation Systems* [online]. In: . 2013 [cit. 2016-10-05]. Dostupné z: <https://linxtechnologies.com/blog/beginners-guide-satellite-navigation-systems/>
- [5] STEINER, I., ČERNÝ, J. *GPS od A do Z*. 4., aktualiz. vyd. Praha: eNav, 2006. ISBN 8023975161.
- [6] GPS LOKALIZÁTOR KEETEC GPS SNIPER. *Autoalarmy.cz* [online]. [cit. 2016-10-14]. Dostupné z: <http://www.autoalarmy.cz/katalog/gps-lokalizatory/gps-lokalizator-keetec-gps-sniper.html>
- [7] CA-2103 "Athos" GSM/GPS autoalarm. *JABLOTRON* [online]. [cit. 2016-10-14]. Dostupné z: <http://www.jablotron.com/cz/katalog-produktu/autosortiment/zabezpeceni-vozidel/gsm-gps-autoalarmy/ca-2103.aspx>
- [8] GPS lokátor TK-104 (výdrž 60 dní). *SPYobchod.cz* [online]. 2016 [cit. 2016-10-18]. Dostupné z: <http://www.spyobchod.cz/gps-lokator-tk-104-vydrz-60-dni/>
- [9] Linear Technology. LT3650-4.1/LT3650-4.2. *High Voltage 2 Amp Monolithic Li-Ion Battery Charger* [online]. 2009, Datasheet [cit. 2016-10-25]. Dostupné z: <http://cds.linear.com/docs/en/datasheet/36504142fc.pdf>
- [10] SIMCom Wireless Solutions Co., Ltd. SIM800C *quad-band GSM/GPRS module* [online]. 2015, Hardware Design [cit. 2016-11-05]. Dostupné z: https://www.elecrow.com/download/SIM800C_Hardware_Design_V1.02.pdf
- [11] Quectel Wireless Solutions Co., Ltd. Quectel L80. *GPS Module Series* [online]. 2013, Hardware Design [cit. 2016-11-08]. Dostupné z: http://www.quectel.com/uploadimage/downlad/l80_hardware_design_v1.1.pdf
- [12] NXP Semiconductors. MMA8452Q. *3-axis, 12-bit/8-bit digital accelerometer* [online]. 2016, Datasheet [cit. 2016-11-10]. Dostupné z: <http://www.nxp.com/assets/documents/data/en/data-sheets/MMA8452Q.pdf>
- [13] Microchip Technology Inc. MCP9700/9700A. *Low-Power Linear Active Thermistor™ ICs* [online]. 2009, Datasheet [cit. 2016-11-16]. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/21942e.pdf>

- [14] Microchip Technology Inc. PIC18(L)F27/47K40. *28/40/44-Pin, Low-Power, High-Performance Microcontrollers with XLP Technology* [online]. 2016, Datasheet [cit. 2016-11-20]. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/40001844C.pdf>
- [15] Microchip Technology Inc. MCP1700. *Low Quiescent Current LDO* [online]. 2013, Datasheet [cit. 2016-11-23]. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/20001826C.pdf>
- [16] Boston-Power. SwingTM 4400. *Rechargeable Lithium-ion Cel* [online]. 2010, Datasheet [cit. 2017-03-20]. Dostupné z: <http://liionbms.com/pdf/bostonpower/swing4400.pdf>
- [17] Microchip Technology Inc. PIC18F27/47K40. *PIC18F27/47K40 Family Silicon Errata and Data Sheet Clarification* [online]. 2017, Datasheet [cit. 2017-05-04]. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/80000713C.pdf>
- [18] ISO 7637-2:2011: Road vehicles -- Electrical disturbances from conduction and coupling -- Part 2: Electrical transient conduction along supply lines only. 2011

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obr. 1.1 Bunková štruktúra BTS staníc v sieti GSM, [1].....	9
Obr. 1.2 Štruktúra mobilnej siete GSM, [1]	10
Obr. 1.3 Princíp triangulácie bez využitia parametra TA (vľavo) a s využitím parametra TA (vpravo), [3]	11
Obr. 1.4 Princíp fungovania diferenciálneho GNSS príjmu	12
Obr. 2.1 Zabezpečovacie zariadenie Jablotron CA-2103, [7].....	14
Obr. 2.2 Sledovacie zariadenie GPS TK-104, [8].....	15
Obr. 3.1 Bloková schéma navrhovaného nízkopríkonového GPS prijímača	16
Obr. 4.1 Prúdová spotreba GPS modulu L80 v režime AlwaysLocate, [11].....	20
Obr. 5.1 Schéma zapojenia vstupného filtra s nabíjajúcim obvodom akumulátora.....	24
Obr. 5.2 Schéma zapojenia regulátora pre výstupné napätie 3,3 V	25
Obr. 5.3 Schéma zapojenia mikrokontroléra 18F47k40	25
Obr. 5.4 Zapojenie programovacieho konektora pre programátor PICkit 3	26
Obr. 5.5 Schéma zapojenia akcelerometra MMA8452Q.....	26
Obr. 5.6 Zapojenie teplotného senzora MCP9700.....	27
Obr. 5.7 Schéma zapojenia SOS tlačidla a napáťových deličov pre meranie napätia	27
Obr. 5.8 Schéma zapojenia GPS modulu L80	28
Obr. 5.9 Schéma zapojenia GSM modulu SIM800C.....	28
Obr. 5.10 Navrhnutá doska plošných spojov v programe EAGLE	29
Obr. 5.11 Návrh anténneho vedenia v programe Saturn PCB design.....	30
Obr. 6.1 Používateľské rozhranie programu MPLAB X	31
Obr. 6.2 Vývojový diagram programu pre mikrokontrolér 18F47k40	32
Obr. 6.3 Možnosti užívateľskej interakcie so zabezpečovacím zariadením	34
Obr. 7.1 Meranie poklesu napájacieho napätia pri komunikácii GSM, vľavo CH1 vstup GSM modulu, CH2 batéria a vpravo CH1 vstup mikrokontroléra.....	35
Obr. 7.2 Zapojenie na testovanie prepäťovej ochrany zariadenia	36
Obr. 7.3 Testovanie vstupu zariadenia na odolnosť voči krátkodobému prepätiu	36
Obr. 7.4 Prúdová spotreba v okamihu prichádzajúceho hovoru.....	37
Obr. 7.5 Prúdová spotreba v statickom režime	37
Obr. 7.6 Prúdová spotreba v aktívnom režime a periodickom odosielaní SMS správ ...	38
Obr. 7.7 Spotreba dát počas testovania zabezpečovacieho zariadenia	39
Obr. 7.8 Ukážka odosielaných SMS správ zabezpečovacieho zariadenia.....	39
Obr. 7.9 Zobrazenie polohy na Google mapách po kliknutí na odkaz v SMS	40

ZOZNAM TABULIEK

Tab. 2.1 Porovnanie parametrov a funkcií dostupných sledovacích a zabezpečovacích zariadení na domácom trhu	13
Tab. 4.1 Porovnanie dostupných GSM modulov	19
Tab. 4.2 Porovnanie dostupných GPS modulov	19
Tab. 4.3 Porovnanie niektorých dostupných 8-bitových mikrokontrolérov	22
Tab. 4.4 Porovnanie dostupných LDO regulátorov	23
Tab. 7.1 Parametre testovacieho pulzu 2a podľa normy ISO 7637-2 [18]	36
Tab. 7.2 Prúdová spotreba v rôznych režimoch a výdrž zariadenia na záložný akumulátor	38

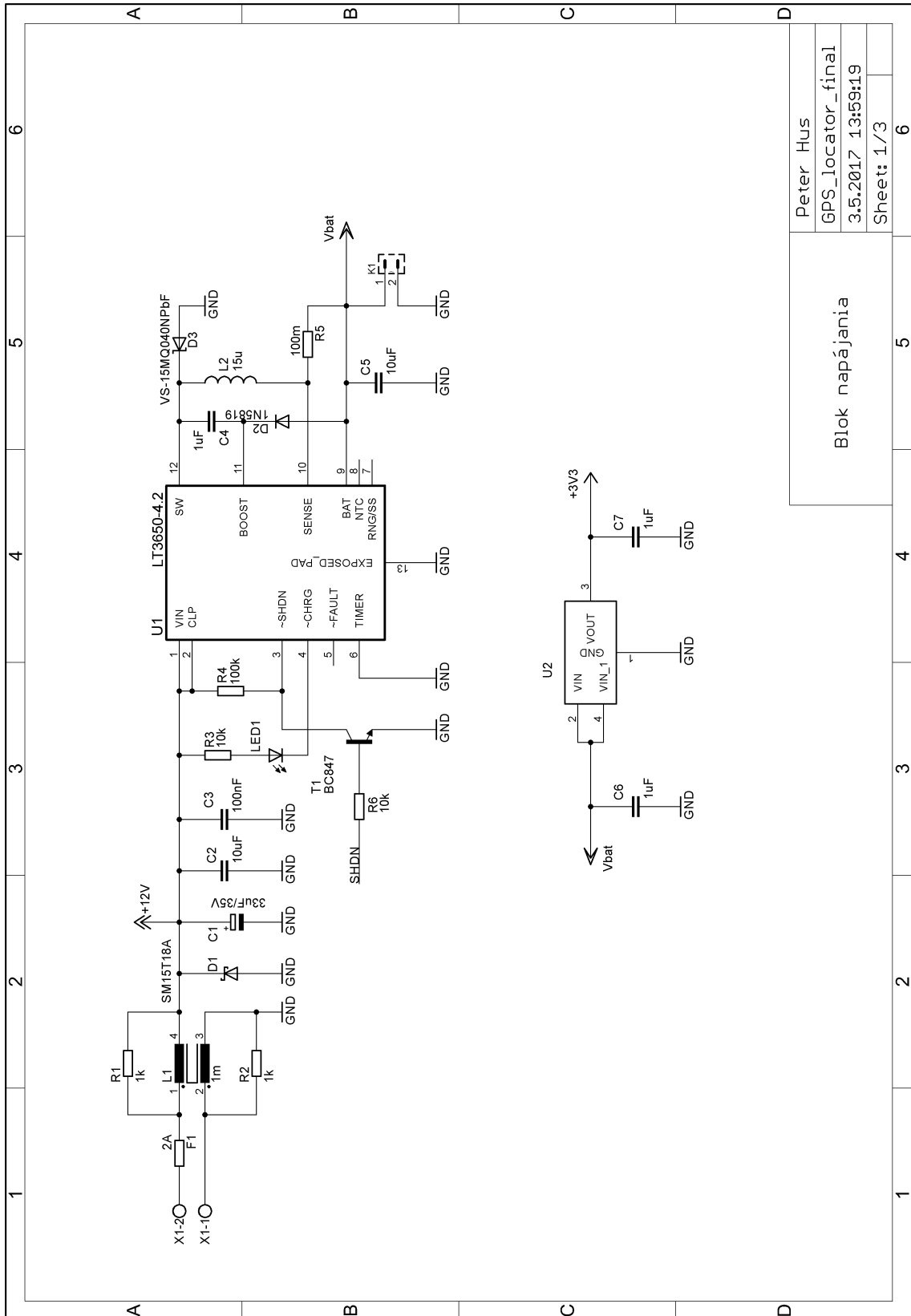
ZOZNAM SYMBOLOV, VELIČÍN A SKRATIEK

A/D	Analog/Digital – prevodník analóg na digitál
A-GPS	Assisted GPS – asistovaná GPS
AIC	Active Interference Cancellation – obvod na potlačenie šumu
BSC	Base Station Controller – základňová riadiaca jednotka
BOR	Brown Out Reset – reset mikrokontroléra pri poklese napätia
BSS	Base Station Subsystem – subsystém základňových staníc
BTS	Base Transceiver Station – základňová stanica
CAN	Controller Area Network – komunikačná zbernica používaná v automobiloch
CEPT	European Conference of Postal and Telecommunications Administrations – Európska normalizačná komisia
DCS	Digital Cellular System – GSM pásmo 1800 MHz
EEPROM	Electrically Erasable PROM – elektricky mazateľná pamäť ROM
E-GSM	Extended GSM – rozšírená verzia GSM o 10 MHz
ESD	Electrostatic discharge – elektrostatický výboj
EIR	Equipment Identity Register – register identity mobilných staníc
EUSART	Enhanced Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter – sériová komunikačná zbernica
GLONASS	rusky „Global Navigation Satellite System“
GNSS	Global Navigation Satellite System – globálny navigačný satelitný systém
GPRS	General Packet Radio Service – paketové prenosy v GSM sieti a IS-136
GPS	Global Positioning System – satelitný navigačný systém USA
GSM	Global System for Mobile Communication – globálny systém mobilných komunikácií
HASL	Hot Air Solder Leveling – povrchová úprava plošného spoja
HLR	Home Location Register – domovský lokalizačný register
I2C	Inter-Integrated Circuit – sériová komunikačná zbernica
IRNSS	Indian Regional Navigation Satellite System - satelitný navigačný systém Indie
LDO	Low-dropout - napäťový regulátor s nízkym úbytkom napätia
LNA	Low-noise Amplifier – nízkošumový zosilňovač
MEMS	Micro-Electro-Mechanical Systems – mikromechanická štruktúra na čipe
MIPS	Million Instruction Per Second – počet inštrukcií za sekundu v miliónoch
MS	Mobile Station – mobilná stanica

MSC	Mobile services Switching Center – mobilná ústredňa
MSOP	Mini Small-Outline Package – SMD puzdro integrovaných obvodov
PCS	Personal Communications Service – GSM pásmo 1900 MHz
PLL	Phase-locked Loop – slučka fázového závesu
PROM	Programmable Read-Only Memory – programovateľná pamäť ROM
ROM	Read-Only Memory – pamäť len na čítanie
QFN	Quad Flat No-leads – SMD puzdro integrovaných obvodov
QZSS	Quasi-Zenith Satellite System – satelitný navigačný systém Japonska
RNSS	Regional Navigation Satellite System – regionálny navigačný satelitný systém
SIM	Subscriber Identity Module – účastnícka identifikačná karta
SMS	Short Message Services – krátka textová správa
SOT	Small-outline transistor – SMD puzdro tranzistoru
SPI	Serial Peripheral Interface – sériová komunikačná zbernica
TA	Timing Advance – časový údaj oneskorenia signálu
TQFP	Thin Quad Flat Package – SMD puzdro integrovaných obvodov
TRAU	Transcoding Rate and Adaptation Unit – riadi efektivitu GSM prenosu
UART	Universal Asynchronous Receiver Transmitter – komunikačná zbernica
VLR	Visitor Location Register – návštevnícky lokalizačný register
WDT	Watchdog Timer – obvod dohľadu generujúci reset mikrokontroléru
XLP	eXtreme Low Power – technológia spoločnosti Microchip pre nízku spotrebu elektrickej energie

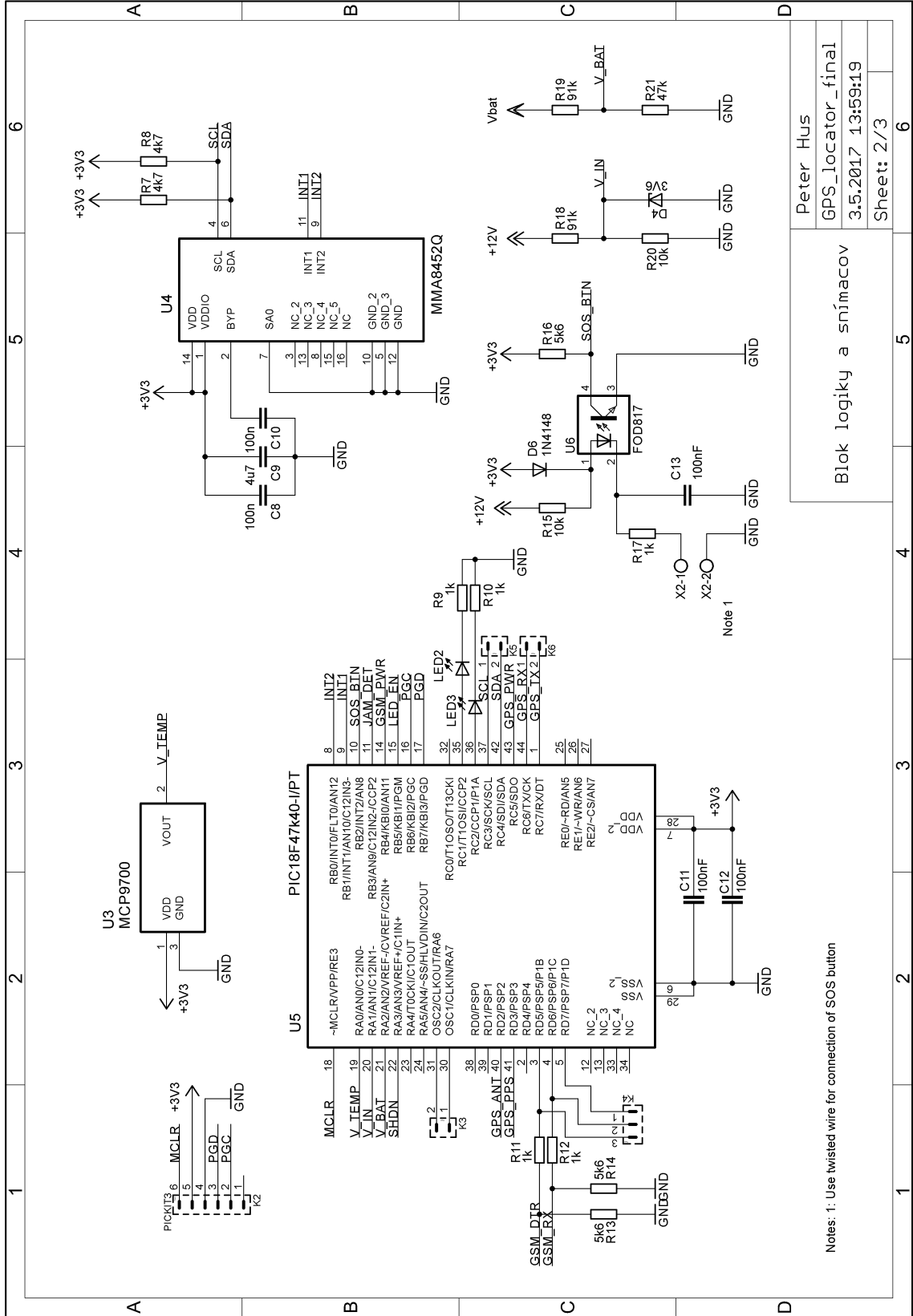
PRÍLOHY

Schéma zapojenia napájacieho bloku



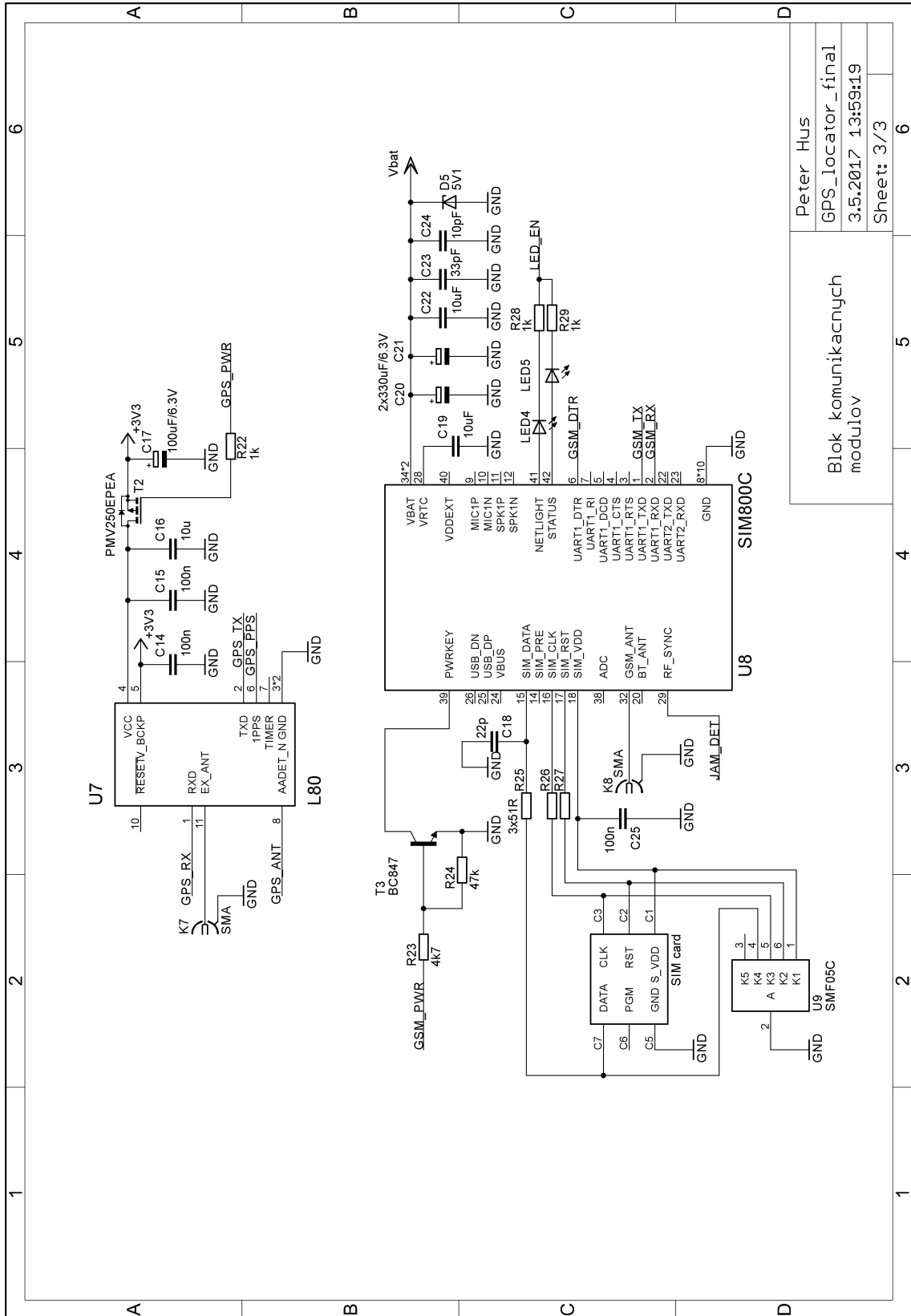
Blok napájania	Peter Hus	6
	GPS_locator_final	5
	3.5.2017 13:59:19	4
	Sheet: 1/3	1

Schéma zapojenia bloku logiky a snímačov



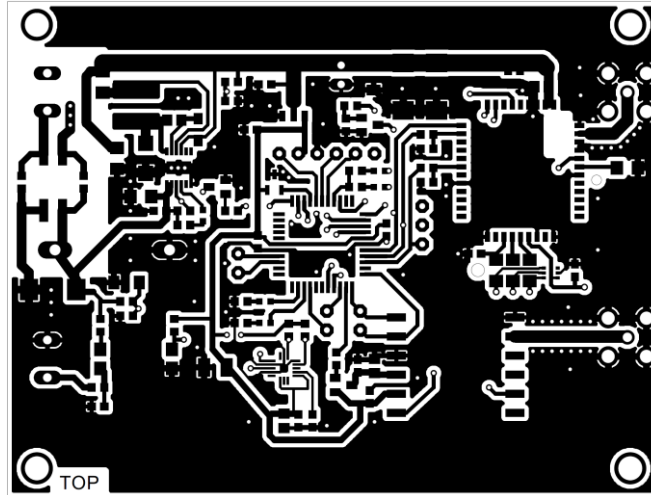
Blok logiky a snímačov	Peter Hus
3.5.2017 13:59:19	GPS_locator_final
Sheet: 2/3	6

Schéma zapojenia bloku komunikačných modulov

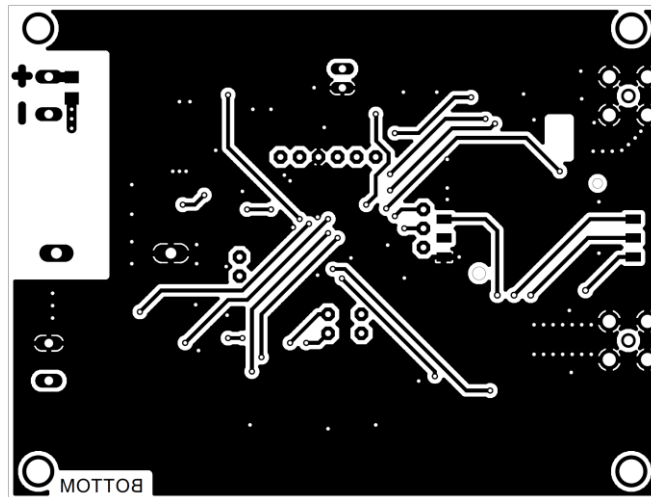


Blok komunikacnych modulov	Peter Hus
GPS_locator_final	3.5.2017 13:59:19
Sheet: 3/3	6

Plošný spoj, predná strana



Plošný spoj, zadná strana



Vyhotovený prototyp zabezpečovacieho zariadenia

