



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

MINIATURNÍ ZAŘÍZENÍ PRO SLEDOVÁNÍ POLOHY

MINIATURE TRACKING DEVICE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Radek Štáva

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Ladislav Macháň

BRNO 2016

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Mikroelektronika**

Ústav mikroelektroniky

Student: Bc. Radek Štěpán

ID: 146113

Ročník: 2

Akademický rok: 2015/16

NÁZEV TÉMATU:

Miniaturní zařízení pro sledování polohy

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Vytvořte miniaturní zařízení, jehož účelem bude sledování pohybu osob, domácích zvířat nebo majetku. Na zařízení jsou kladeny tyto požadavky: odolnost proti vniknutí vody a prachu, odolnost proti nárazu, integrovaný akumulátor s možností bezdrátového dobíjení, kompaktní rozměry.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího práce.

Termín zadání: 8.2.2016

Termín odevzdání: 26.5.2016

Vedoucí práce: Ing. Ladislav Macháň

Konzultant diplomové práce:

doc. Ing. Lukáš Fojcik, Ph.D., *předseda oborové rady*

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové 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

Hlavním tématem diplomové práce je návrh a realizace miniaturního univerzálního sledovacího zařízení. To je určeno především pro sledování majetku, domácích zvířat, popřípadě osob. Pro zjišťování údajů o poloze je použita technologie GPS. Odesílání dat je navrženo a realizováno prostřednictvím GSM sítě. Zařízení je technicky řešeno s ohledem na miniaturní rozměry, vysokou výdrž na baterii a s přihlédnutím k odolnosti proti vniknutí vody, prachu a poškození nárazem. Je zvolena unikátní konstrukce, vhodná pro hermetické uzavření celého zařízení. Tomu je celý návrh přizpůsoben, mimo jiné bezdrátovým nabíjením baterie, absencí tlačítek i veškerých konektorů.

KLÍČOVÁ SLOVA

GPS, GSM, NMEA, MSP430, BLUETOOTH, SMS, BEZDRÁTOVÉ, NABÍJENÍ, SPOTŘEBA, BATERIE, VÝDRŽ, SLEDOVÁNÍ, AT, PŘÍKAZY, QI

ABSTRACT

The main theme of this masters's thesis is to design and make a miniature universal tracking device. This device is primarily for tracking asset, pets or people. For detecting the position data is used GPS technology. Data transmission is carried out via the GSM network. The device is technically solved and realized with respect to miniature size, high battery life and with regard to resistance against water, dust and impact damage. It is selected unique design, suitable for hermetically closure of the entire facility. Due to hermetic closure there is any buttons, any connectors and the battery charging is wireless.

KEYWORDS

GPS, GSM, NMEA, MSP430, BLUETOOTH, SMS, WIRELESS, CHARGING, CONSUMPTION, BATTERY, LIFE, TRACKING, AT, COMMANDS, QI

ŠTÁVA, R. Miniaturní zařízení pro sledování polohy. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav mikroelektroniky, 2016. 56 s., 10 s. příloh. Diplomová práce. Vedoucí diplomové práce: Ing. Ladislav Macháň.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Miniaturní zařízení pro sledování polohy jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové 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 diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu diplomové práce **ing. Ladislavu Macháňovi** za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování diplomové práce a především si cením jeho ochoty kdykoliv pomoci, včetně poskytnutí technického zázemí. Dále děkuji příteli **Bc. Janu Vávrovi** za ochotu kdykoliv pomoci, poradit a poskytnout podporu. V neposlední řadě bych chtěl také poděkovat **Bc. Martině Kostíkové** a všem, kteří byli ochotni pomoci s řešením diplomové práce.



Faculty of Electrical Engineering
and Communication

Brno University of Technology
Technická 12, CZ-61600 Brno, Czech Republic

<http://www.six.feec.vutbr.cz>

Experimentální část této diplomové práce byla realizována na výzkumné infrastruktuře
vybudované v rámci projektu CZ.1.05/2.1.00/03.0072
Centrum senzorických, informačních a komunikačních systémů (SIX)
operačního programu Výzkum a vývoj pro inovace.

Obsah

Úvod.....	9
1 Legislativa ve vztahu ke sledování osob.....	10
2 Přehled komerčně prodávaných řešení.....	11
2.1 Sledování domácích zvířat.....	12
2.2 Sledování dopravních prostředků.....	13
2.3 Sledování pohybu osob.....	14
2.3.1 Hodinky s GPS TK-109.....	14
2.3.2 Přívěsek s GPS lokací.....	15
2.4 Sledování zavazadel, univerzální miniaturní zařízení.....	16
3 Návrh zařízení, volba komponent.....	17
3.1 Hlavní řídicí mikrokontrolér.....	18
3.1.1 Texas Instruments MSP430FR5969.....	18
3.2 Modul GPS.....	19
3.2.1 Quectel L80.....	19
3.3 Modul GSM.....	20
3.3.1 Quectel M66.....	20
3.4 Modul Bluetooth.....	21
3.4.1 Bluetooth HC-05.....	21
3.5 Akcelerometr a další drobné periférie.....	22
3.5.1 Akcelerometr Freescale MMA8453Q.....	22
3.6 Napájecí část.....	22
3.6.1 Řízení nabíjení baterie obvodem TI BQ51050B.....	23
4 Topologie systému, popis konstrukce a řešení.....	24
4.1 Napájecí část zařízení.....	26
4.1.1 Bezdrátové nabíjení – popis technologie.....	27
4.1.2 Návrh bezdrátového nabíjení s obvodem TI bq51050B.....	29
4.1.3 Měření nabíjecího proudu.....	33
4.1.4 Řešení odpojování napětí pro minimalizaci spotřeby v uspaném režimu.....	34
4.2 Zapojení modulu GSM Quectel M66.....	35
4.3 Zapojení vibračního elementu pro smyslovou odezvu lokátoru.....	38
4.4 Zapojení pro měření napětí baterie.....	38
4.5 Zapojení mikrokontroléru MSP430FR5969.....	39
4.6 Zapojení modulu GPS Quectel L80 a bufferu 74ABT125PW.....	40
4.7 Zapojení modulu Bluetooth HC-05.....	40
4.8 Zapojení magnetických spínačů TLE 4913.....	41
4.9 Zapojení akcelerometru MMA8453Q.....	41
4.10 Technologie DPS.....	42
5 Programové vybavení mikrokontroléru.....	43
5.1 Ovládání lokátoru.....	44
5.2 Popis programu po resetu lokátoru (inicializace).....	44
5.3 Přijetí zprávy „Stav“.....	45
5.4 Přijetí zprávy „Poloha“.....	46
Závěr.....	49
Seznam použitých zdrojů.....	51
Seznam symbolů a zkratek.....	53
Seznam obrázků.....	55

Seznam tabulek.....	56
A) Návrh zařízení.....	57
A.1) Deska plošného spoje hlavní deska – top 2:1.....	57
A.2) Deska plošného spoje hlavní deska – bottom 2:1.....	57
A.3) Deska plošného spoje hlavní deska – top (osazovací).....	58
A.4) Deska plošného spoje hlavní deska – reálný pohled.....	58
A.5) Deska plošného spoje periferní deska – top 2:1.....	59
A.6) Deska plošného spoje periferní deska – bottom 2:1.....	59
A.7) Deska plošného spoje periferní deska – top, bottom (osazovací).....	60
A.8) Deska plošného spoje periferní deska – reálný pohled.....	60
A.9) Schéma zapojení – hlavní deska.....	61
A.10) Schéma zapojení – periferní deska.....	62
A.11) Grafický návrh krabičky lokátoru.....	63
A.12) Mapování veškerých portů MCU.....	64
A.13) Seznam součástek – hlavní deska.....	65
A.14) Seznam součástek – periferní deska.....	66
A.15) Seznam součástek – ostatní.....	66

Úvod

Cílem diplomové práce je návrh a konstrukce co možná nejuniverzálnějšího miniaturního zařízení pro sledování polohy domácích zvířat, majetku, popřípadě osob. Celé zařízení je navrženo s ohledem na miniaturní rozměry, ale také maximální výdrž na baterii. S tím souvisí výběr komponent, cílených na velmi nízkou spotřebu a možnost optimalizace spotřeby elektrické energie. Dalším způsobem, jak dosáhnout dlouhé provozní doby, je použití nabíjecí lithium-iontové baterie s dostatečnou kapacitou.

Vzhledem k různorodému využití zařízení je zapotřebí zajistit vysokou odolnost proti vniknutí prachu, působení vody a nárazu. V tomto duchu byla zvolena vcelku unikátní koncepce, která umožňuje, aby veškerá elektronika zařízení byla hermeticky zapouzdřena do plastového, nebo případně gumového obalu. Takové zapouzdření chrání zařízení maximálním možným způsobem.

V současné době existují na trhu veškeré komponenty, které koncepci hermeticky uzavřeného zařízení umožňují. Navržené zařízení tedy nepotřebuje žádný konektor, ani tlačítka umístěné v pouzdře. Právě to jsou kritická místa, kde by hrozilo potenciální vniknutí vody a nečistot do zařízení. V navrženém zařízení je vestavěná baterie nabíjena pomocí bezdrátové technologie ve standardu Qi. V oblasti lokátorů je bezdrátové nabíjení novinkou.

Z dalších významných technologií, použitých v zařízení lze jmenovat například Bluetooth, který může sloužit pro pohodlné nastavení zařízení. Modul GPS pro samotné sledování polohy subjektu. Důležitou součástí je modul GSM který zajišťuje datovou komunikaci mezi zařízením a libovolným mobilním telefonem zprávami SMS. Umožňuje také datové přenosy GPRS. Základní funkčnost zařízení je možná v kombinaci s libovolným mobilním telefonem. Pro pohodlnější používání je doporučeno využít mobilní zařízení s možností zobrazení map a polohy GPS.

Práce je členěna celkem do pěti hlavních kapitol. První kapitola obsahuje pozastavení nad legislativou České republiky ve vztahu ke sledování polohy osob. Druhá se zabývá průzkumem trhu a konkurence pro daný segment zařízení. Z poznatků průzkumu vyplývá návrh samotné koncepce zařízení a výběr vhodných elektronických obvodů ve třetí kapitole. Čtvrtá kapitola podrobněji popisuje zapojení jednotlivých komponent a samotnou konstrukci zařízení. Poslední kapitola naopak popisuje softwarovou část návrhu a také popisuje funkce samotného lokátoru z uživatelského hlediska. Výsledky práce jsou shrnuty v závěru.

1 Legislativa ve vztahu ke sledování osob

Vzhledem k možnosti sledovat lokátorem polohu osob, je třeba dbát i na legislativu ČR. Z legislativního hlediska může být GPS lokátor zneužit k ilegálnímu sledování polohy osob, bez jejich vědomí. Problematice se věnuje Občanský zákoník, hlava II, osobnost člověka, pododdíl II podoba a soukromí § 86.

§ 86

Nikdo nesmí zasáhnout do soukromí jiného, nemá-li k tomu zákonný důvod. Zejména nelze bez svolení člověka narušit jeho soukromé prostory, sledovat jeho soukromý život, nebo pořizovat o tom zvukový nebo obrazový záznam. Využívat takové či jiné záznamy pořízené o soukromém životě člověka třetí osobou, nebo takové záznamy o jeho soukromém životě šířit. Ve stejném rozsahu jsou chráněny i soukromé písemnosti osobní povahy [1].

Ze zákona tedy vyplývá, že sledovaná osoba musí ke svému sledování dát nejlépe písemný souhlas. To se týká i firemních zaměstnanců, kteří musí mít sledování firemního vozu uvedeno ve smlouvě, kterou podepisují. V případě ochrany vlastního majetku, sledováním pohybu ukradeného předmětu, je sledování dané osoby bráno jako zákonný důvod sledování. Není tedy možno nahlížet na takové sledování bez souhlasu jako na protizákonné.

2 Přehled komerčně prodávaných řešení

Na současném trhu existuje celá řada zařízení pro sledování polohy osob, zvířat, nebo věcí (majetku). Jedná se většinou o jednoúčelová zařízení, která se hodí pouze k jedinému způsobu využití. Zařízení dostupná na trhu jsou velice různorodá, ať svými rozměry a tvarem, výdrží na baterii, či možností napájení z přímo z elektronických systémů automobilu a motocyklů. Velmi výrazně se liší svou cenou, ač mají stejný účel, a dalšími funkcemi. Rozdíl v ceně je v některých případech i v násobcích.

Některá zařízení jsou určena pouze pro pasivní režim zaznamenávání dat o poloze. To znamená, že nemají možnost dálkově odeslat aktuální polohu. Takový lokátor pouze v definovaných intervalech zaznamenává aktuální pozici a zapisuje ji do vnitřní paměti. Zařízení musí být poté fyzicky vyjmuto a data z něj stažena. Taková zařízení se příliš nehodí k ochraně majetku, ani vysledování zatoulaného zvířete. Hodí se například pro špionážní účely, nebo záznam trasy firemního vozu. Nevysílá žádný signál a je tedy obtížně zjištěitelné detektorem. U všech sledovacích zařízení je nutno se řídit dle platné legislativy státu, neboť není možno libovolně sledovat osoby bez jejich souhlasu. Této problematice se práce také částečně věnuje v kapitole 1.

Všechny typy aktivních zařízení umí komunikovat s mobilním telefonem SMS zprávami. Většina také prostřednictvím mobilních datových přenosů přes webové rozhraní, nebo pomocí aplikací v chytrých mobilních telefonech. Vybrané modely mají i zabudovaný proprietární modul RF.

Komerční lokátory často splňují stupeň ochrany krytím IPX7 (do zařízení nevnikne voda po dobu 30 minut ponoru v hloubce 1 m). Podle účelu zařízení se často objevují následující formy zpracování:

- **sledování domácích zvířat** – sledovací obojky, GPS přívěšky na obojek, nebo postroj,
- **sledování dopravních prostředků** – přichycení magnetem, možnost napájení z autobaterie, větší rozměry,
- **sledování osob** – miniaturní bateriová zařízení, hodinky, přívěšky,
- **sledování zavazadel, univerzální** – různá miniaturní zařízení.

2.1 Sledování domácích zvířat

Typickým zástupcem zařízení pro sledování pohybu domácích zvířat je výrobek společnosti Kippy® se stejným názvem, vhodný pro kočky a psy Obr. 1. Lokátor se drží přívětivé ceny cca 5 000 Kč [2]. Pro funkčnost je třeba platit společnosti poplatky ve výši asi 810 Kč¹ ročně. Zařízení patří k nejlevnějším na trhu. Dosahuje velmi příznivé kvality, výdrže na baterii až 20 dní a kompaktních rozměrů 6 cm × 3,5 cm × 2 cm. Samozřejmě je odolnost proti vniknutí vody, prachu a nárazu. Společnost vyrábějící toto zařízení disponuje velmi mladým kolektivem a zabývá se výhradně výrobou tohoto zařízení. Výhodou je možnost sledovat objekt přes webovou aplikaci, nebo aplikace na mobilní platformy Android, iOS a Windows Phone[3]. Důležité technické údaje jsou uvedeny v Tab. 1

Tab. 1: Technické parametry výrobku Kippy [3]

Rozměry a hmotnost	6 cm × 3,5 cm × 2 cm, 50 gramů
Upevnění na zvíře	Obojek (vyjímatelný modul)
Výdrž na baterii	Až 20 dní, kapacita neznámá
Technologie	GPS, GLONASS, LBS, GSM (SMS), GPRS
Funkce	Sledování polohy, zobrazení na mapě, automatické uspávání, režim virtuální plot, historie pohybu
Odolnost	Vodotěsnost a prachu odolnost bez specifikovaného stupně krytí, odolnost proti nárazu
Cena	Zařízení 5 000 Kč, roční provoz 810 Kč



Obr. 1: GPS lokátor pro kočky a psy Kippy [3]

1 Přepočítáno z 30 Euro, při kurzu 27 Kč / 1 Euro, dle kurzu k 2.12.2015.

2.2 Sledování dopravních prostředků

Možným řešením sledování vlastního, nebo firemního vozu v případě odcizení, nebo hlídání pohybu firemních vozů je zařízení UDT-MT-02 Obr. 2. Pochází od čínského výrobce Udrive. Lokátor disponuje plnou funkcionalitou pro daný účel. Jeho předností je příznivá cena 3 495 Kč v obchodě Spyobchod.cz. K té je ale nutno připočítat poplatek za server, který činí 1 500 Kč ročně. Zařízení nemá vlastní baterii a je určeno k připojení na baterii automobilu. S tím souvisí nízká cena, protože vzhledem k obrovské kapacitě autobaterie zde není třeba příliš dbát na spotřebu zařízení. Požadavky na rozměry zařízení jsou také vcelku marginální. Přístroj disponuje funkcemi jako je komunikace pomocí zpráv SMS, přenosem dat přes GPRS, vibračním detektorem, funkcí virtuální plot. Zajímavou možností je dálkové odpojení baterie automobilu v některých modelech a tlačítko SOS pod volant, které v případě stisknutí odešle polohu na zadané číslo. [4] Přehled technických údajů se nachází v Tab. 2.

Tab. 2: Technické parametry zařízení pro sledování automobilů UDT-MT-02 [4]

Rozměry a hmotnost	Neznámé (marginální požadavek na rozměry)
Upevnění	Neznámé upevnění na vozidlo
Výdrž na baterii	Neomezená
Technologie	GPS, GSM (SMS, hovor), GPRS
Funkce	Sledování polohy, zobrazení na mapě, automatické uspávání, režim virtuální plot, historie pohybu, tlačítko SOS, odpojení autobaterie, detekce vibrací, alarm při spuštění motoru
Odolnost	Neznámá
Cena	Zařízení 3 495 Kč, roční provoz 1 500 Kč



Obr. 2: GPS lokátor pro sledování automobilu UDT-MT-02 [4]

2.3 Sledování pohybu osob

Pro zajištění bezpečnosti starších lidí, dětí, nebo osob s nějakým druhem postižení jsou velmi vhodná následující 2 zařízení. Jedno ve formě hodinek s GPS TK-109, které je vhodné i pro ochranu sportovců při úrazu. Druhé je poté ve formě přívěsku, který je možné umístit na klíče, do kapsy, do batohu, tašky apod.

2.3.1 Hodinky s GPS TK-109

Elegantní je řešení ve formě hodinek TK-109 Obr. 3, čínského výrobce Shenzhen Yu Heng Xing Technology Co., Ltd. Nosí se jednoduše na ruce, jako klasické hodinky. Díky barevnému displeji umožňují i další funkcionalitu, jakou je například zobrazení data a času, nebo aktuální polohy pomocí GPS. Hodinky po vložení karty SIM umožňují komunikaci pomocí zpráv SMS. Hodí se také pro sportovce a turisty, kteří v případě nouze mohou stisknutím tlačítka SOS odeslat polohu na vybrané telefonní číslo. Hodinky bohužel nejsou vodotěsné a v českém obchodě Spyobchod.cz stojí 3 995 Kč [4]. Přehled technických údajů se nachází v Tab. 3.

Tab. 3: Technické parametry hodinek s GPS lokací TK-109 [5]

Rozměry a hmotnost	Neznámé (úhlopříčka displeje 2,5")
Upevnění	Pásek na zápěstí (klasické hodinky)
Výdrž na baterii	Až 72 h pohotovostní režim (500 mAh)
Technologie	GPS, GSM (SMS)
Funkce	Sledování polohy, režim virtuální plot, historie pohybu, tlačítko SOS
Odolnost	-20 °C až 55 °C, 5 % až 95 % vlhkost, nevodotěsné
Cena	3 995 Kč



Obr. 3: Hodinky s GPS lokací TK-109 [4]

2.3.2 Přívěsek s GPS lokací

Velmi povedeným zařízením jak po stránce funkcionality, tak designu je lokační přívěsek GPS29. Nabízí ho Spyobchod.cz za cenu 3 995 Kč. Předností tohoto zařízení jsou kompaktní rozměry, odolnost, výdrž až 18 dní a mnoho funkcí. Zjistit polohu je možno SMS zprávou, na webu i prostřednictvím aplikace na systémy iOS a Android. Klidová spotřeba zařízení je po automatickém usnutí v případě, že se zařízení nehýbe 5 minut 2 mA. Lokátor obsahuje mikrofón i reproduktor, takže je možný odposlech i obousměrná hlasová komunikace. Dále je přítomno tlačítko SOS a funkce virtuální plot [4]. Shrnutí technických údajů je zobrazeno v Tab. 4.

Tab. 4: Technické údaje přívěsku s GPS lokací [4]

Rozměry a hmotnost	61 mm × 43 mm × 16 mm, hmotnost 37 g
Upevnění	Libovolné, možno použít vestavěné poutko
Výdrž na baterii	Až 18 dní (baterie 900 mAh)
Technologie	GPS, GSM (SMS), GPRS
Funkce	Sledování polohy, režim virtuální plot, historie pohybu, tlačítko SOS, zobrazení na mapě, aplikace iOS a Android, automatické usnutí a probuzení, odposlech, obousměrná hlasová komunikace
Odolnost	Stupeň krytí IP X6 (Chráněno proti vlnobití. Voda míří 12,5 mm tryskou ve všech úhlech při průtoku 100 litrů za minutu při tlaku 100 kN/m ² po dobu nejméně 3 minuty ze vzdálenosti 3 metry.) [6]
Cena	3 995 Kč



Obr. 4: Přívěsek s GPS lokací [4]

2.4 Sledování zavazadel, univerzální miniaturní zařízení

Vhodným zástupcem se jeví býti miniaturní zařízení označené TK-102. Zaujme především svou cenou od 1 090 Kč dle [2]. Zařízení je svou funkcionalitou podobné předchozím zařízením, ovšem za nižší cenu. Umí komunikovat v síti GSM pomocí zpráv SMS, nebo datových přenosů GPRS. Obsahuje čidlo pohybu i funkci virtuální plot, tlačítko SOS a umožňuje 2 – 4 dny provozu na baterii [4]. Přehled technických parametrů je v Tab. 5.

Tab. 5: Technické parametry miniaturního lokátoru TK-102 [4]

Rozměry a hmotnost	65 mm × 45 mm × 18 mm
Upevnění	Libovolné, magnet, vestavěné poutko
Výdrž na baterii	2 - 4 dny pohotovostní (baterie 1 100 mAh)
Technologie	GPS, GSM (SMS), GPRS
Funkce	Sledování polohy, režim virtuální plot, tlačítko SOS, zobrazení na mapě, automatické usnutí a probuzení
Odolnost	-20 °C až 55 °C, 5 % až 95 % vlhkost, nevodotěsné
Cena	1 090 Kč [2], 1 995 Kč [4]



Obr. 5: Miniaturní GPS lokátor TK-102 [4]

3 Návrh zařízení, volba komponent

Na základě úvah, průzkumu trhu uvedeném v kapitole 1 a konzultací s vedoucím práce vznikl koncept miniaturního sledovacího zařízení. To je oproti původní představě určeno, krom sledování domácích zvířat, také pro ochranu osob a majetku.

Vzhledem k univerzálnímu použití zařízení je nutno vyřešit koncepci tak, aby byla připravena na různorodá použití a odolnost proti povětrnostním vlivům, či nárazu. Dalším kritériem jsou rozměry zařízení, které musí být nenápadné a miniaturní. Lokátor je určen zejména pro domácí zvířata. Z toho plyne, že jim zařízení připevněné na krku nesmí vadit v pohybu, omezovat je, nebo dokonce ohrozit zdraví. V případě sledování osob je také nežádoucí, aby jim zařízení překáželo, nebo bylo nějak výrazně nápadné. Při odcizení automobilu, nebo zavazadla musí být lokátor co nejmenší a také nenápadný, aby nedošlo k rychlému odhalení.

Vzhledem k výše uvedeným skutečnostem je navržené zařízení připraveno na hermetické uzavření do plastového, nebo gumového obalu. Z toho plyne absence mechanických tlačítek, která by vystupovala z obalu. Taktéž nepřítomnost konektoru pro nabíjení, který by snižoval odolnost proti ponoření do tekutin a vniknutí nečistot do lokátoru. Veškeré výše uvedené skutečnosti jsou zohledněny i v návrhu obalu uvedeném v příloze A.11.

U lokátoru je důležitá co nejvyšší výdrž baterie, což je zohledněno při výběru součástek. Také je zvolena baterie s co nejvyšší možnou kapacitou, vzhledem k jejím rozměrům. Rozměry celého lokátoru je třeba dodržet tak, aby vyhověl především použití u domácích zvířat.

Při absenci konektorů a tlačítek bylo řešeno několik technických otázek. V dnešní době však již existují prostředky k výrobě takového zařízení. Řešení spočívá například v bezdrátovém nabíjení baterie pomocí indukční smyčky, ve spolupráci s řídicím obvodem, pracujícím ve standardu Qi. Ten vyvinulo konsorcium společností s názvem Wireless Power Consortium a je nejrozšířenějším standardem pro bezdrátové dobíjení. Odesílání polohy a stavových informací je možné pomocí zpráv SMS, popřípadě v budoucnu datovým přenosem GPRS, přes síť některého z telefonních operátorů. Určení polohy probíhá pomocí technologie GPS.

Základní odezva pro uživatele je řešena vibračním elementem. Lokátor je možné v případě problémů zresetovat a to přiložením magnetu ke snímači využívajícímu Hallova jevu. Tento magnetický spínač zresetuje řídicí čip a tím i veškerá zařízení odpojitelná od napájení. Zařízení automaticky přejde do režimu spánku po nastaveném čase a tím šetří baterii. Vzhledem k výběru úsporných komponent je spotřeba zařízení minimální.

3.1 Hlavní řídicí mikrokontrolér

Lokátor řídí jediný mikrokontrolér, který má za úkol zajišťovat veškerou komunikaci s periferiemi připojenými prostřednictvím standardních sběrnic. Konkrétně se jedná o sběrnice UART (modul Bluetooth, GSM a GPS), akcelerometr je připojen na sběrnici I²C. Zabudovaný A/D převodník zajišťuje měření napětí baterie. V mikrokontroléru jsou využívány také standardní I/O brány pro připojení dalších součástí, které nevyžadují připojení přes standardizované sběrnice. Volba byla provedena především s ohledem na ultra nízkou spotřebu v klidovém stavu i v provozu a nativní podporou potřebných datových sběrnic. Na základě požadavků byl vybrán model MSP430FR5969 společnosti Texas Instruments, který požadavky splňuje ve všech ohledech. Vybrán byl i na základě předchozích zkušeností s mikroprocesory této společnosti. S tím je spojeno i technické vybavením pro jejich programování.

3.1.1 Texas Instruments MSP430FR5969

Vybraný mikrokontrolér patří do rodiny ultra nízko příkonových řešení společnosti Texas Instruments. Hodí se, mimo jiné aplikace, všude tam, kde je požadavek na velmi nízkou spotřebu. Jsou to zařízení jako zapisovače dat na baterii, měření, „nositelná“ elektronika a další. Vzhledem k podobnosti nositelné elektroniky s GPS lokátorem je tedy pro aplikaci velmi vhodný.

Jádro MSP430 je založeno na 16 - bitové RISC architektuře, která využívá Von Neumannovu architekturu. Nezvykle je na místo klasické kombinace EPROM paměti, coby paměti programu a SRAM paměti, coby operační paměti, použita jediná paměť typu FRAM. Ta spojuje výhody EPROM a SRAM pamětí. Navíc se vyznačuje velmi vysokou odolností proti různým druhům záření a nízkou spotřebou. V případě potřeby je díky FRAM možno přerozdělit poměr operační paměti a paměti dat. Jedná se o unikátní vlastnost výrobků TI a vzhledem k velikosti 64 kB nabízí dostatečnou kapacitu a variabilitu rozdělení.

Maximální taktovací frekvence je 16 MHz, spotřeba činí v aktivním módu 100 μ A/MHz, v režimu spánku LPM3 0,4 μ A. Paměť vybraného modelu činí 64 kB s minimálním počtem přepisů 10^{15} . Další periferie samotného kontroléru jsou například 12 bitový A/D převodník, obvod reálného času, možnost vyvolat přerušení na každém portu v režimu spánku, sběrnice I²C, nebo 2x sběrnice UART. Daný mikrokontrolér má i další periferie a funkce, které ale nejsou využívány [7]. Shrnutí pro projekt důležitých technických parametrů je přehledně zobrazeno v Tab. 6.

Tab. 6: Technické parametry mikrokontroléru TI MSP430FR5969 [7]

Paměť FRAM	64 kB, počet přepisů 10^{15}
Taktovací frekvence	16 MHz maximální
Napájecí napětí	1,8 V až 3,6 V
Spotřeba	100 μ A/MHz aktivní, LPM3 0,4 μ A
A/D převodník	12 bitový
Sběrnice	UART, I2C
Rozsah teplot	- 40 °C až 85 °C
Pouzdro	VQFN
Ostatní	RTC, přerušení na každém portu

3.2 Modul GPS

Elementární funkcí celého zařízení je sledování jeho přesné polohy. K tomuto účelu se nejvíce hodí technologie GPS, kterou je pro zpřesnění polohy možno ještě doplnit technologií GLONASS. Původně uvažovaný model Quectel L86 byl ale z důvodu nedostupnosti nahrazen modelem L80, který GLONASS neumožňuje. Pro zvýšení rychlosti určení polohy je možné použít asistovanou GPS (AGPS), kdy se základní údaje o poloze stáhnou podle vysílače GSM. Modul GPS komunikuje pomocí sběrnice UART a používá protokol NMEA.

Z důvodu jednodušší implementace GPS technologie do zařízení a také potřeby úspory místa se jeví jako nejvhodnější modul Quectel L80. Ten poskytuje kompletní zapouzdřené řešení s minimální potřebou dalších diskrétních součástek. Obvod je vyráběn včetně integrované antény a je založený na platformě Mediatek MT3333. Toto řešení má také výhodu v rychlejším odladění a minimalizace chyby při návrhu GPS části.

3.2.1 Quectel L80

Quectel L80 je integrovaný modul GPS, vybavený anténou na jeho pouzdře. Je založen na čipové sadě Mediatek MT3333. Umožňuje určení polohy pomocí GPS a podporuje také funkci AGPS. Vyniká nízkou spotřebou 20 mA při připojení k satelitům a několika úspornými režimy. Modul má malé rozměry 16 mm $\times$ 16 mm $\times$ 6,45 mm v pouzdře LCC. Primárně je určen všude tam, kde je třeba úspora místa. Quectel L80 podporuje také externí anténu, která ale z důvodu úspory místa nebude použita. Pro připojení k řídicímu mikrokontroléru je použita sběrnice UART. Pro řízení se používá protokol PMTK, odesílaná data jsou standardu NMEA. Napájecí napětí je v rozsahu od 3 V až po 4,3 V. Pracovní teplota pak v rozmezí -40 °C až 85 °C. Na základě aktuálně používaného režimu dokáže modul zaměřit polohu při studeném startu za 15 s až 35 s. Při tzv. teplém startu za 1 s až 5 s a obnovovat polohu

v intervalu 1 s [8]. Shrnutí důležitých technických parametrů je v Tab. 7. Tento model je možno nahradit i vylepšeným modelem L86 bez úpravy DPS, nebo programu. V případě úpravy programu je poté možné využívat například i technologii GLONASS.

Tab. 7: Technické parametry modulu GPS Quectel L80 [8]

Technologie zaměření polohy	GPS, AGPS
Připojení k mikrokontroléru	UART, protokol NMEA
Napájecí napětí	3 V až 4,3 V
Spotřeba	První zaměření 25 mA, sledování 20 mA, úsporné režimy 3 mA, 1 mA stand by, 7 μ A min
Rozměry / hmotnost	16 mm $\times$ 16 mm $\times$ 6,45 mm / 6 g
Pracovní teplota	-40 °C až 85 °C
Studený / teplý/ pohotovostní start	15 s / 5 s / 1 s
Frekvence GPS (pásmo)	1575,42 MHz (L1)

3.3 Modul GSM

Pro odesílání dat z lokátoru na mobilní telefon, vzdálené nastavení zařízení a zadávání příkazů slouží modul GSM. Pro základní komunikaci slouží SMS zprávy. Konkrétně se jedná o řešení společnosti Quectel s označením M66. Tento modul komunikuje s řídicím mikrokontrolérem prostřednictvím sběrnice UART. Používány jsou standardní AT příkazy. V rozšířené funkcionalitě je možno pro komunikaci využít i datové připojení prostřednictvím technologie GPRS.

Pro připojení do sítě některého z operátorů je třeba modul doplnit kartou SIM. V lokátoru je přítomna ve velikosti nano. Z důvodu úspory místa na DPS jsou vynechány některé funkce, které modul umožňuje, ale nejsou podstatné pro funkci v lokátoru. Jako nejvhodnější kandidát byl s ohledem na úsporu místa a nízkou spotřebu vybrán nejmenší modul tohoto typu. Výhodou je i sjednocení výrobce modulu GSM a GPS.

3.3.1 Quectel M66

Quectel M66 je aktuálně nejmenší čtyř pásmový modul GSM v LCC pouzdře na trhu s rozměry pouhých 15,8 mm $\times$ 17,7 mm $\times$ 2,3 mm. Modul je tedy vhodný na aplikaci v zařízeních, kde je nedostatek prostoru. Je zde přítomna podpora pro čtyři pásma sítí GSM 2G. Konkrétně 850 MHz, 900 MHz, 1800 MHz a 1900 MHz. Datová podpora spočívá v GPRS třídy 12 s přenosovými rychlostmi až 85,6 kbps pro stahování i odesílání dat. Podporované protokoly jsou TCP, UDP, FTP, HTTP, SMTP, CMUX, SSL. Pracovní teplota může být v rozmezí -40 °C až 85 °C. Napájecí napětí v rozsahu 3,3 V až 4,6 V. Rozsah je ideální pro napájení lithiovou baterií s nominálním napětím 3,7 V. K dispozici je mnoho

úsporných režimu s maximální spotřebou zařízení 150 μ A – 13 mA. [9]. Přehledně jsou důležité parametry a vlastnosti znázorněny v Tab. 8.

Tab. 8: Technické parametry modulu GSM Quectel M66 [9]

Technologie sítě	GSM / GPRS čtyři pásma (850 / 900 / 1800 / 1900 MHz)
Datové sítě	GPRS (2G), protokoly: TCP, UDP, FTP, HTTP, SMTP, CMUX, SSL (třída 12, až 85,6 kbps pro stahování i odesílání dat)
Rozměry	15,8 mm × 17,7 mm × 2,3 mm, hmotnost 1,3 g
Rozhraní a příkazy	UART, AT příkazy
Napájení, spotřeba	3,3 V až 4,6 V
Rozsah teplot	-40 °C až 85 °C
Pouzdro	LCC

3.4 Modul Bluetooth

Jednou z odlišností lokátoru navrženého v diplomové práci je přítomnost rozhraní Bluetooth. Ten je připraven pro pozdější verze s rozšířenou funkcí. Výhodou tohoto řešení je úspora finančních prostředků za SMS, nebo datové služby a pohodlnější nastavení. Implementace podpory technologie Bluetooth není složitá. Modul komunikuje po sběrnici UART, prostřednictvím AT příkazů. Na modul nejsou v tomto případě kladeny vysoké nároky. Bluetooth bude aktivní pouze, když není lokátor používán pro sledování a pouze po dobu nastavení. Implementace Bluetooth rozhraní je řešena v podobě hotového modulu, který potřebuje minimum externích součástek. Integrovaná je i anténa. Hotový modul má výhodu především v úspoře místa na DPS. Zvolen byl jednoduchý modul s označením HC-05/(06), který plně dostačuje, navíc se těší velké oblibě v komunitě vývojářů a má příznivou cenu.

3.4.1 Bluetooth HC-05

Modul HC-05 je standardní Bluetooth rozhraní ve verzi 2.0, doplněný o rozšíření EDR (Enhanced Data Rate). Maximální přenosová rychlost činí 3 Mbps, pracovní frekvence je 2,4 Ghz. Připojení je řešeno pomocí rozhraní UART s komunikací pomocí AT příkazů. Anténa je integrovaná, doporučené napájecí napětí je v rozsahu 1,8 V až 3,6 V [10]. Důležité technické parametry shrnuje Tab. 9.

Tab. 9: Technické parametry modulu Bluetooth HC-05

Technologie sítě	2,4 Ghz, Bluetooth 2.0 + EDR, 3 Mbps
Napájecí napětí	1,8 V až 3,6 V
Rozměry	27 mm x 2,7 mm
Rozhraní a příkazy	UART, AT příkazy

3.5 Akcelerometr a další drobné periférie

Několik lokátorů uvedených v kapitole 2 obsahuje automatickou detekci pohybu. Sledování pohybu je řešeno pomocí akcelerometru. Ten obsahuje i navržený lokátor, zatím ale není využíván a je možné ho vynechat z osazení součástek. Důvod je ten, že není možno dopředu vědět, zda uživatel nebude potřebovat zjistit polohu u nepohybujícího se objektu. Pokud by na základě pohybu bylo zařízení takto uspáno, nebylo by možno jej probudit zprávou SMS. Pro optimalizaci spotřeby je použito cyklické uspávání a probouzení zařízení. K účelu probouzení zařízení pomocí akcelerometru se nejlépe hodí výrobek firmy Freescale Semiconductor MMA8453Q, který je tomu uzpůsoben.

Další drobnější, avšak uživatelsky detekovatelnou a nastavitelnou periférií je vibrační element, pomocí kterého lokátor poskytuje smyslovou odezvu.

3.5.1 Akcelerometr Freescale MMA8453Q

Jedná se o 3 osý akcelerometr s rozměry pouhých 3 mm × 3 mm a 10 bitovým rozlišením. Má dvě brány s nastavitelnou citlivostí pro vyvolání přerušení v mikrokontroléru na základě pohybu akcelerometru. Napájecí napětí se pohybuje v rozmezí 1,95 V až 3,6 V. Spotřeba v rozmezí 6 μA až 165 μA. Pro připojení je používána sériová sběrnice I²C. Akcelerometr je určen především pro přenosná, bateriově napájená zařízení [11]. Technické údaje viz. Tab. 10.

Tab. 10: Technické parametry akcelerometru MMA8453Q [11]

Napájecí napětí	1,95 V až 3,6 V
Spotřeba	6 μA až 165 μA
Rozhraní	I2C
Rozměry	3 mm × 3 mm
Rozsah teplot	-40 °C až 85 °C
Pouzdro	QFN 16

3.6 Napájecí část

O napájení lokátoru se stará nabíjecí lithium-iontový akumulátor s nominálním napětím 3,7 V. Zvolen je s ohledem na vysokou kapacitu v poměru k rozměrům a nízkou hmotností. Lokátor může být používán i v teplotách pod 0 °C. V tomto případě je třeba počítat s kratší výdrží na baterii.

K nabíjení článku je s přihlédnutím ke koncepci využito bezdrátové indukční technologie. Jako standard pro toto nabíjení je zvolen Qi. Ten prosazuje konsorcium společností Wireless Power Consortium a je nejrozšířenějším standardem. Přijímací indukční smyčka pochází od společnosti WÜRTH. Její indukčnost činí 13 μH. Jako řídicí obvod je

použito řešení společnosti TI. Obvod řídí jak samotný bezdrátový přenos energie standardu Qi, tak samotný nabíjecí proces baterie. Jedná se o obvod TI bq51050B.

Do napájecí části je vřazen také integrovaný obvod využívajícího Hallova jevu Infineon TLE 4913. Přiložením magnetu k obvodu (silné magnetické pole) přeruší napájení a veškeré obvody se zresetují. Tuto funkci je možno využít při problému se zařízením.

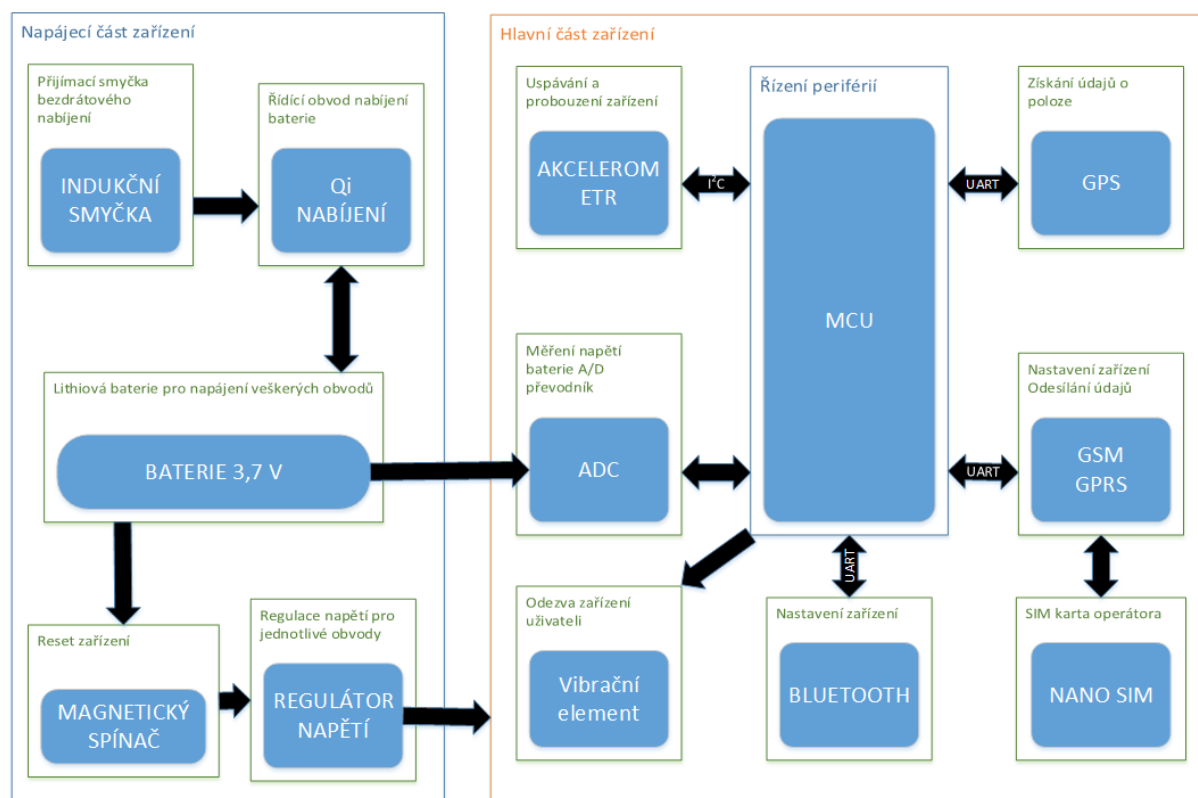
Baterie byla vybrána typu Li-pol s kapacitou 1100 mAh od výrobce EEMB. Velikost baterie je v případě této kapacity 50 mm × 34,5 mm × 6,3 mm. Baterie je tedy téměř na limitu co se týká velikosti obrysu celého zařízení. Z toho vyplývá, že se jedná o maximální možnou kapacitu baterie, kterou lze u lokátoru dosáhnout. Z fyzikálních důvodů se kapacity baterií s obdobnými rozměry liší pouze minimálně.

3.6.1 Řízení nabíjení baterie obvodem TI BQ51050B

Obvod od společnosti Texas Instruments slouží pro řízení přenosu energie na straně přijímací indukční cívky ve standardu Qi 1.1. Zajišťuje konverzi střídavého napětí získaného z indukční cívky na stejnosměrné napětí na výstupu pro nabíjení baterie. Obvod rovněž zajišťuje samotný nabíjecí proces baterie, kdy hlídá nabíjecí proudy, teplotu, napětí a další. Stará se také o správné nabíjecí cykly v průběhu nabíjení Li-ion, nebo Li-pol akumulátoru. Maximální nabíjecí proud do akumulátoru činí 1,5 A a nabíjecí napětí 4,2 V. Typické aplikace jsou zařízení jako: mobilní telefony, sluchátka, přenosné multimediální přehrávače a další přenosná zařízení. Obvod je v pouzdře VQFN 20 s půdorysem 4,5 mm × 3,5 mm [12].

4 Topologie systému, popis konstrukce a řešení

Na Obr. 6 je znázorněno blokové schéma celého zařízení. Popisky u jednotlivých bloků nastiňují jejich funkci. V průběhu návrhu bylo zkoušeno několik řešení rozmístění součástek na DPS. Nakonec bylo zařízení rozděleno na 2 desky, které jsou ve finální verzi zařízení spojeny nerozebíratelně (pájením) pomocí kontaktní lišty. Spodní deska je funkční sama o sobě a horní část pouze rozšiřuje systém o důležité periferie.

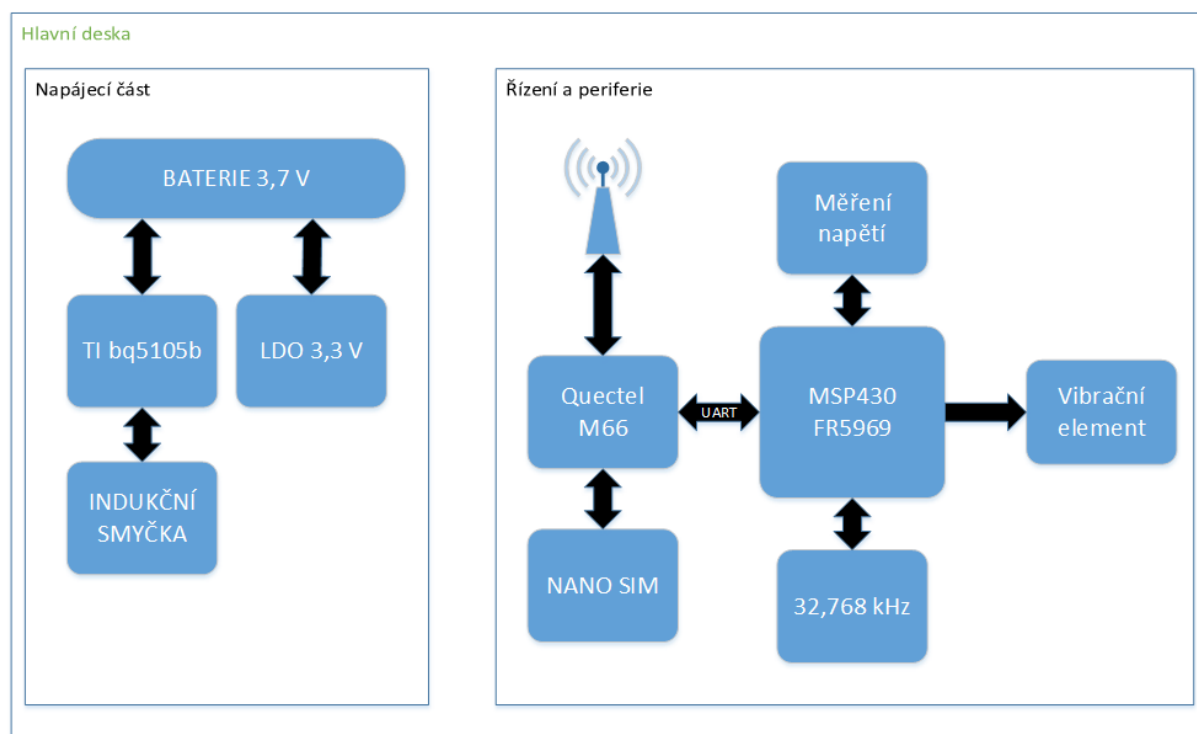


Obr. 6: Blokové schéma systému

Popis hlavní desky lokátoru (spodní deska)

Na Obr. 7 je znázorněno blokové schéma stěžejních obvodů na hlavní desce zařízení. Ústřední částí desky je oblast napájení. Základem je nabíjecí baterie typu Li-pol s kapacitou 1100 mAh. Nominální hodnota napětí je 3,7 V. Při plné kapacitě dosahuje napětí hodnoty 4,2 V. Odpojitelným děličem napětí je možné v kombinaci s A/D převodníkem mikrokontroléru měřit její napětí. Baterie je nabíjena pomocí obvodu TI bq5105, kde je přenos energie mezi nabíjecí stanicí a lokátorem řešen bezdrátovou technologií ve standardu Qi. Nabíjecí proud byl zvolen cca 530 mA. V blízkosti připojení baterie se nachází LDO regulátor, který zajišťuje stabilizované napětí 3,3 V pro obvody, které ho vyžadují. U svorek baterie se nachází modul GSM Quectel M66, který je z ní přímo i napájen. Připojení antény je

vyřešeno konektorem typu U.FL. Z důvodu miniaturizace zařízení je použita patice na kartu SIM velikosti nano. Aby byla zajištěna smyslová odezva zařízení, je osazen vibrační element od společnosti Precision Microdrives. Celé zařízení je ovládáno mikrokontrolérem MSP430FR5969, který se nachází také na hlavní desce a ke kterému je navíc připojen krystal s frekvencí 32,768 kHz. Slouží k časování obvodu RTC při uspání MCU. Při použití tohoto krystalu dokáže pracovat mikrokontrolér s minimální spotřebou 0,5 μ A v úsporném režimu LPM3. Tato deska je sama o sobě funkčním celkem a může fungovat bez vrchní desky, která obsahuje periferní obvody a podpůrné obvody, připojeny ke standardním sběrnícím mikrokontroléru a I/O branám.

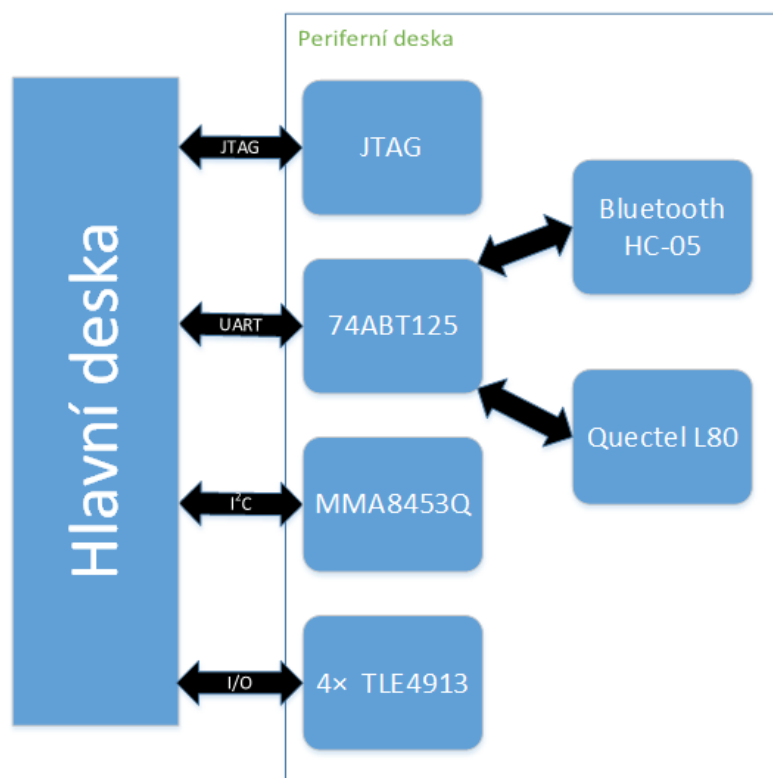


Obr. 7: Blokové schéma - hlavní deska

Popis periferní desky lokátoru (vrchní deska)

Periferní deska (vrchní) jejíž blokové schéma je na Obr. 8 obsahuje modul GPS Quectel L80. Modul má integrovanou anténu přímo na nosné podložce z materiálu FR4. V zařízení je do budoucna počítáno s možností rozšíření funkcionality. Z tohoto důvodu je připraven i modul Bluetooth HC-05 a akcelerometr MMA8453Q. Lokátor obsahuje 4 magnetické spínače TLE4913 využívající Hallova jevu. Tři ze spínačů mohou plnit funkci klasického tlačítka, jen namísto stisku je třeba vytvořit v blízkosti tlačítka magnetické pole (například přiblížením magnetu). Čtvrté tlačítko slouží k resetu mikrokontroléru v případě jeho nestandardní funkce. Zároveň jsou zresetovány i veškeré obvody s odpojitelným

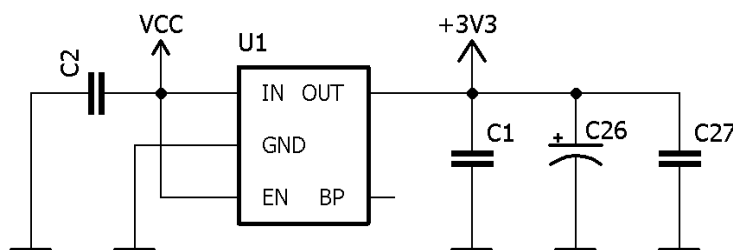
napájením. Protože mikrokontrolér disponuje pouze dvěma rozhraními UART a tato sběrnice neumožňuje mít připojeno více obvodu naráz. Na rozdíl od například I²C, kde má každý obvod svojí adresu, kterou je volán. Je přítomen také obvod, pomocí kterého je možno přepnout sběrnici UART pro komunikaci s modulem GPS, nebo modulem Bluetooth. Jedná se o obvod 74ABT125, který je vlastně bufferem s možností zakázání, nebo povolení výstupu. Posledním detailem jsou plošky, na které je připojen JTAG programátor pro naprogramování řídicího mikrokontroléru.



Obr. 8: Blokové schéma - periferní deska

4.1 Napájecí část zařízení

Nejdůležitější částí, bez kterého by zařízení nemohlo fungovat je oblast napájení. Jsou používány 2 napěťové úrovně a to 3,3 V, kterých je dosaženo LDO stabilizátorem TLV70033. Ten dodá maximální proud 200 mA. Při tomto proudu stačí udržovat napětí na vstupu pouze o 175 mV vyšší, než je stabilizované napětí 3,3 V. Na vstup integrovaného stabilizátoru je přivedeno přímo napětí z Li-pol baterie o kapacitě 1100 mAh. To je v plně nabitém stavu 4,2 V a při vybité baterii 3,6 V. Je tedy zaručeno stabilní napětí na větvi 3,3 V. Celé 3,3 V síti sekunduje několik blokovacích kondenzátorů. Zapojení stabilizátoru je znázorněno na Obr. 9.



Obr. 9: Zapojení LDO stabilizátoru

4.1.1 Bezdrátové nabíjení – popis technologie

Následující část se věnuje zajímavému technickému řešení lokátoru, které spočívá v bezdrátovém nabíjení baterie. To je jednou z hlavních odlišností navrženého zařízení, oproti běžným komerčním produktům. Bezprostředně souvisí s možností celý lokátor hermeticky uzavřít. Pro bezdrátové nabíjení je použit standard Qi, který je celosvětově nejrozšířenějším, stojí za ním konsorcium 320 společností s názvem Wireless Power Consortium. Mezi nejvýznamnější členy patří: Texas Instruments, LG, Qualcomm, Samsung, Panasonic, Microsoft, HTC, Nokia, Toshiba, Freescale, Philips, ST, Sony Corporation, Verizon. Bezdrátové nabíjení přináší především pohodlí, vyvarování se poškození konektoru a možnost vytvořit hermeticky uzavřené zařízení [14] [15].

Základní princip fungování

Přijímač i vysílač obsahuje cívku. V cívce vysílače vytváří střídavý proud magnetické pole, které indukuje napětí v cívce přijímače. Nevýhodou je, že cívky musí být v bezprostřední blízkosti. Tímto způsobem rozsvítil žárovku bez vodičů už Nikola Tesla v roce 1893 [13].

Kde je vhodné technologii použít?

Primárně se jedná o zařízení přenosné elektroniky (mobilní telefony, fotoaparáty, přehrávače a podobně). Nabíjecí výkon je momentálně maximálně asi 5 W. Je třeba dodržet největší vzdálenost mezi vysílací a přijímací cívkou 3 cm, takže zařízení tomu musí být přizpůsobená.

Přehled systému

Na Obr. 10 je znázorněno blokové schéma celého systému. Ten se skládá z několika částí. První částí je **základová stanice**, která obsahuje jednu, nebo více vysílacích cívek. Tento vysílač předává energii přijímači. **Přijímač** (mobilní zařízení) přijímá signál z vysílače, po úpravě předává energii zátěži (baterii) a předává řídicí informace vysílači. Pro co možná nejlepší vazbu mezi cívkami je dobré dodržet následující zásady:

- zvolit vhodné rozměry cívek,

- dodržovat co nejmenší vzdálenost mezi cívkami,
- doužívat magneticky propustný materiál zařízení,
- dbát na správné zarovnání cívek.

Převod energie

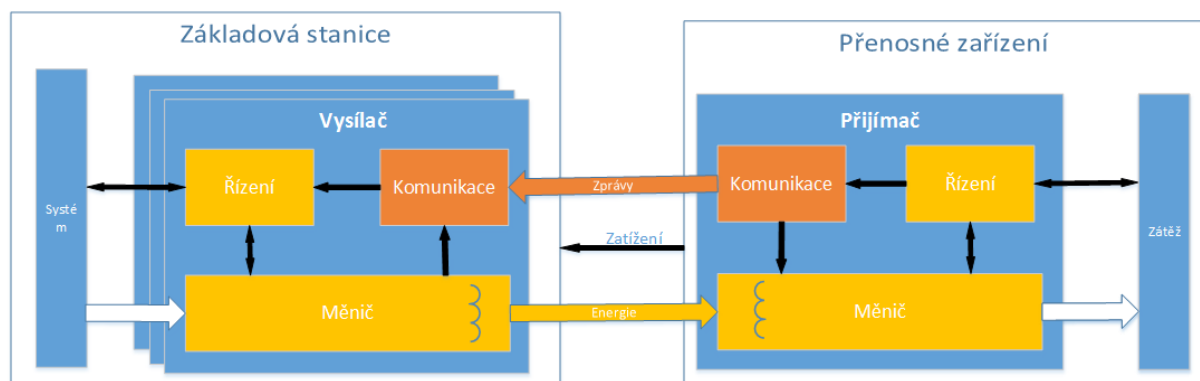
Měnič ve vysílači přemění elektrickou energii na bezdrátový výkonový signál. **Měnič** v přijímači převede bezdrátový výkonový signál na elektrickou energii.

Řízení konverze

Přijímač řídí množství energie k předání do zátěže. Pokud je zařízení vybité, přijímač vyšle signál vysílači a bezdrátový přenos energie začne. Trvá tak dlouho, dokud není zařízení nabito (dosaženo nastaveného bodu). **Vysílač** přizpůsobuje množství energie pro přenos na základě žádosti přijímače. Je tedy podřízeným zařízením.

Komunikace mezi přijímačem a vysílačem

Přijímač zprostředkovává řídicí zprávy pro vysílač pomocí namodulování řídicího signálu na signál výkonový. **Vysílač** přijímá řídicí zprávy pro kontrolu výstupního výkonu demodulováním signálu od přijímače. Komunikační rychlost je nastavena na 2 Kbit/s a obsahuje start bit, 8 bitová data, paritu a stop bit [14].



Obr. 10: Blokové schéma bezdrátového nabíjecího systému [14]

Efektivita bezdrátového nabíjení, módy standartu Qi

Celková efektivita konvenčního drátového nabíjení je od výstupu zásuvky síťového napětí ~230 V po samotnou baterii zařízení asi 50% až 64%. Záleží na na efektivitě jednotlivých prvků v přenosové cestě. Současné bezdrátové nabíjení dosahuje maximální efektivitě asi 52% při použití standardu Qi. Z tohoto důvodu může být bezdrátové nabíjení považováno za neefektivní. Je třeba si uvědomit, že při maximálním výkonu 5 W nejsou ztráty nijak významné. S rostoucím výkonem se tato skutečnost mění k horšímu.

V příští generaci je počítáno se spínáním napětí přímo ze síťové zásuvky. V tomto případě je plánovaná účinnost 65% až 70%. Celková účinnost tedy možná ještě překoná konvenční drátové nabíjení [15]. Standard Qi umožňuje 2 módy nabíjení. Mezi těmi se přepíná v závislosti na vzdálenosti přijímací a vysílací cívky. První mód je induktivní, druhý se nazývá rezonanční.

Induktivní mód

Většina Qi vysílačů využívá těsné spojení mezi cívkami. Nejlepších výsledků účinnosti je při těchto podmínkách dosaženo, pokud vysílač Qi vysílá na frekvenci, která je mírně odlišná, než rezonanční frekvence Qi přijímače. Režim je nazýván „**induktivní**“. Cívky jsou spojeny, pokud mají stejnou velikost a vzdálenost mezi cívkami je mnohem menší, než průměr cívky

Rezonanční mód

Pokud naroste vzdálenost mezi přijímací a vysílací cívkou, nabíjení probíhá pomocí méně efektivního „**rezonančního**“ módu. V tomto případě je vyšší nežádoucí elektromagnetické vyzařování systému, které není vhodné pro systémy náchylné na rušení elektromagnetickým vlněním. V tomto režimu vzniká také více odpadního tepla. Vhodnější je tedy navrhovat zařízení, která pracují v módu prvním [14].

4.1.2 Návrh bezdrátového nabíjení s obvodem TI bq51050B

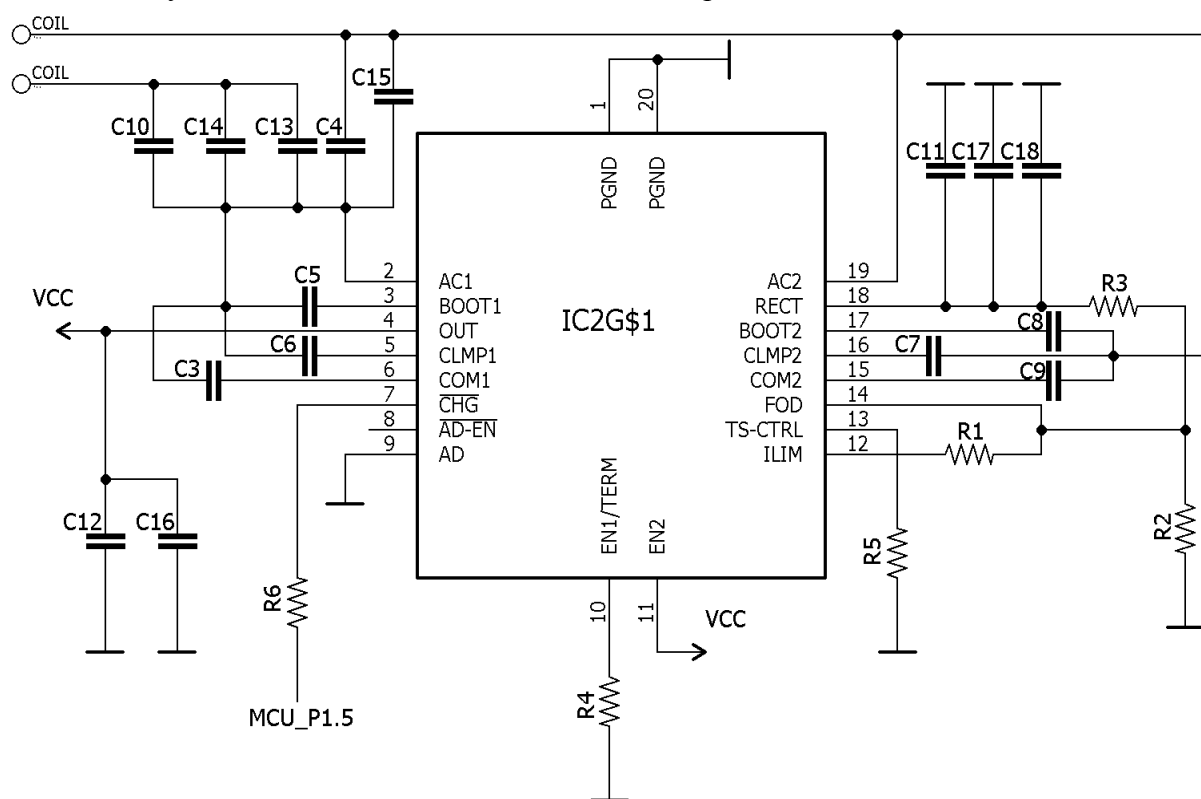
Pro řízení bezdrátového přenosu energie i zajištění správného nabíjecího cyklu baterie je použit obvod Texas Instruments bq51050B. Ten je určen pro nabíjení Li-ion a Li-pol baterií s maximálním napětím 4,2 V. Obvod je schopen dodat nabíjecí proud ve *fast charge* (nabíjení maximálním konstantním proudem) až 1,5 A. Ve zvoleném návrhu je proud nastaven na cca 530 mA. Použité pouzdro je VQFN 20. Pro požadovanou funkci obvodu je možnost nastavovat externími součástkami především nabíjecí proud, doladit rezonanční obvod přenosové cívky a zvolit formu modulace při komunikaci nabíječky se zařízením. Nevyužívaná funkce obvodu je hlídání teploty baterie. Osazená baterie neumožňuje hlídat její teplotu při nabíjení. Empiricky bylo vyzkoušeno, že baterie se při nabíjení proudem 530 mA vůbec nezahřeje, takže tato skutečnost nepůsobí žádné problémy a neměla by působit ani do budoucna. Obvod umožňuje také volbu mezi bezdrátovým a konvenčním drátovým nabíjením a automaticky přepínat režimy, zde je trvale přepnuto na bezdrátový režim.

Kondenzátory C9 a C3 zajišťují kapacitní modulaci přenosu dat mezi nabíječkou a přijímačem. Na začátku každého přenosu u Qi standardu si nejdříve vysílač (nabíječka) a přijímač (zařízení) vymění informace, zda jsou obě zařízení připraveny nabíjet. Pokud ano, přejde nabíječka do *slave* módu a celé nabíjení již řeší jen přijímací obvod. Lze použít také rezistivní modulaci. Mezi bránou RECT a COMM1 a COMM2 Obr. 11 je třeba zapojit 24 Ω

rezistory.

Negovaný výstup CHG je tranzistor s otevřeným kolektorem, ke kterému je možno připojit LED diodu a mít tak odezvu, pokud obvod nabíjí. V konkrétním případě je brána zapojena přes ochranný rezistor 1 k Ω k I/O bráně mikrokontroléru. Je tedy možno z něho číst logickou úroveň svázanou s aktivitou, nebo neaktivitou nabíjení. Brána EN2 slouží k přepínání mezi drátovým a bezdrátovým nabíjením. Vzhledem k tomu, že zde drátové nabíjení není, je na bráně držena úroveň „1“ (přivedeno trvale napětí 3,3 V).

Rezistor R5 (10 k Ω) na bráně TS-CTRL, zapojený proti „zemi“ vyřazuje z činnosti tepelnou ochranu baterie, která u použitého akumulátoru není hardwarově přítomna. Je třeba dbát na to, že veškeré kondenzátory připojeny bezprostředně k přijímací cívice musí být dimenzovány na 25 V. Na cívice se může indukovat napětí asi 20 V.



Obr. 11: Schéma zapojení obvodu Ti bq51050B

Nabíjecí cyklus a volba proudu

Na Obr. 12 se nachází graf nabíjecího cyklu lithiové baterie. Nabíjení má 3 fáze, které řídí sám obvod. Níže je popis jednotlivých fází a popis nastavení a měření nabíjecího proudu:

1. první fázi je nabíjení konstantním proudem (*Pre-charge mód*). Tento mód slouží pro nabíjení baterie při hlubokém stavu vybití ($V_{BAT} < 3 \text{ V}$). Nabíjecí proud v tomto cyklu je pouze 100 mA. Tento proud je dán nastavením výrobce a není možno jej nijak ovlivnit. Pokud napětí baterie dosáhne 3 V (hranice V_{LOWV}). Přejde režim nabíjení do druhého cyklu Fast charge (zde pojmenovaném Current Regulation Phase),
2. nabíjení maximálním konstantním proudem (*Current Regulation Phase*). Pokud dosáhne V_{BAT} hodnoty $> V_{LOWV}$, během 25 ms dojde k přepnutí do druhé fáze. Zde je možno nabíjecí proud ovlivnit volbou odporů R1, R2 a R3. Minimální proud je možno zvolit 500 mA, maximální 1,5 A. K výpočtu odporů slouží několik vzorců. Hodnota odporu R3 je dána 42,2 kΩ. Tuto hodnotu výrobce zapomněl uvést v katalogovém listu,

Výpočet hodnoty odporů R1 a R2 (R_{FOD}) pro nastavení nabíjecího proudu se řídí podle následujícího postupu:

$$R_1 = \frac{K_{ILIM}}{I_{BULK}} - R_{FOD} \quad [\Omega] \quad (1)$$

$$R_{ILIM} = R_1 + R_{FOD} \quad [\Omega] \quad (2)$$

$$I_{BULK} = \frac{K_{ILIM}}{R_{ILIM}} \quad [A] \quad (3)$$

Kde I_{BULK} je programovatelný nabíjecí proud. R_{ILIM} je součet odporů R_{FOD} a R_1 .

$$R_{ILIM} = \frac{314}{550 \cdot 10^{-3}} = 570 \Omega$$

Do odporové řady nejlépe zapadají hodnoty odporu $R_1 = 390 \Omega$ a $R_2 = 200 \Omega$. V součtu tedy vychází celkový odpor $R_{ILIM} = 590 \Omega$. Konečný nabíjecí proud je třeba přepočítat na reálně vyráběné odpory.

$$I_{BULK} = \frac{314}{590 \cdot 10^{-3}} = 532 \text{ mA}$$

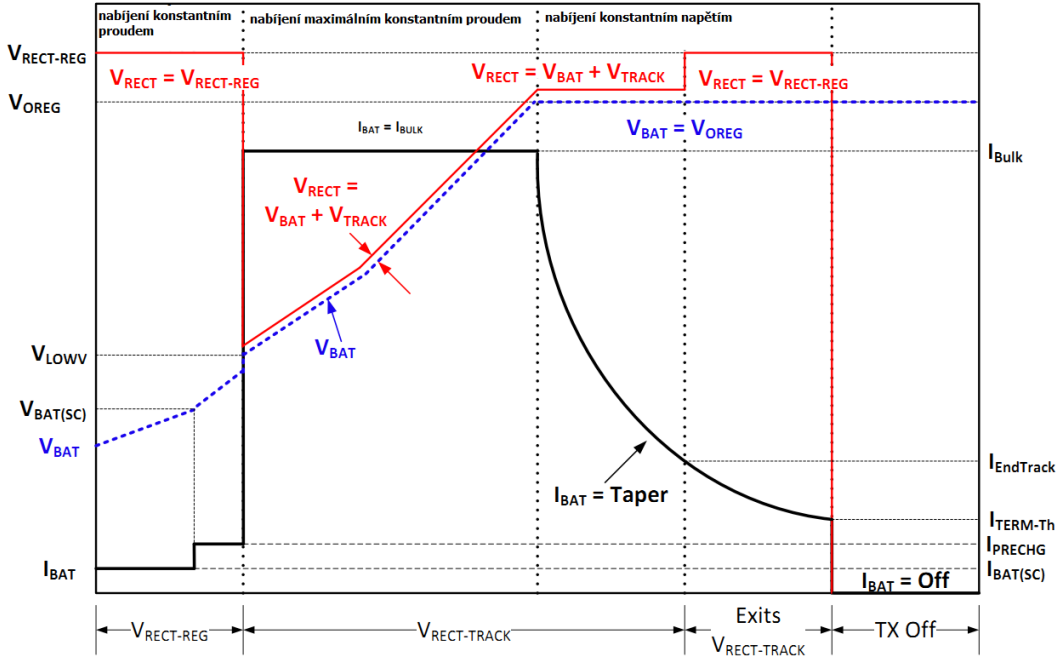
Baterie se tedy nabíjí zvoleným konstantním proudem a roste na ní napětí až do hodnoty 4,2 V. Poté přejde nabíjecí cyklus do poslední třetí fáze.

3. nabíjení konstantním napětím (*Voltage Regulation Phase*). V této fázi je baterie nabíjena konstantním napětím 4,2 V a proud rychle klesá. Konečný proud lze zvolit dle následujícího vzorce:

$$R_{TERM} = K_{TERM} \cdot \%I_{BULK} [\Omega] \quad (4)$$

$$\%I_{BULK} = \frac{R_{TERM}}{K_{TERM}} [\%] \quad (5)$$

Konstanta K_{TERM} je specifikována jako $240 \Omega\%$. Dosažený proud by měl být 10% z $I_{BULK} = 530 \text{ mA}$. Tomu odpovídá 53 mA. Odpor R_4 (R_{TERM}) na Obr. 11 je tedy $240 \cdot 10 = 2,4 \text{ k}\Omega$.



Obr. 12: Nabíjecí cyklus lithiové baterie [12]

Výpočet hodnot kondenzátorů pro doladění rezonančního obvodu

Pro doladění rezonančního obvodu jsou přítomny 3 kondenzátory C13, C14 a C15. V původní konfiguraci podle doporučení výrobce $C13 = 47 \text{ nF}$, $C14 = 39 \text{ nF}$, $C15 = 100 \text{ nF}$. Podle konkrétní přijímací cívky je možno ze vztahu (6) rezonanční obvod doladit. V případě lokátoru se po doladění změnila pozice, kde dochází k nabíjení z kraje nabíjecí cívky doprostřed.

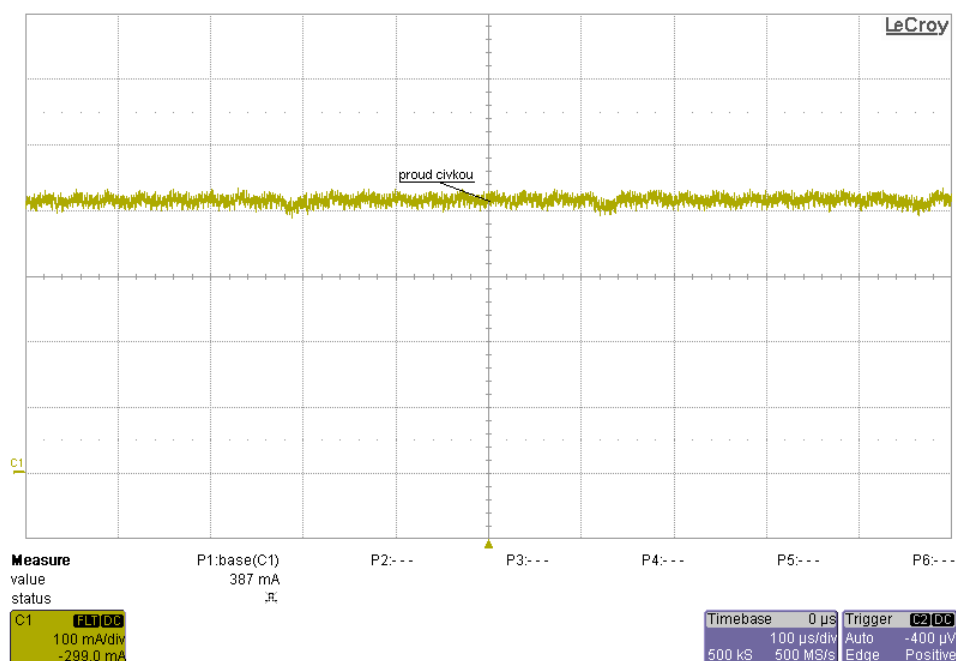
$$C_{celková} = \frac{1}{(2\pi \cdot f_s)^2 \cdot L's} [F] \quad (6)$$

Kde f_s je 100 kHz a $L's$ je indukčnosti přijímací cívky. Dosazením do vzorce za $L's = 12 \mu\text{H}$, což je indukčnost použité cívky. Vyjde celková kapacita 211 nF. Pomocí C13, C14 a C15, které jsou řazeny paralelně lze přesně doladit hodnotu i v případě použití odlišné přijímací

cívky. Zařízení ale není příliš citlivé na výběr cívky, ani potřeby doladění rezonančního obvodu. Experimentálně byla zkoušena nabíjecí cívka z telefonu Nokia Lumia 735 neznámých parametrů a nabíječka fungovala bez problému i s ní.

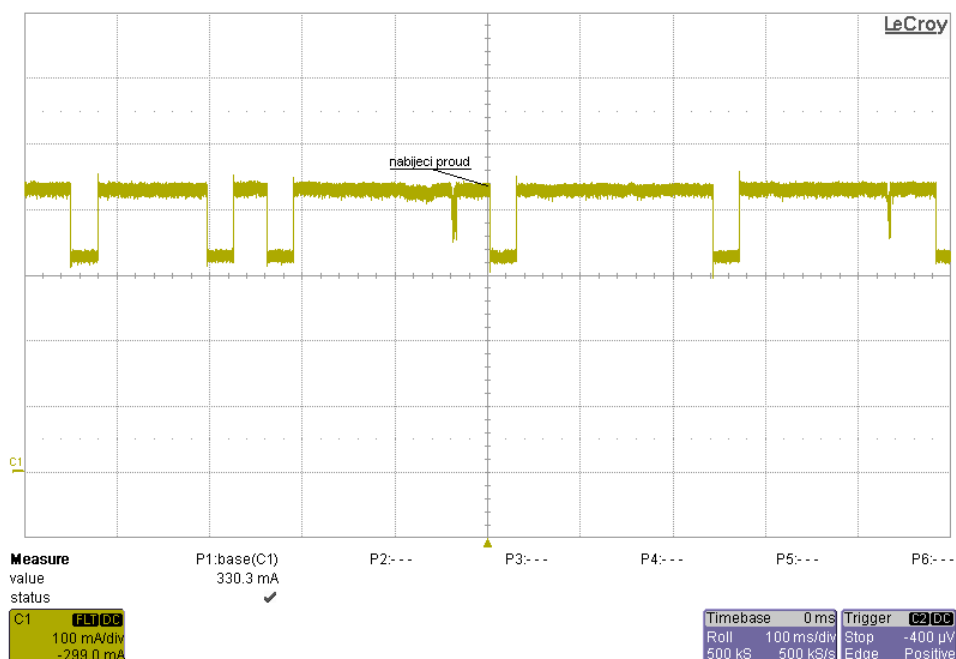
4.1.3 Měření nabíjecího proudu

Při realizaci zařízení bylo zjištěno, že nabíjecí proud nelze měřit klasickou kontaktní metodou. Při tomto měření dosahoval nabíjecí proud asi desetkrát nižší hodnoty, než byla nastavena. Obvod pravděpodobně zjišťuje nějaké parametry baterie, které jsou při vřazeném ampérmetru chybné. Popřípadě by mohl být problém ve vnitřním odporu ampérmetru. Měření nabíjecího proudu tedy probíhalo bezkontaktně, pomocí osciloskopu s proudovou sondou značky LeCroy, využívající Hallova jevu.



Obr. 13: Měření nabíjecího proudu

Na Obr. 13 je vidět nabíjecí proud (hodnota base C1) o velikosti 387 mA. Tento proud byl naměřen při napětí baterie 3,92 V. Ještě je třeba odečíst spotřebu zařízení, které bylo zapnut. Ta činila 25 mA. Nabíjecí proud byl tedy 412 mA. Výpočet dle rovnice (1) říká, že nabíjecí proud by měl být 532 mA. Naměřený proud 412 mA není dán chybou, reálným nýbrž nabíjecím cyklem. Nabíjecí proud je dle teorie konstantní, ale v praxi tomu tak není a se vzrůstajícím napětím baterie stále mírně klesá. Skutečný tvar nabíjecího proudu je velmi dobře vidět na Obr. 14.



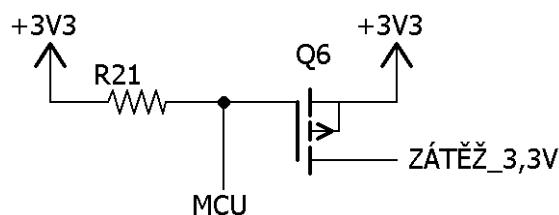
Obr. 14: Tvar nabíjecího proudu

4.1.4 Řešení odpojování napětí pro minimalizaci spotřeby v uspaném režimu

S napájecí částí úzce souvisí možnost odpojit jednotlivé moduly od napájecí sítě. Jedná se o odporový dělič, sloužící k měření napětí baterie, modul GSM, GPS a Bluetooth. Tím je zajištěna možnost resetu obvodů v případě nějakého problému s nimi a také maximální úspora energie, pokud nejsou obvody využívány. Bylo nutné řešit možnost odpojování obvodů na 3,3 V větvi Obr. 15 a 3,7 V větvi Obr. 16, kde není možné z důvodu 3,3 V logiky mikrokontroléru použít stejné zapojení. Následující řešení jsou používána na spodní i vrchní desce.

Odpojování obvodů na 3,3 V větvi

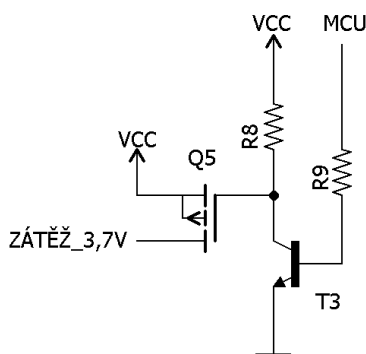
Na Obr. 15 je schéma zapojení, pro obvody na 3,3 V napájecí větvi. Jedná se o jednoduché zapojení s P-MOS tranzistorem Si1427EDH v pouzdře SOT-363. Tranzistor je schopný pracovat do napětí 20 V a spínat zátěž s proudem až 2 A. To je důležité u modulu GSM, který při vysílání v GSM síti může mít proudové špičky až 1,6 A. Pro ostatní moduly stačí s velkou rezervou. Na svorku source je přivedeno konstantní napětí 3,3 V. Vstupní brána (*Gate*) je pomocí 47 kΩ pull up rezistoru, připojeného k 3,3 V držena v „1“. To zaručuje napětí 0 V na výstupu tranzistoru (*Drain*) a zátěž je odpojována. Přivedením hodnoty „0“ ze vstupně – výstupní brány mikrokontroléru na *Gate* tranzistoru dojde k jeho sepnutí a na výstupu *Drain* se objeví napětí přivedené na *Source*. Tím je přivedeno napájení k zátěži a ta tak může plnit požadovanou funkci.



Obr. 15: Zapojení pro odpojování zátěže na 3,3 V větvi

Odpojování obvodů na 3,7 V větvi

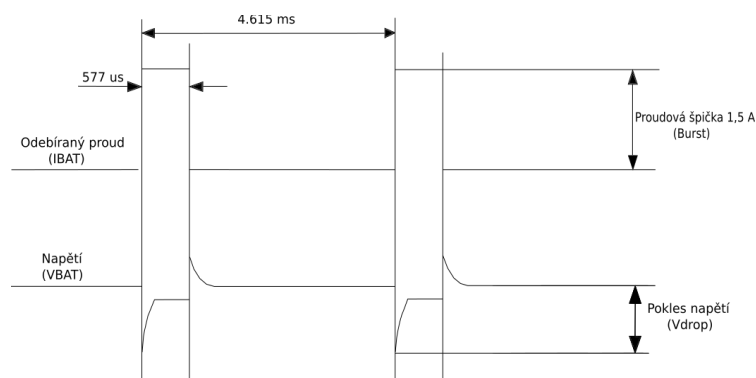
Zapojení je obdobné, jako v předchozím případě, pouze napěťová úroveň je odlišná (3,7 V) a samotný P-MOS tranzistor je držen rozepnutý pomocí 10 kΩ pull up rezistoru. *Gate* tranzistoru je spínán na hodnotu „0“ přivedením hodnoty „1“ z I/O bráně mikrokontroléru na bázi NPN tranzistoru přes rezistor 1 kΩ, který slouží jako zdroj proudu. Při otevření tranzistoru BC847 se na *gate* bráně P-MOS tranzistoru objeví hodnota „0“ a tím je přivedeno napětí na *Drain* svorky tranzistoru (zátěž).



Obr. 16: Zapojení pro odpojování zátěže na 3,7 V větvi

4.2 Zapojení modulu GSM Quectel M66

Zapojení modulu GSM na Obr. 18 vychází z doporučeného katalogového zapojení výrobce. Nejdůležitější částí při návrhu rozhraní GSM je jeho napájecí větev. RF část modulu GSM při připojení do GSM sítě může krátkodobě odebírat proud až 1,6 A. Názorně je problematika zobrazena na Obr. 17. Zde je vidět, že každých 4,615 ms se objeví proudová špička trvající 577 μs proud (IBAT) odebíraný v této špičce může dosáhnout hodnoty 1,6 A (Burst). To způsobí pokles napětí VBAT při její začátku a naopak nárůst napětí při konci. Oba vrcholy těchto výkyvů jsou na grafu znázorněny hodnotou Vdrop. Tato hodnota je důležitá z důvodu, že nesmí přesáhnout 400 mV. Pokud bude hodnota vyšší, modul se automaticky zresetuje, jelikož obsahuje ochranu zvanou Brown Out Reset, která hlídá velký pokles napájecího napětí. [9]



Obr. 17: Proudové špičky modulu GSM [9]

Obě napájecí brány modulu GSM jsou proto v bezprostřední blízkosti připojovacích kontaktů baterie a jsou zvoleny co nejsilnější vodivé cesty. Délka této cesty je asi 1 cm, aby byl minimalizován její odpor. Napájení je možno odpojit pomocí spínače složeného z P-MOS a NPN tranzistoru. Pro pokrytí špiček je zde 100 μ F kondenzátor C45 v kombinaci s paralelně připojenými kondenzátory C29, C30 a C31. Napájení modulu je možno připojit uvedením portu PJ.7 na MCU do hodnoty „1“ a odpojit hodnotou „0“.

Kondenzátor C33 na bráně VRTC slouží k zálohování RTC obvodu modulu GSM a je z něj přímo nabíjen. Brána PWRKEY slouží k hardwarovému uspávání a probouzení modulu. Pro usnutí, či probuzení je třeba na této bráně vytvořit puls sepnutím portu MCU P4.0 po dobu 100 ms na hodnotu „1“. Po resetu napájení však musí být puls dlouhý asi 2,5 s.

Připojení karty SIM k modulu je řešeno pomocí držáku karty SIM ve velikosti nano. Zapojení je katalogové, jen vzhledem k uzavřenosti zařízení a nemožnosti uživatelsky měnit kartu SIM nejsou osazeny ochranné diody. Karta SIM pracuje s napětí 1,8 V, nebo 2,5 V.

Na bráně NETLIGHT je možno číst stavovou informaci modulu dle Tab. 11. Ten je připojen k MCU na portu P4.3.

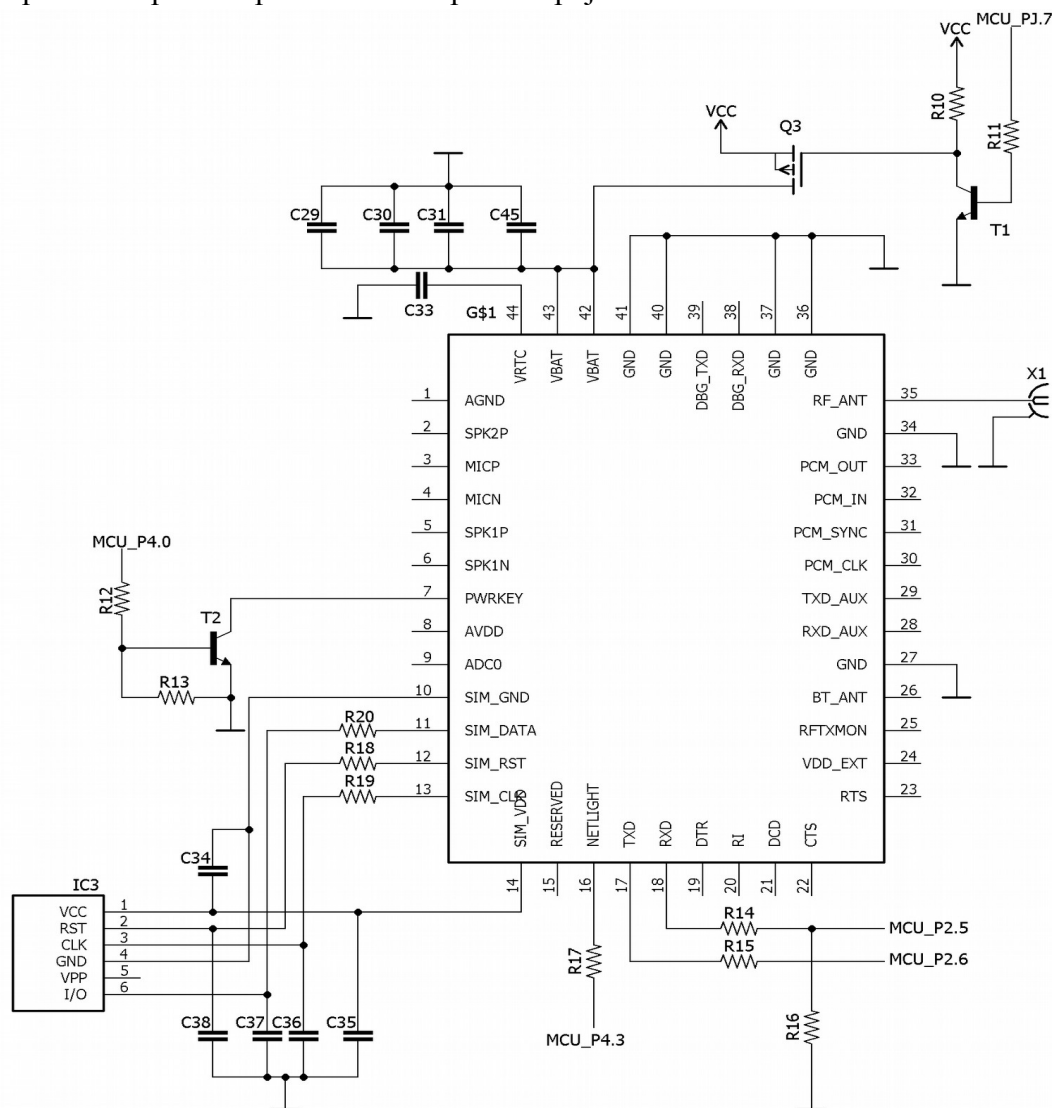
Tab. 11: Indikátor stavu NETLIGHT

Stav:	Funkce modulu:
Vypnuto	Modul není spuštěný
64 ms zapnuto/800 ms vypnuto	Modul není připojen do sítě GSM
64 ms zapnuto/2000 ms vypnuto	Modul je připojen do sítě GSM
64 ms zapnuto/600 ms vypnuto	Přenos dat prostřednictvím GPRS

Modul komunikuje pomocí sériové linky UART, která je připojena k sériové lince UCA1 mikrokontroléru na portu P2.6 (TXD) a P2.5 (RXD). Odporů R14 a R15 slouží jako ochranné. Vzhledem k tomu, že sériová linka modulu GSM pracuje s napětíovou úrovní 2,5 V a linka

v MCU s úrovní 3,3 V. Slouží odpor R16, který tvoří s odporem R14 napěťový dělič k přizpůsobení úrovně z 3,3 V na 2,5 V.

Poslední využívanou bránou modulu GSM, kromě zemnicích bran, je RF_ANT. Ten slouží k připojení externí GSM antény. Anténa použitá v lokátoru je v provedení plošného spoje FR4 Obr. 19, opatřeného připojovacím kabelem a oboustrannou lepící páskou. Anténa je uzpůsobena pro nalepení z boku na plošné spoje lokátoru.



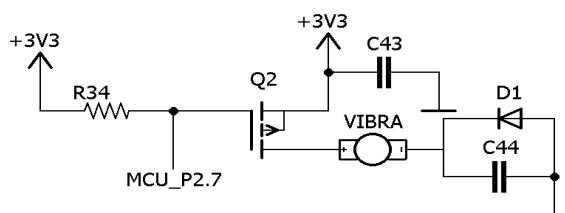
Obr. 18: Schéma zapojení Quectel M66



Obr. 19: GSM anténa

4.3 Zapojení vibračního elementu pro smyslovou odezvu lokátoru

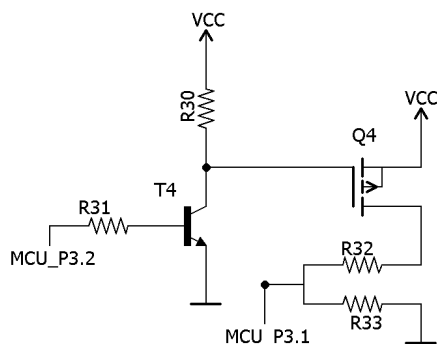
Vibrační element společnosti Precision Microdrives, jehož zapojení je na Obr. 20 je spínán pomocí P-MOS tranzistoru hodnotou logické 0 na portu mikrokontroléru P2.7. Z důvodu možného vyššího proudového odběru při spouštění motůrku je navíc *Source* tranzistoru posílen kapacitorem C43 pro vykrytí proudové špičky. Vzhledem k tomu, že vinutí motoru se chová jako cívka. Je pro ochranu mikrokontroléru důležitá antiparalelně zapojená dioda D1, spolu s blokovacím kondenzátorem C44. Po odpojení napájení od motůrku se na jeho vinutí naindukuje vysoké napětí opačné polarity, které dokáže bránu MCU zničit.



Obr. 20: Zapojení vibračního elementu

4.4 Zapojení pro měření napětí baterie

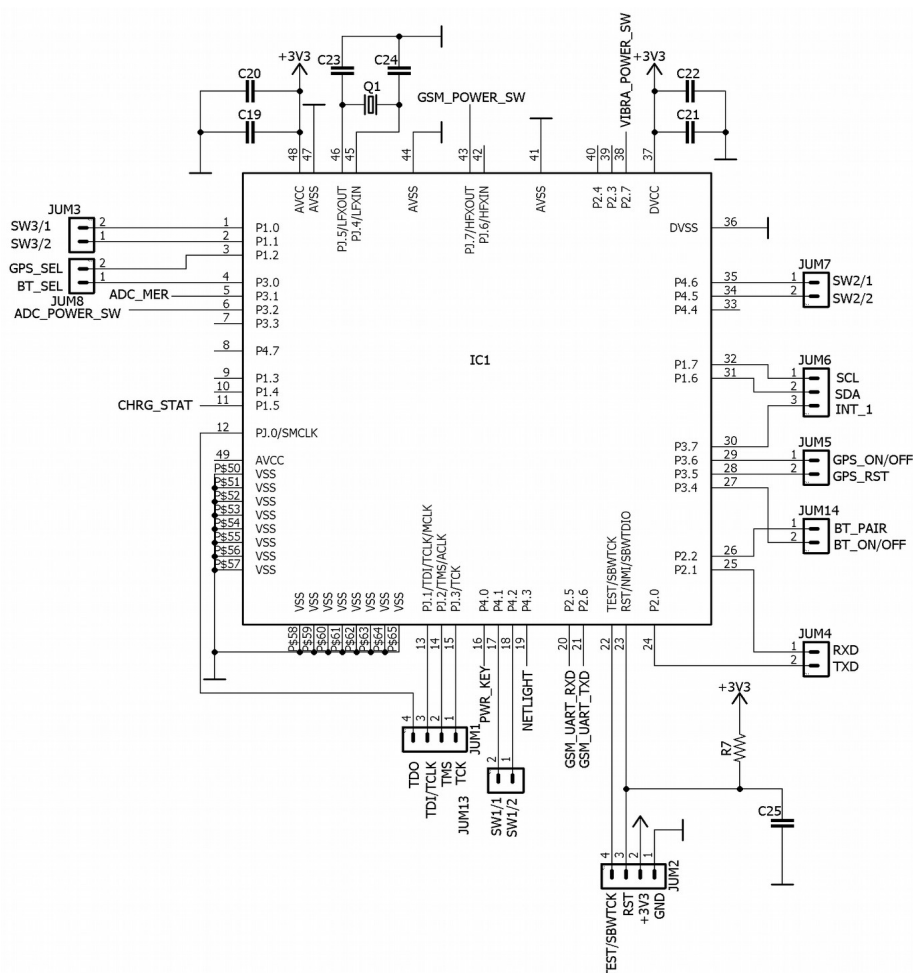
Vzhledem k tomu, že napětí na I/O bráně MCU by nemělo překročit cca 3,6 V a baterie může dosahovat napětí až 4,2 V. Není možno měřit napětí baterie přímo. K tomu slouží odporový dělič složený z odporů R32 a R33 na Obr. 21. Ten zajišťuje, že napětí na bráně MCU je při plně nabité baterii cca 2,5 V. Toto napětí je voleno z důvodu použití 2,5 V, nebo 3,3 V referenčního napětí A/D převodníku MCU. Převodník v MSPFR5969 je 12 bitový, čemuž odpovídá 4095 vzorků při plně nabité baterii a cca 3680 vzorků je uvažováno, je-li baterie vybitá (3,6 V). To dává 415 vzorků na celé rozmezí napětí, vzhledem k pozdějšímu převodu na procenta je rozlišení dostatečné. Měření probíhá na portu P3.1. Vzhledem ke snížení spotřeby je dělič připojen na napájení pouze při měření a to zapsáním hodnoty „1“ na port P3.2.



Obr. 21: Obvod pro měření napětí baterie

4.5 Zapojení mikrokontroléru MSP430FR5969

Ačkoliv řídí mikrokontrolér veškeré periferní obvody a celý projekt na něm prakticky stojí. Z hlediska zapojení viz. Obr. 23 je to jedna z nejjednodušších komponent. Veškerá připojení na jeho porty jsou popsány u jednotlivých periférií. Výstupy, realizovány pomocí součástky JUMX, jsou připojeny na periferní desku pomocí kontaktové lišty, pouze popsané výstupy se nachází na řídicí DPS a jsou realizovány plochým vodičem na plošném spoji.

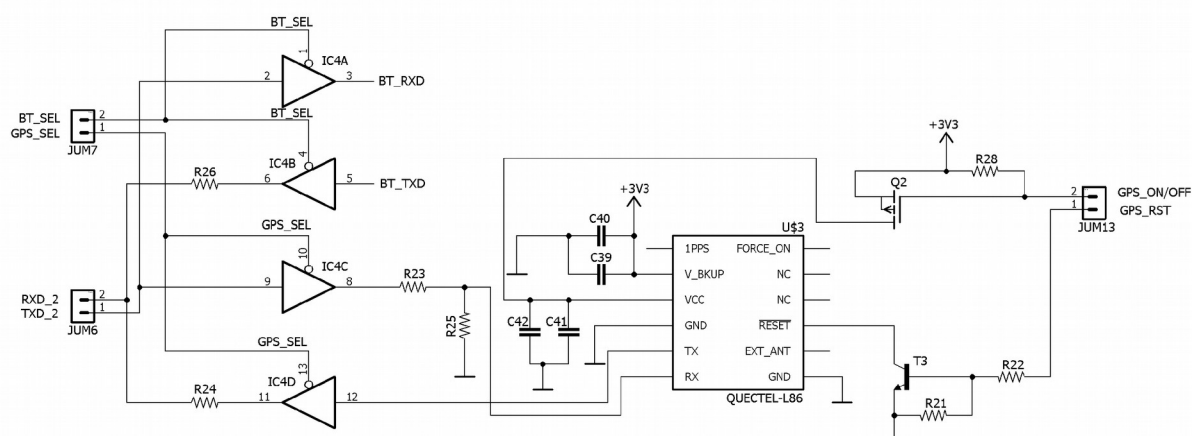


Obr. 22: Zapojení MSP430FR5969

Napájení analogových i digitálních obvodů v MCU je blokováno obligátní kombinací 100 nF a 1 μ F kondenzátorů (C20, C19, C22 a C21). Na porty PJ.5 a PJ.4 je připojen krystal 32,768 kHz, doplněn o kapacitory C23 a C22 pro jeho rozkmitání. Tento krystal slouží k přesnému generování frekvence pro RTC obvod a je aktivní i v módu LPM3, kdy je uspáno jak jádro MCU, tak i jeho vnitřní oscilátory. Na základě nastaveného času se mikrokontrolér probouzí do plně aktivního režimu. Reset MCU je je držen na hodnotě „1“ pomocí pull-up rezistoru R7. Reset si řídí sám JTAG programátor, nebo je možno ho provést přiložením magnetu k příslušnému magnetickému spínači.

4.6 Zapojení modulu GPS Quectel L80 a bufferu 74ABT125PW

Modul Quectel L80 se spolu s bufferem nachází, jako již všechny komponenty v následujících podkapitolách, na periferní desce. Zapojení je uvedeno na Obr. 23. Modul GPS je napájen z větve 3,3 V a napájení je možno odpojit zapsáním hodnoty „0“ na port P3.6. Ve výchozím stavu je napájení vypnuto. Modul je možno resetovat také zapsáním hodnoty „1“ na port MCU P3.5. Napájení modulu je ošetřeno dvojicí blokovacích kondenzátorů C41 a C42. RTC obvod, který je přítomný v modulu je zálohován z baterie a napájení je blokováno kondenzátory C39 a C40.

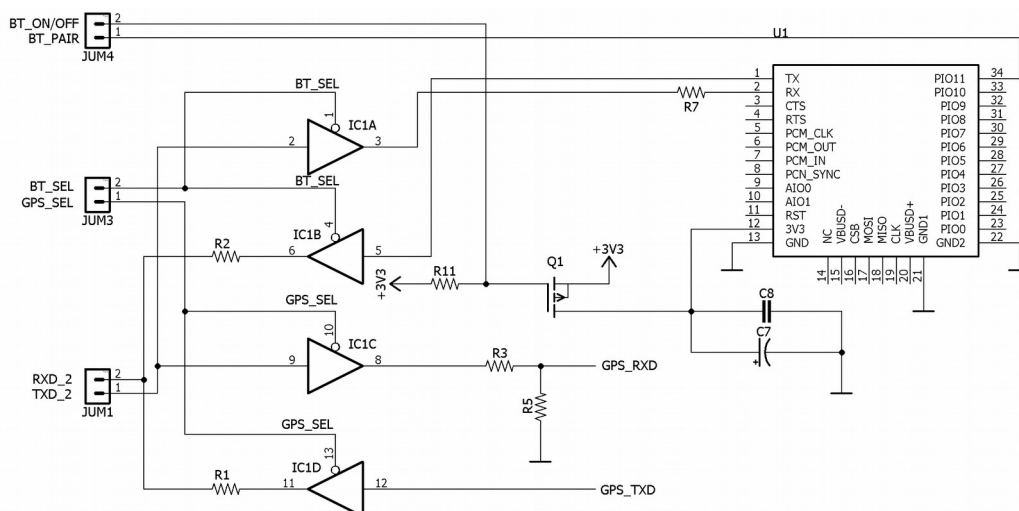


Obr. 23: Zapojení GPS Quectel L80 a bufferu 74ABT125PW

Komunikace probíhá po sériové lince, která je přizpůsobena napěťové úrovni MCU (popsáno u modulu GSM). Vzhledem k tomu, že mikrokontrolér má hardwarově pouze 2 sériové linky, sdílí modul GPS linku s modulem Bluetooth. Přepínání je vyřešeno pomocí bufferu 74ABT125PW. Linka se aktivuje zapsáním hodnoty „0“ na port P1.2 a „1“ na port P3.0. Samotný UART je připojen na porty P2.1 (RXD) a P2.0 (TXD)

4.7 Zapojení modulu Bluetooth HC-05

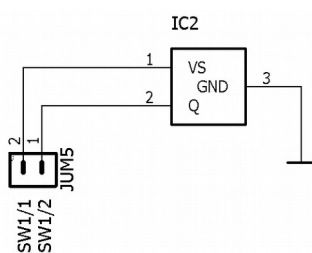
Napájení modulu je z 3,3 V větve a celý modul je možno vypnout odpojením od napájení zapsáním hodnoty „0“ na portu MCU P3.4. Napájení je ošetřeno blokovacím kondenzátorem C2 a C3. Komunikace je zajištěna sériovou linkou UART. Pro komunikaci s řídicím mikrokontrolérem je třeba nastavit port P3.0 na hodnotu „1“ a P1.2 na hodnotu „0“. Tím dojde k přepnutí linky z modulu GPS na Bluetooth. Na port P2.2 je přivedena brána PIO11, který slouží pro aktivaci režimu párování. Modul Bluetooth není prozatím v lokátoru využíván.



Obr. 24: Zapojení Bluetooth modulu HC-05

4.8 Zapojení magnetických spínačů TLE 4913

Zapojení magnetických spínačů na Obr. 25 je velice jednoduché. Vzhledem k maximální spotřebě proudu 2,5 mA a možnosti vypnutí napájení je napájecí brána obvodu napájena přímo z mikrokontroléru. Jedná se o bránu s označením VS. Brána Q slouží ke čtení logické hodnoty mikrokontrolérem. Ta je po přiložení magnetu (vytvoření magnetického pole) „0“, pokud v okolí spínače není magnetické pole, nebo je slabé, je pak hodnota „1“. Spínače jsou celkem 3 po libovolné nastavení a jeden pro resetování MCU. Spínače jsou unipolární, takže nezáleží na polaritě magnetu.

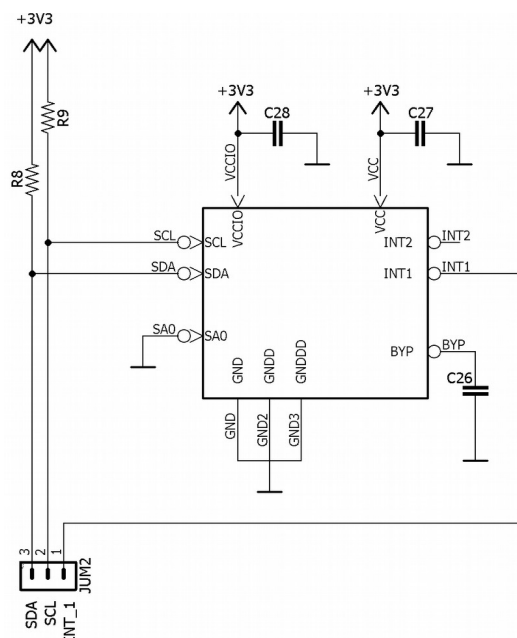


Obr. 25: Zapojení magnetického spínače TLE 4913

4.9 Zapojení akcelerometru MMA8453Q

Akcelerometr je posledním typem obvodu, použitým v lokátoru. Momentálně není využíván a je osazen pro případné využití v budoucích verzích. Schéma jeho zapojení je na Obr. 26. Modul je napájen napětím 3,3 V. Napájecí brány pro analogové i digitální obvody v obvodu jsou blokovány kondenzátory C28, C27 a C26. Komunikace s MCU je řešena pomocí sběrnice I²C na portech P1.6 (data) a P1.7 (hodiny). Pull-up rezistory R8 a R9 jsou

nezbytné pro fungování sběrnice. Výstup obvodu INT1 je připojen k portu P3.7. Tento výstup slouží ke generování *interrupt* pulsu pro případné probouzení mikrokontroléru. Samotný obvod lze nastavovat pomocí jeho registrů. Po nastavení příslušných hraničních hodnot přetížení ve třech osách se při jejich překročení automaticky vygeneruje *interrupt* signál na bráně INT1.



Obr. 26: Schéma zapojení akcelerometru MMA8453Q

4.10 Technologie DPS

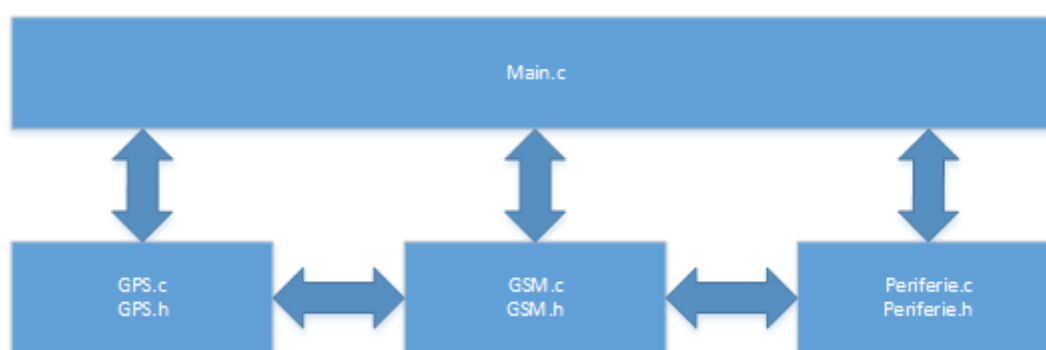
Desky plošných spojů jsou zhotoveny v profesionální kvalitě. Použitý materiál základního substrátu je FR4 tloušťky 1,5 mm. Desky jsou zhotoveny jako dvojvrstvé. Tloušťka základní plátované mědi je 35 μm . Minimální vzdálenost mezi vodivou cestou a mezerou je 150 μm . Použité prokovené otvory mají minimální průměr 0,3 mm. Pro povrchovou úpravu pájecích plošek a prokovených otvorů byl zvolen dražší a kvalitnější Enig. DPS jsou opatřeny také zelenou nepáživou maskou. Fotografie reálných DPS jsou uvedeny v příloze.

5 Programové vybavení mikrokontroléru

Vývojové prostředí pro mikrokontroléry Texas Instruments se nazývá Code Composer Studio a jedná se o oficiální prostředí podporované firmou. Existuje ve verzi pro Windows, Linux i MACOSX. Staví na platformě Eclipse a pro samotné programování MCU je využit jazyk C++. Vzhledem k tomu, že FR5969 nabízí 64 kB paměti, není problémem používat tento vyšší programovací jazyk. Při vytváření nového projektu bylo třeba nejprve vybrat použitý typ mikrokontroléru, aby se přiřadil správný jeho hlavičkový soubor.

Vývojové prostředí se dělí na 2 části. První je vlastní editor pro psaní kódu a druhá část je debugger, která slouží pro ladění programu. Umožňuje zobrazovat proměnné a jejich obsah, krokovat program i pracovat se zářázkami. Prostředí Code Composer Studio umožňuje také přidávání rozšiřujících zásuvných modulů. V používané bezplatné licenci verzi umožňuje studio maximální velikost programu 16 kB.

Samotný program je rozdělen celkem do 4 zdrojových souborů, ke kterým se vážou 3 hlavičkové. Celá struktura je znázorněna na Obr. 27.



Obr. 27: Struktura programu

Soubory jsou vytvořeny tak, aby byl celý kód co nejpřehlednější. V souboru GPS.c se tedy nachází funkce úzce spjaté s ovládáním modulu GPS a komunikaci s ním. Soubor GSM.c obsahuje funkce, které se váží k funkci modulu GSM. Tedy se jedná především o zpracování přijaté SMS a odeslání správných dat z lokátoru. V souboru Periferie.c jsou naopak funkce, které se váží například k časovači, či A/D převodníku (měření napětí baterie). Jedná se tedy především o podpůrné funkce. V hlavním souboru Main.c jsou spojeny všechny soubory v jeden celek. Obsahuje většinu inicializací, nekonečnou programovou smyčku a také obsluhu některých přerušení. Hlavičkové soubory *.h pak obsahují obligátní deklaraci všech funkcí tak, aby bylo možné je volat a používat z ostatních souborů.

5.1 Ovládání lokátoru

Ovládání samotného lokátoru je uživatelsky velice jednoduché. Vzhledem k tomu, že se jedná o velmi uzavřenou platformu a prakticky jednoúčelové zařízení, je uživateli skryta většina řešení, která jsou maximálně zautomatizována. K ovládání zařízení postačuje, aby bylo v dosahu GSM sítě. Pro ovládání je možno využít jakýkoliv mobilní telefon. Pro lepší komfort a možnosti využití je doporučen telefon s přístupem na internet a ideálně osazen GPS čipem.

Komunikace probíhá pomocí SMS zpráv. Nakonfigurovány jsou 2 typy zpráv:

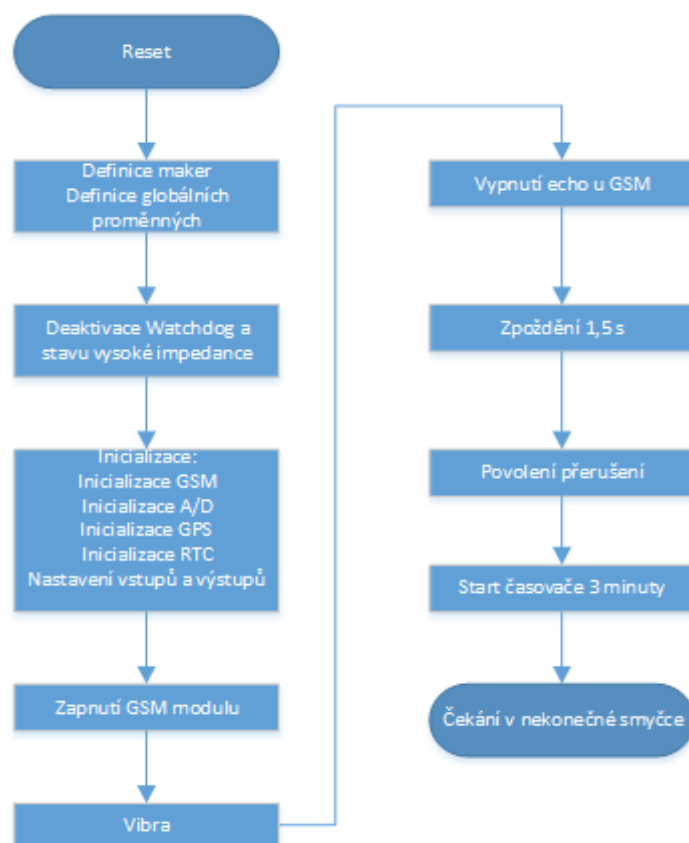
1. při odeslání SMS zprávy s textem „Stav“ vrátí lokátor v zprávě SMS stav baterie, přičemž jsou využívány jednotky %, které jsou pro běžného uživatele nejsrozumitelnější,
2. při odeslání SMS zprávy s textem „Poloha“ vrátí lokátor ve zprávě SMS čas v pásmu UTC, který odpovídá době zaznamenání souřadnic GPS. Souřadnice jsou další informací, které lokátor v SMS zprávě vrátí. Poslední položkou je odkaz na Bing mapy. Ten automaticky po otevření spustí aplikaci Bing mapy, která je zvolena s ohledem dostupnosti na všech platformách a ukáže na mapě polohu lokátoru.

Při komunikaci pomocí SMS zpráv může být odezva na příkaz i několik minut. Souvisí to nejen s úsporou energie, nastavenou v zařízení, ale také různě době přijetí SMS ze sítě v lokátoru a následnému přijetí SMS zprávy na uživatelské straně. Tato doba nelze nijak ovlivnit.

Uživatel také může lokátor zresetovat přiložením magnetu k místu, kde se na jeho obalu nachází šipka. Pokud reset proběhne, uživatel to zaregistruje krátkým zavibrováním lokátoru. Pokud se lokátor nenachází v režimu spánku a je v dosahu GSM sítě, při vytočení jeho čísla musí telefon vyzvánět obvyklým způsobem.

5.2 Popis programu po resetu lokátoru (inicializace)

Na vývojovém diagramu Obr. 28 je zobrazena inicializace lokátoru. Prvotní inicializace proběhne v praxi po zapojení baterie. Vzhledem k uzavřenému zařízení je baterie připojena neodnímatelně, takže novou inicializaci zařízení je možno vyvolat resetem zařízení. Po přiložení magnetu do příslušného místa dojde k resetu lokátoru. Po něm jsou nejprve nadefinovány makra a globální proměnné. Poté program postoupí do hlavní smyčky (main). Zde je provedena deaktivace watchdog časovače, který by jinak způsoboval resetování mikrokontroléru. Důležité je přepnutí portů ze stavu vysoké impedance. Pokud by porty nebyly přepnuty, jejich další nastavení by nebylo respektováno.



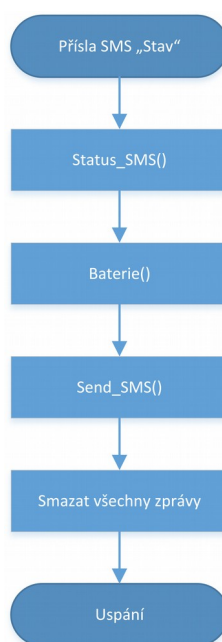
Obr. 28: Vývojový diagram spuštění lokátoru (reset)

Dále přichází na řadu inicializace jednotlivých periférií. U modulu GSM a GPS se nejdříve jedná o nastavení příslušného portu sériové linky UART. U ostatních periférií je nakonfigurováno jejich výchozí nastavení. Teprve poté jsou nastaveny ostatní porty MCU. S tím souvisí i zapnutí modulu GSM. Pokud vše proběhne jak má, tak v tomto okamžiku je o úspěšné inicializaci zařízení uživatel informován zavibrováním lokátoru. U modulu GSM je následně příkazem ATE0 vypnuto echo. Echo znamená, že modul nejdříve vrátí stejný příkaz, který mu byl poslán. V tomto případě je nežádoucí. Po zpoždění 1,5 s, kdy je především dokončena inicializace modulu GSM je povolen přerušovací systém mikrokontroléru a před čekáním na příkaz v nekonečné smyčce je spuštěn časovač, který drží lokátor 3 minuty v zapnutém stavu. V této době zařízení čeká na SMS příkaz.

5.3 Přijetí zprávy „Stav“

Při přijetí SMS zprávy s textem „Stav“ vrátí lokátor informaci o stavu baterie. Operace prováděné při reakci na tuto zprávu jsou na vývojovém diagramu Obr. 29. Bezprostředně po dekodování SMS je volána funkce „Status_SMS()“. Tato funkce nejprve volá funkci „Baterie()“, která připojí dělič napětí k bráně MCU a následně pomocí 12-bitového A/D

převodníku změří napětí baterie, které je převedeno na jednotky % a uloženo do globální proměnné. Následně je volána funkce „Send_SMS()“. Ta nastaví modul GSM pomocí příkazu „AT+CMGF=1“ do textového módu a pomocí „AT+CMGS=\\”telefonní číslo\\”“ nastaví telefonní číslo, na které se informace budou odesílat. Nyní je možno zapisovat text, který bude následně odeslán. Text musí být datového typu char. Pokud je odeslán znak „0x1A“, dojde k odeslání SMS zprávy. Následně je modul uveden znovu do textového módu a příkazem „AT+QMGDA=\\”DEL ALL\\”“ jsou smazány veškeré zprávy uložené v modulu. Tento krok je velmi důležitý, jinak by při zaplnění paměti zpráv modul nebyl schopen přijímat nové zprávy. Po odeslání zprávy je lokátor uveden do režimu spánku, kdy má minimální proudový odběr.



Obr. 29: Vývojový diagram SMS Stav

5.4 Přijetí zprávy „Poloha“

Při přijetí SMS zprávy s textem „Poloha“ vrátí lokátor informaci o jeho poloze, včetně času v UTC, kdy byla poloha zaznamenána a odkazem na Bing mapy. Operace prováděné při reakci na tuto zprávu jsou na vývojovém diagramu Obr. 30. Bezprostředně po dekódování SMS je volána funkce „Poloha()“. Ta připojí napájení modulu GPS, čímž je modul zapnut. Zde je časové zpoždění 10 s, které by mělo s rezervou stačit na to, aby se modul v případě kvalitního signálu připojil k satelitům GPS. Po tomto zpoždění je povoleno přerušení od UCA0.

Modul kontinuálně posílá každou vteřinu několik stavových paketů, které obsahují různé

údaje o poloze, směru pohybu, času, počtu viditelných satelitů, počtu satelitů, na které je modul fixován a další. Pro potřeby lokátoru se nejlépe hodí paket, který začíná slovem „\$GPRMC“, které je v paketu vyhledáváno. V překladu znamená minimální doporučené hodnoty. Jak paket vypadá a jeho rozkódování je uvedeno v Tab. 12. Pokud je tento paket detekován, za slovem se zaznamená následujících 64 znaků. Celkem je tedy zaznamenáno pole o velikosti 70 bajtů.

Tab. 12: Příklad paketu \$GPRMC a jeho dekodování [16]

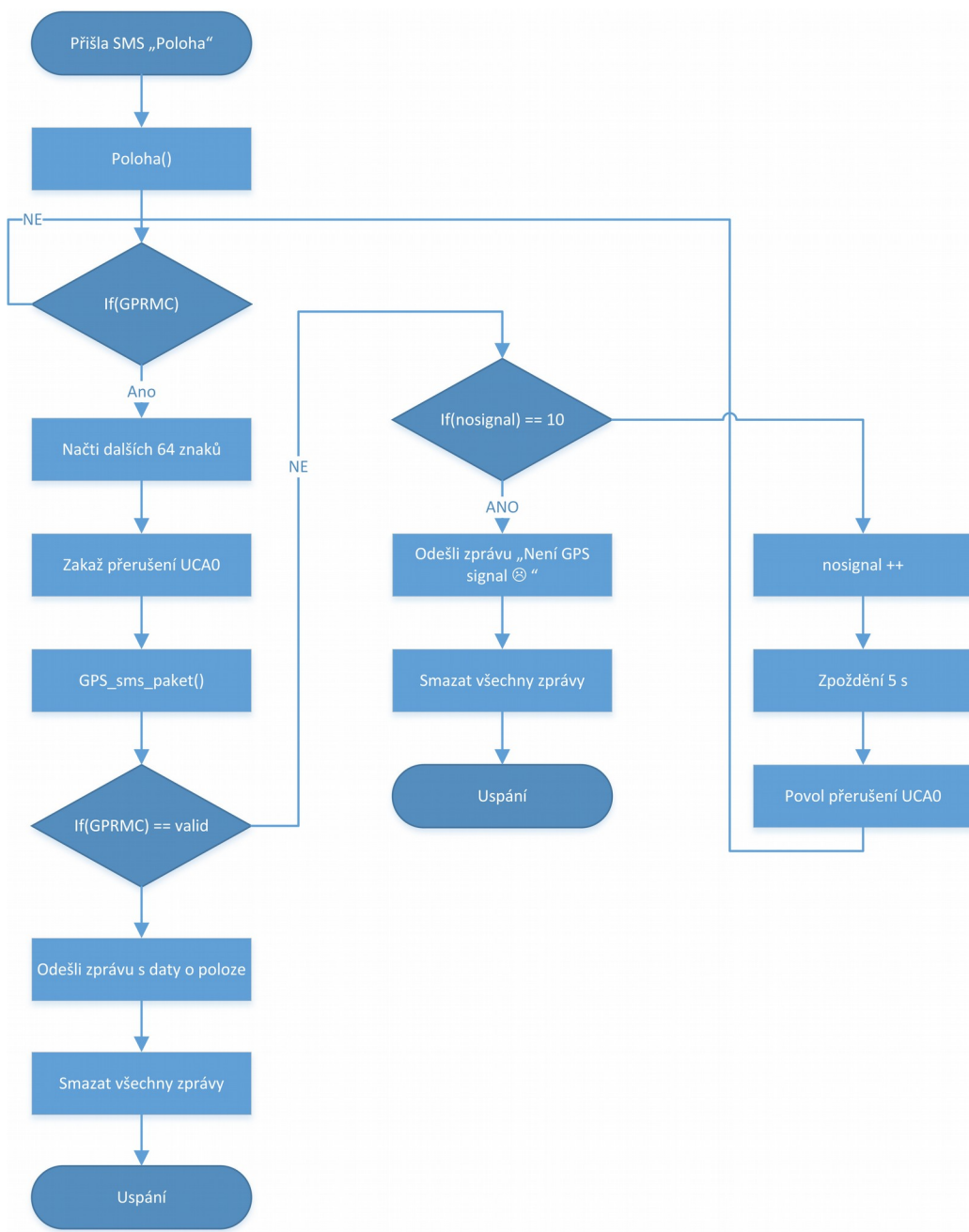
Příklad paketu \$GPRMC		
\$GPRMC,225446,A,4916.45,N,12311.12,W,000.5,054.7,191194,020.3,E*68		
Poř.	Data	Popis
1	225446	Čas připojení na satelity (UTC)
2	A	Data v pořádku? A = ano, V = ne
3	4916.45	Zem. šířka 49° 16,45 min
4	N	Severně
5	12311.12	Zem. délka 123° 11,12 min
6	W	Západně
7	000.5	Rychlost v uzlech
8	054.7	Kurz pohybu ve stupních
9	191194	Datum ddmmyy
10	020.3	Magnetická deklinace ve stupních
11	E	Indikátor východ/západ (E/W)
12	*68	Kontrolní součet

Po přijetí celého paketu je zakázáno přerušení vyvolané na přijímacím bufferu sběrnice UCA0. Zavolána je funkce „GPS_sms_paket()“, která ze všeho nejdříve ověří, zda jsou data s polohou v pořádku. V Tab. 12 tomu odpovídá položka 2. Pokud je na této pozici znak „A“:

1. jsou volány příslušné funkce, které sestaví SMS zprávu, která obsahuje čas získání polohy v UTC (položka 1), dále zeměpisnou šířku, které odpovídá položka 3, při čemž je použit stejný formát. Dále obsahuje položku 4, 5 a 6. Pokud jsou načteny všechna data, dojde k odeslání SMS zprávy a následně smazání všech přijatých i odeslaných zpráv. Posledním krokem je uspání celého zařízení,
2. pokud je na pozici 2 znak V, nebo jiný, znamená to, že paket není v pořádku. V tomto případě se nejprve zkontroluje, zda proměnná „nosignal“ nenabyla hodnoty 10. Pokud ano, tak popis pokračuje bodem 3. Pokud ne, je zvýšena hodnota proměnné „nosignal“ o 1. Následuje časové zpoždění 5 s. Toto zpoždění slouží modulu GPS, aby získal další čas pro identifikaci jeho polohy. Po tomto čase je znovu povoleno přerušení

vyvolané na přijímacím bufferu sběrnice UCA0. A program pokračuje bodem 1,

3. pokud je hodnota proměnné „nosignal“ 10, znamená to, že modulu se ani po cca 50 s času nepodařilo získat platnou hodnotu polohy a je tedy důvodné podezření, že se modul nenachází v dosahu satelitů. V praxi tomu většinou odpovídá, že se modul nachází v budově, nebo terénu, který zastínil výhled na nebe. V tomto případě lokátor vrátí SMS zprávu s textem „Není GPS signál :-“. Následně jsou smazány všechny zprávy a zařízení je uspáno.



Obr. 30: Vývojový diagram SMS Poloha

Závěr

V rámci semestrálního projektu byl nejdříve proveden průzkum trhu. Při průzkumu trhu bylo zjištěno, jaká komerční řešení existují, jaká mají využití a možnosti. Bylo vyzorováno i množství technických parametrů těchto zařízení. Na základě tohoto průzkumu, konzultací s vedoucím práce a vlastního uvážení vznikla koncepce hermeticky uzavřeného zařízení, jehož konstrukci práce popisuje.

Vzhledem k této myšlence bylo třeba zvážit technické otázky konstrukce zařízení a přihlédnout k nim při výběru vhodných obvodů. Zařízení obsahuje díky požadavku na možnost hermetického uzavření méně obvyklé prvky. Jedním z nich je blok bezdrátového nabíjení. Dalším je použití magnetických spínačů, namísto obvyklých mechanických tlačítek. Obvody byly vybrány s ohledem na rozměry a nízkou spotřebu.

V rámci diplomové práce vznikl funkční prototypový vzorek, který vyhovuje danému konceptu a základním potřebám GPS lokátoru. Bylo tedy ověřeno, že v praxi lze v dnešní době vytvořit hermeticky uzavřené zařízení, které díky množství bezdrátových technologií může být porovnáno s většinou klasických konstrukcí. Také cena tohoto zařízení nemusí být vyšší, než ta za kterou jsou prodávány obvyklé komerční produkty.

Z hlediska hardwaru fungovalo celé zařízení již při prvním zapojení. I přes to se vyskytly různé drobné obtíže, které bylo třeba identifikovat a odstranit. Asi největším a nejdéle trvajícím problémem byl zdánlivě nízký nabíjecí proud baterie. Díky chybě v katalogovém listu výrobce bylo velmi obtížné nastavit správný nabíjecí proud. V první fázi byly špatně zvoleny hodnoty rezistorů, které proud nastavovaly. Ani se správným nastavením proudu a experimentálním doladěním rezonančního kmitočtu cívky ale nebylo dosaženo potřebného nabíjecího proudu. Nejednalo se nakonec o žádnou hardwarovou chybu, ale o zjištění, že nabíjecí proud není možno měřit klasickou kontaktní metodou vřazeného ampérmetru. V tomto případě zafungovala některá z ochran baterie přítomná v nabíjecím obvodu. Při bezkontaktní metodě měření se podařilo ověřit předchozí hypotézu. Nabíjecí proud již měl předpokládanou velikost.

Další problém se vyskytl s modulem GSM, který zpočátku nereagoval na vyslaná data. Ukázalo se, že ani při správném spuštění dle katalogového listu výrobce nedojde k jeho zapnutí. Nakonec se problém povedlo vyřešit prozkoumáním katalogového listu jiného modulu GSM od stejného výrobce, kde byl uveden správný postup spuštění, po připojení napájení.

Posledním vážnějším problémem, řešeným v průběhu diplomové práce byla zdánlivá odchylka asi 25 km v poloze vracené modulem GPS. Chybu způsobilo nesprávné dekódováním paketu.

Současná verze lokátoru umožňuje základní sledování polohy a informace o stavu baterie. Komunikace probíhá výhradně pomocí SMS zpráv. Také je implementován základní úsporný režim. Do budoucna je možné lokátor z hlediska jeho funkčnosti dále rozšiřovat. Z prozatím programově nevyužitého hardwaru je nad rámec zadání připraven zejména Bluetooth a akcelerometr. Kapacita volné paměti i rezerva ve výkonu mikrokontroléru je značná. Na budoucí rozšíření funkcí lokátoru je pamatováno i z hlediska možnosti doplnit podporu datových přenosů. Na základě výše uvedených skutečností se podařilo splnit zadání diplomové práce a navrhnout i zkonstruovat funkční prototypový vzorek lokátoru, který je schopen vyhovět všem zadaným parametrům.

Seznam použitých zdrojů

- [1] Občanský zákoník. In: *89/2012 Sb.* 2012.
- [2] NASPERS OCS CZECH REPUBLIC, S.R.O. *Heureka: nakupujte s přehledem* [online]. 2015 [cit. 2015-12-02]. Dostupné z: <http://www.heureka.cz/>
- [3] KIPPY. *GPS tracker for dog and cats: Kippy the Pet Finder* [online]. 2015 [cit. 2015-12-02]. Dostupné z: <https://www.kippy.eu/gps-tracker-for-dogs-pet-locator#dispositivo>
- [4] *SPYobchod.cz: Specialista na špionážní techniku* [online]. 2015 [cit. 2015-12-02]. Dostupné z: <http://www.spyobchod.cz/>
- [5] Mini hiking watch gps tracker tk109, watch gps tracker tk109. *Alibaba* [online]. 2015 [cit. 2015-12-02]. Dostupné z: http://www.alibaba.com/product-detail/Mini-hiking-watch-gps-tracker-tk109_1972272840.html?spm=a2700.7724857.29.46.MZxExP
- [6] BERKA, Štěpán. *Elektrotechnická schémata a zapojení*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2010, s. 229. ISBN 978-80-7300-254-1.
- [7] TEXAS INSTRUMENTS. *MSP430FR59xx Mixed-Signal Microcontrollers* [online]. Dallas, 2015, 132 s. [cit. 2015-12-03]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/gpn/msp430fr5969>
- [8] QUECTEL. *Quectel L86 Compact GNSS Module Integrated with Patch Antenna MT3333 Solution* [online]. 2015, 2 s. [cit. 2015-12-03]. Dostupné z: <http://www.quectel.com/product/prodetail.aspx?id=77>
- [9] QUECTEL. *Quectel M66 The World's Smallest LCC Quad-band GSM/GPRS Module* [online]. 2015 [cit. 2015-12-03]. Dostupné z: <http://www.quectel.com/product/prodetail.aspx?id=73>
- [10] ITEAD STUDIO. *HC-05 -Bluetooth to Serial Port Module* [online]. 2010 [cit. 2015-12-04]. Dostupné z: ftp://imall.iteadstudio.com/Modules/IM120723009/DS_IM120723009.pdf
- [11] FREESCALE SEMICONDUCTOR. *MMA8453Q, 3-Axis, 10-bit/8-bit Digital Accelerometer* [online]. 2015 [cit. 2015-12-04]. Dostupné z: http://cache.freescale.com/files/sensors/doc/data_sheet/MMA8453Q.pdf
- [12] TEXAS INSTRUMENTS. *Bq5105xB High-Efficiency Qi v1.1-Compliant Wireless Power Receiver and Battery Charger* [online]. 2015 [cit. 2015-12-06]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/bq51050b.pdf>

- [13] Jak funguje bezdrátové nabíjení (nejen) u Limií. BOČEK, Vít. *Mobilmania* [online]. 2012 [cit. 2015-12-14]. Dostupné z: <http://www.mobilmania.cz/clanky/jak-funguje-bezdratove-nabijeni-nejen-u-lumii/jak-funguje-bezdratove-nabijeni-vyrobte-si-doma/sc-3-a-1321953-ch-1057149/default.aspx#articleStart>
- [14] WIRELESS POWER CONSORTIUM. *Wireless Power Consortium* [online]. 2015 [cit. 2015-12-14]. Dostupné z: <http://www.wirelesspowerconsortium.com/>
- [15] SIDDABATTULA, Kalyan. Why Not A Wire?: The case for wireless power. TEXAS INSTRUMENTS. *Texas Instruments* [online]. 2015 [cit. 2015-12-14]. Dostupné z: www.ti.com
- [16] GPS - NMEA sentence information [online]. [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: <http://aprs.gids.nl/nmea/#rmc>

Seznam symbolů a zkratek

Qi	Standard bezdrátového nabíjení vyvinutý konsorciem firem Wireless Power Consortium
GPS	Global Position System (družicový systém pro určení polohy na Zemi)
GSM	Groupe Spécial Mobile (globální systém pro mobilní komunikaci)
GPRS	General Packet Radio Service (služba umožňující přenos dat přes GSM a připojení k internetu)
SMS	Short Message Service (služba krátkých textových zpráv v mobilní síti)
3G	Third generation (sítě třetí generace mobilních komunikačních technologií)
RF	Radio Frequency (specifická rádiová frekvence)
IPxx	Ingress Protection (stupeň ochrany krytím)
iOS	Mobilní operační systém společnosti Apple
GLONASS	Globalnaja navigacionnaja sputnikovaja sistema (globální navigační družicový systém vyvinutý v Rusku, obdoba GPS)
LBS	Location-based service (orientační zaměření polohy zařízení pomocí vysílače operátora)
SOS	Mezinárodní tísňový signál, také označení zařízení pro pomoc v nouzi
ID	Identification number (identifikační číslo)
UART	Universal Asynchronous Receiver and Transmitter (Univerzální asynchronní přijímač a vysílač)
I ² C	I-Two-C (dvoudrátová sériová sběrnice)
RISC	Reduced Instruction Set Computing (mikroprocesor s omezenou instrukční sadou)
EPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory (elektricky mazatelná paměť)
FRAM	Ferromagnetic RAM (feromagnetická operační paměť)
SRAM	Static ram (statická operační paměť)
LPM3	Low Power Mode 3 (úsporný režim mikroprocesorů TI)
A/D	Analog / Digital (analogově / digitální)
I/O	Inputs / Outputs (vstupní / výstupní)
AGPS	Assisted GPS (Asistovaná GPS, pomocí sítě mobilních operátorů)
LCC	Leadless Chip Carrier (pouzdří integrovaného obvodu)
2G	Second generation (sítě druhé generace mobilních komunikačních technologií)
TCP	Transmission Control Protocol (protokol transportní vrstvy)
UDP	User Datagram Protocol (protokol ze sady protokolů internetu)

FTP	File transfer Protocol (protokol pro přenos souborů)
HTTP	Hypertext Transfer Protocol (protokol pro výměnu hypertextových dokumentů)
SMTP	Simple Mail Transfer Protocol (protokol pro přenos zpráv elektronické pošty)
CMUX	Customer Multiplexer (rozšíření AT příkazů)
SSL	Secure Sockets Layer (protokol pro zabezpečení HTTP datových přenosů šifrováním.
EDR	Enhanced Data Rate (rozšíření rozhraní Bluetooth)
VQFN	Quad Flat No-leads (pouzdro integrovaného obvodu)
LDO	Low-dropout regulator (regulátor napětí s nízkým úbytkem napětí)
P-MOS	P-type metal-oxide-semiconductor (tranzistor s přechodem polovodič/kov P)
NPN	Bipolární tranzistor typ NPN
RTC	Real-time clock (obvod reálného času)
SIM	Subscriber identity module (účastnická identifikační kart)
TXD	Transmit (vysílání)
RXD	Receive (příjem)
FR4	Flame retardant type 4 (nehořlavá nosná podložka plošného spoje typ 4)
MCU	Microcontroller (mikrokontrolér)
A/D	Analog-to-digital converter (analogově digitální převodník)
DPS	Deska plošných spojů
JTAG	Joint Test Action Group (standardizované testovací a programovací rozhraní)
UTC	Coordinated Universal Time (univerzální koordinovaný čas)

Seznam obrázků

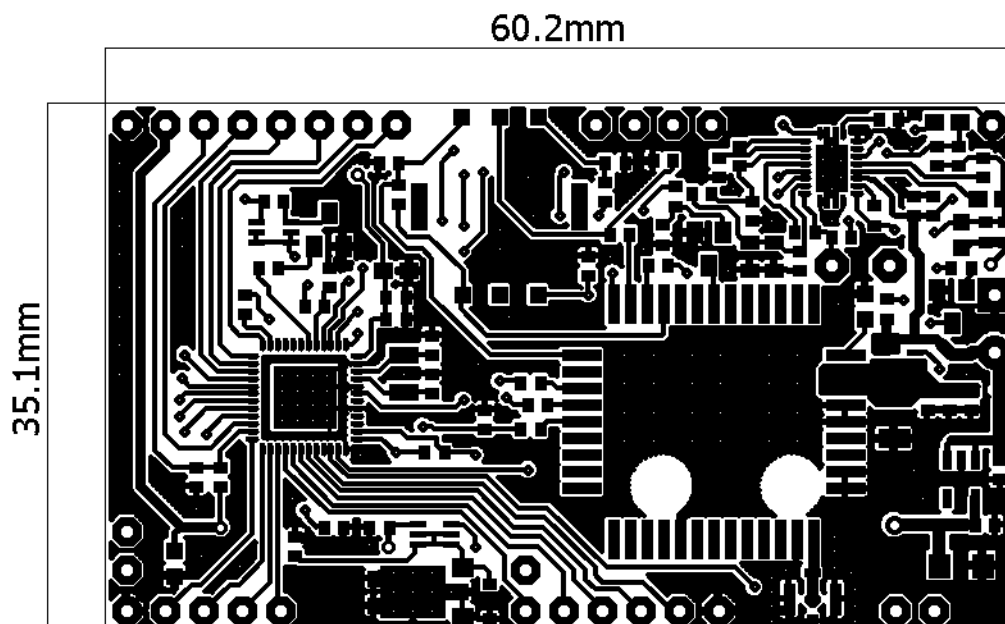
<i>Obr. 1: GPS lokátor pro kočky a psy Kippy [3].....</i>	<i>12</i>
<i>Obr. 2: GPS lokátor pro sledování automobilu UDT--MT-02 [4].....</i>	<i>13</i>
<i>Obr. 3: Hodinky s GPS lokací TK-109 [4].....</i>	<i>14</i>
<i>Obr. 4: Přívěsek s GPS lokací [4].....</i>	<i>15</i>
<i>Obr. 5: Miniaturní GPS lokátor TK-102 [4].....</i>	<i>16</i>
<i>Obr. 6: Blokové schéma systému.....</i>	<i>24</i>
<i>Obr. 7: Blokové schéma - hlavní deska.....</i>	<i>25</i>
<i>Obr. 8: Blokové schéma - periferní deska.....</i>	<i>26</i>
<i>Obr. 9: Zapojení LDO stabilizátoru.....</i>	<i>27</i>
<i>Obr. 10: Blokové schéma bezdrátového nabíjecího systému [14].....</i>	<i>28</i>
<i>Obr. 11: Schéma zapojení obvodu Ti bq51050B.....</i>	<i>30</i>
<i>Obr. 12: Nabíjecí cyklus lithiové baterie [12].....</i>	<i>32</i>
<i>Obr. 13: Měření nabíjecího proudu.....</i>	<i>33</i>
<i>Obr. 14: Tvar nabíjecího proudu.....</i>	<i>34</i>
<i>Obr. 15: Zapojení pro odpojování zátěže na 3,3 V větvi.....</i>	<i>35</i>
<i>Obr. 16: Zapojení pro odpojování zátěže na 3,7 V větvi.....</i>	<i>35</i>
<i>Obr. 17: Proudové špičky modulu GSM [9].....</i>	<i>36</i>
<i>Obr. 18: Schéma zapojení Quectel M66.....</i>	<i>37</i>
<i>Obr. 19: GSM anténa.....</i>	<i>37</i>
<i>Obr. 20: Zapojení vibračního elementu.....</i>	<i>38</i>
<i>Obr. 21: Obvod pro měření napětí baterie.....</i>	<i>38</i>
<i>Obr. 22: Zapojení MSP430FR5969.....</i>	<i>39</i>
<i>Obr. 23: Zapojení GPS Quectel L80 a bufferu 74ABT125PW.....</i>	<i>40</i>
<i>Obr. 24: Zapojení Bluetooth modulu HC-05.....</i>	<i>41</i>
<i>Obr. 25: Zapojení magnetického spínače TLE 4913.....</i>	<i>41</i>
<i>Obr. 26: Schéma zapojení akcelerometru MMA8453Q.....</i>	<i>42</i>
<i>Obr. 27: Struktura programu.....</i>	<i>43</i>
<i>Obr. 28: Vývojový diagram spuštění lokátoru (reset).....</i>	<i>45</i>
<i>Obr. 29: Vývojový diagram SMS Stav.....</i>	<i>46</i>
<i>Obr. 30: Vývojový diagram SMS Poloha.....</i>	<i>48</i>

Seznam tabulek

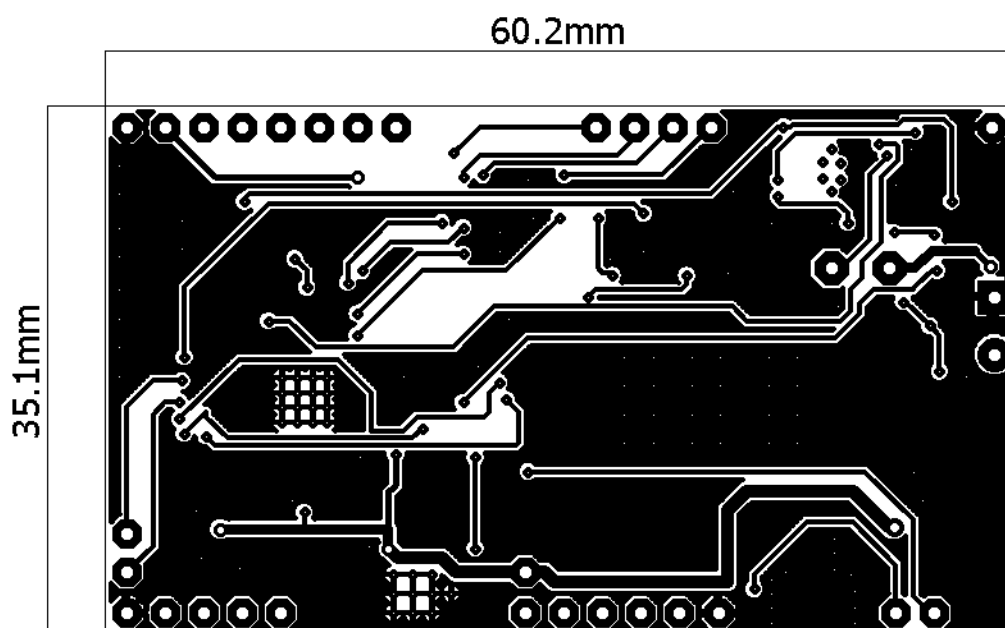
<i>Tab. 1: Technické parametry výrobku Kippy [3].....</i>	<i>12</i>
<i>Tab. 2: Technické parametry zařízení pro sledování automobilů UDT-MT-02 [4].....</i>	<i>13</i>
<i>Tab. 3: Technické parametry hodinek s GPS lokací TK-109 [5].....</i>	<i>14</i>
<i>Tab. 4: Technické údaje přívěsku s GPS lokací [4].....</i>	<i>15</i>
<i>Tab. 5: Technické parametry miniaturního lokátoru TK-102 [4].....</i>	<i>16</i>
<i>Tab. 6: Technické parametry mikrokontroléru TI MSP430FR5969 [7].....</i>	<i>19</i>
<i>Tab. 7: Technické parametry modulu GPS Quectel L80 [8].....</i>	<i>20</i>
<i>Tab. 8: Technické parametry modulu GSM Quectel M66 [9].....</i>	<i>21</i>
<i>Tab. 9: Technické parametry modulu Bluetooth HC-05.....</i>	<i>21</i>
<i>Tab. 10: Technické parametry akcelerometru MMA8453Q [11].....</i>	<i>22</i>
<i>Tab. 11: Indikátor stavu NETLIGHT.....</i>	<i>36</i>
<i>Tab. 12: Příklad paketu \$GPRMC a jeho dekódování [16].....</i>	<i>47</i>

A) Návrh zařízení

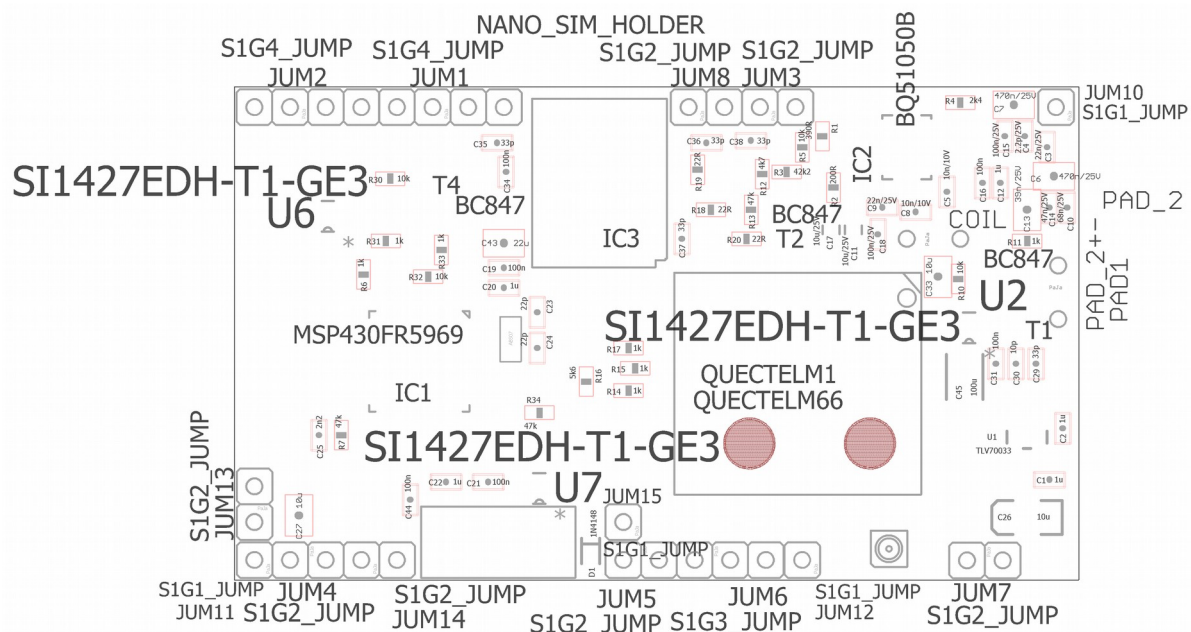
A.1) Deska plošného spoje hlavní deska – top 2:1



A.2) Deska plošného spoje hlavní deska – bottom 2:1

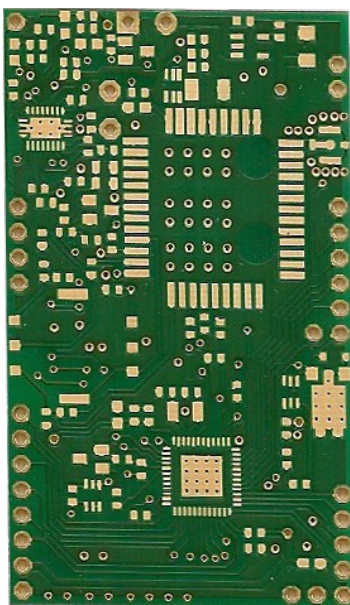


A.3) Deska plošného spoje hlavní deska – top (osazovací)

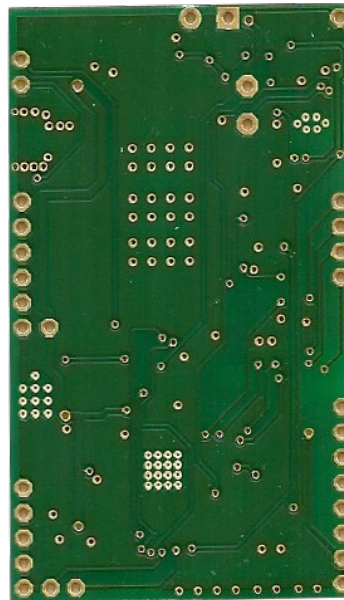


A.4) Deska plošného spoje hlavní deska – reálný pohled

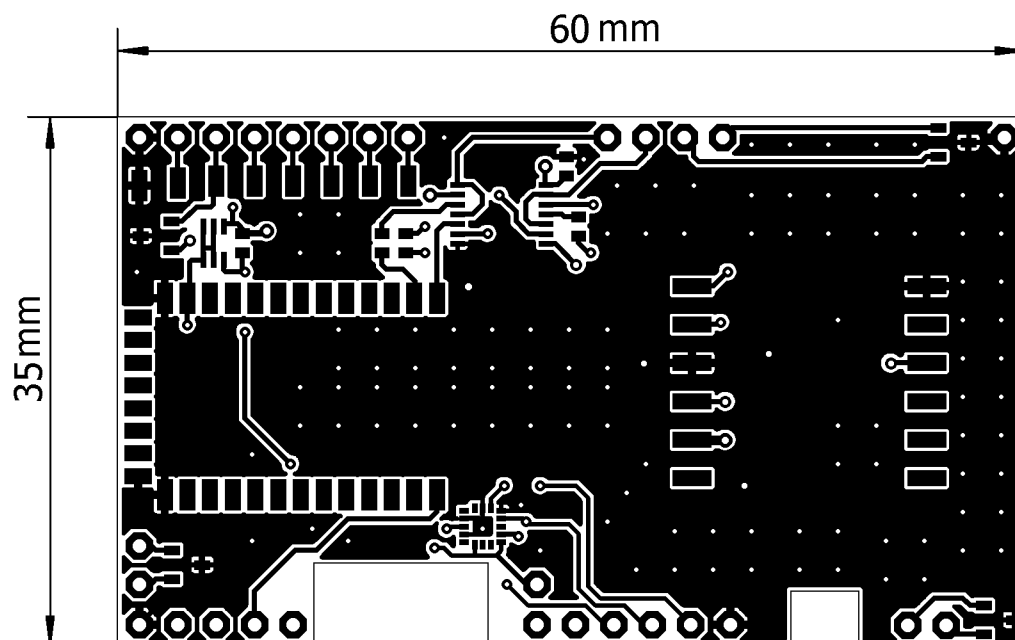
TOP



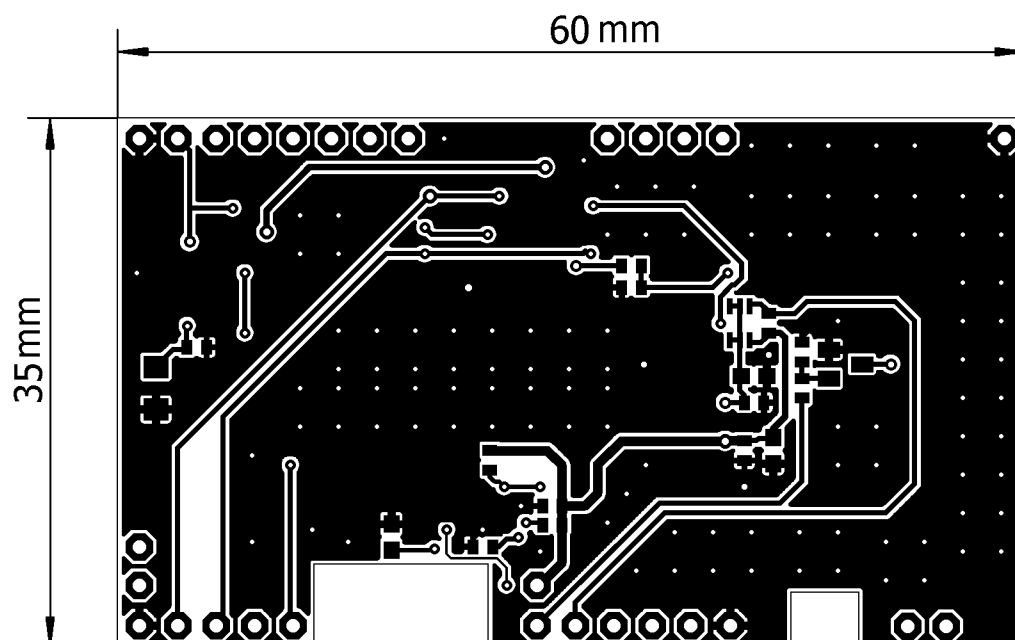
BOTTOM



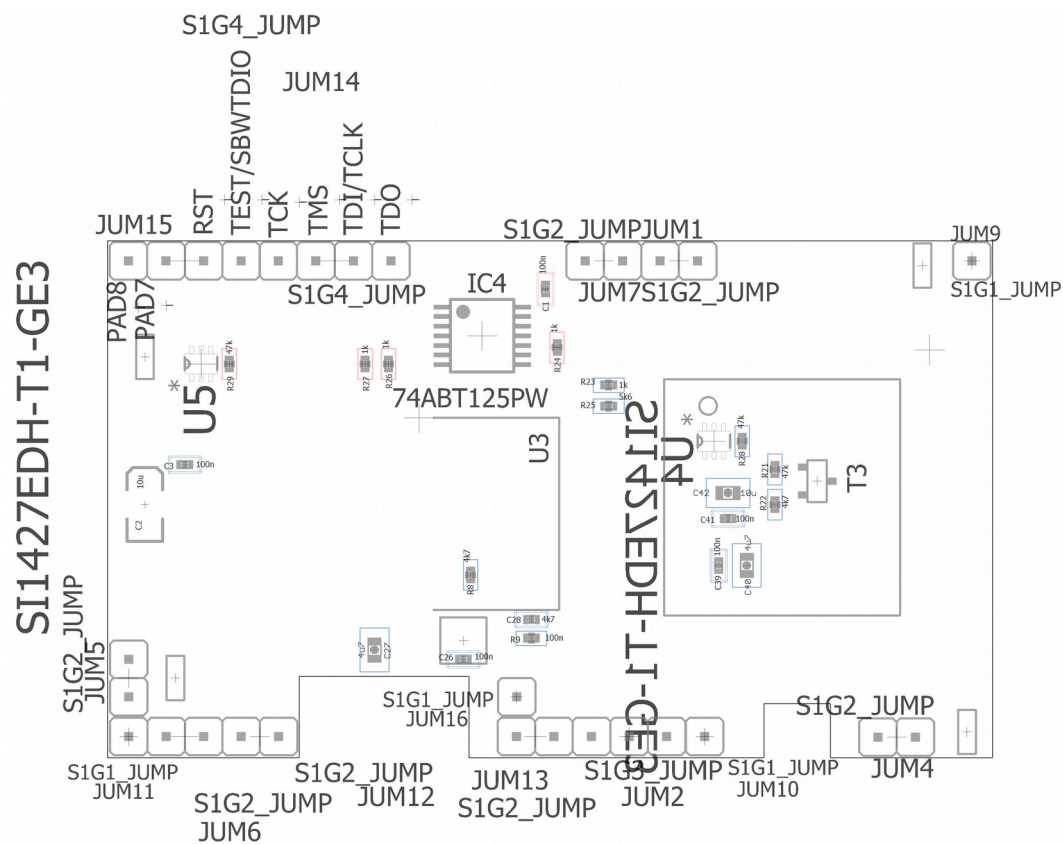
A.5) Deska plošného spoje periferní deska – top 2:1



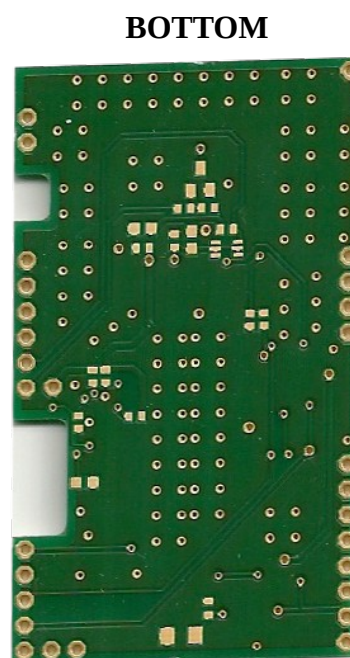
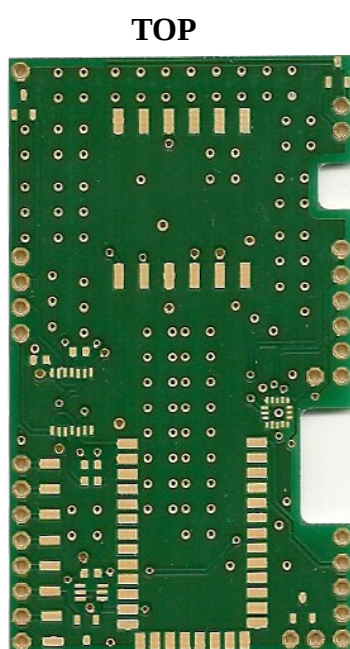
A.6) Deska plošného spoje periferní deska – bottom 2:1



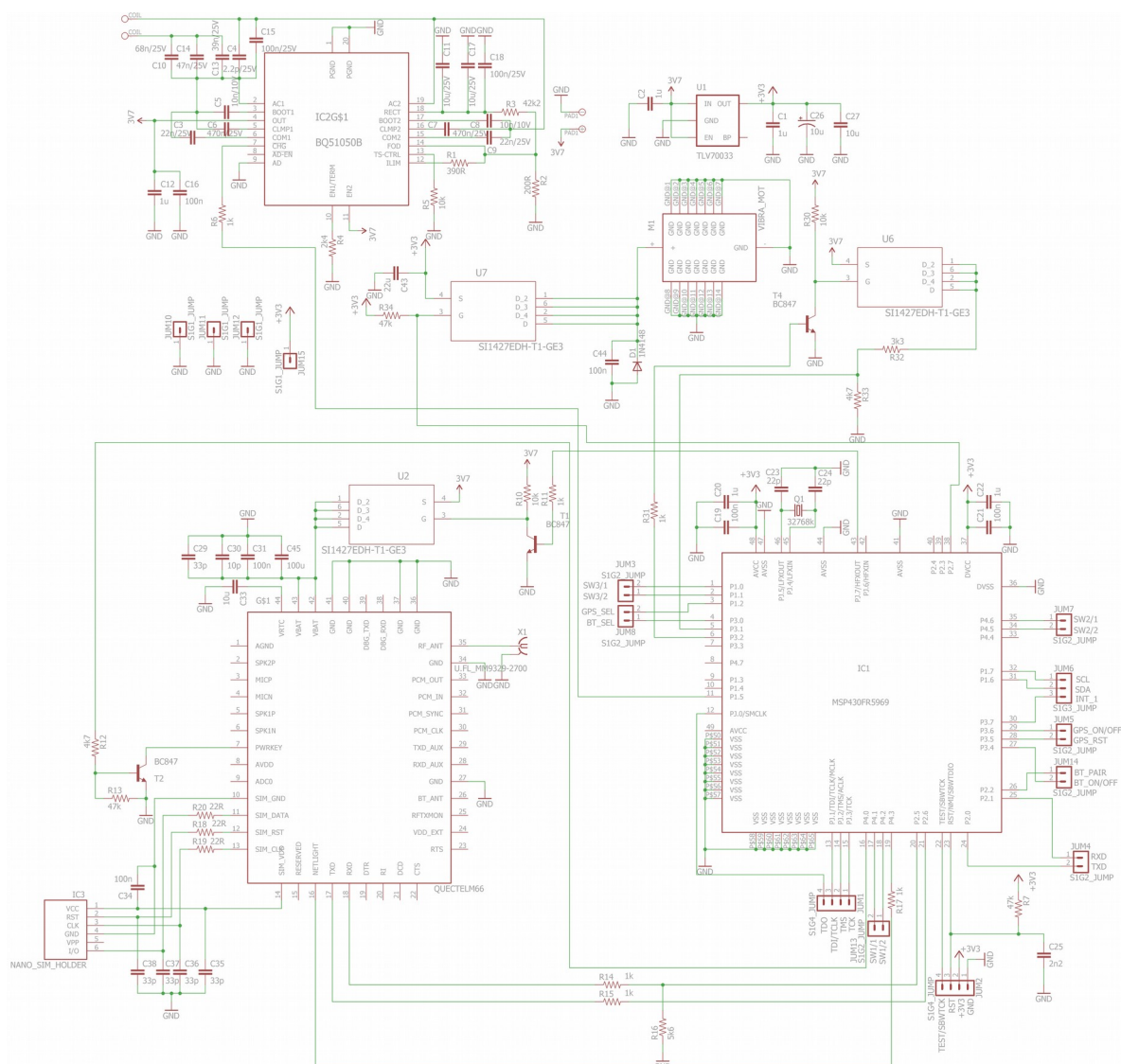
A.7) Deska plošného spoje periferní deska – top, bottom (osazovací)



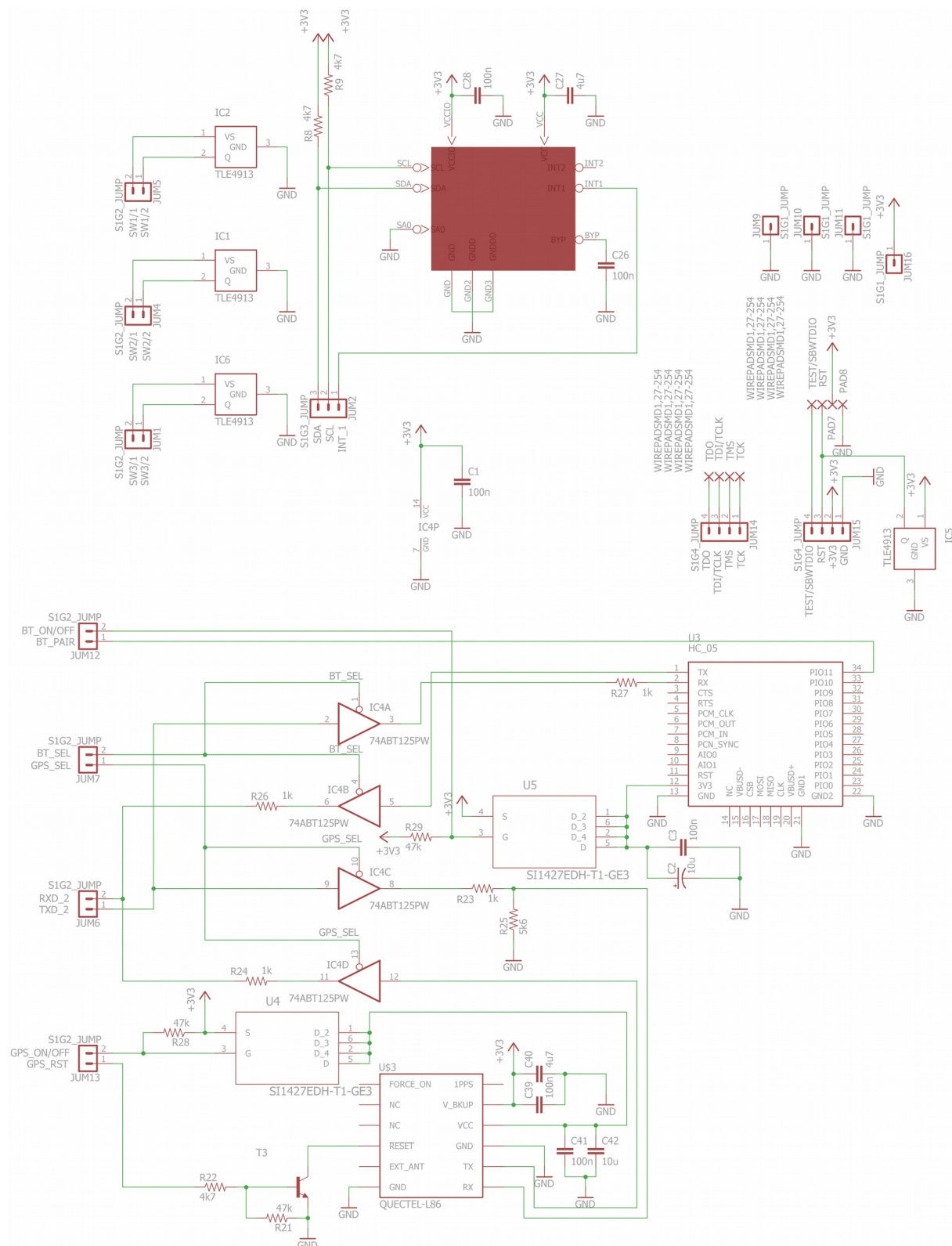
A.8) Deska plošného spoje periferní deska – reálný pohled



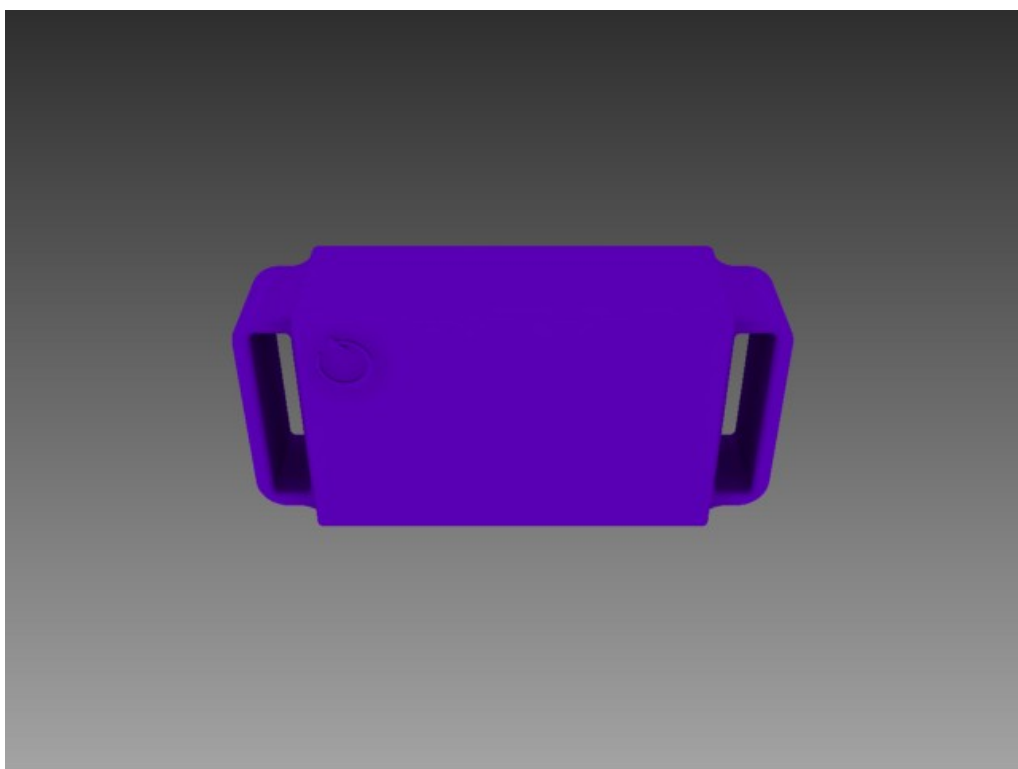
A.9) Schéma zapojení – hlavní deska



A.10) Schéma zapojení – periferní deska



A.11) Grafický návrh krabičky lokátoru



A.12) Mapování veškerých portů MCU

Tlačítka				
	Napájení (OUT)	ZAP	VYP	Spínání (IN)
SW 1	P 4.1	0	1	P 4.2
SW 2	P 4.6	0	1	P 4.5
SW 3	P 1.0	0	1	P 1.1

Akcelerometr			
	SDA	SCL	INTER (IN)
	P 1.6	P 1.7	P 3.7

Bluetooth							
	UART SW (OUT)	ZAP	VYP	BT PAIR (OUT)	Napájení (OUT)	ZAP	VYP
	P 3.0	0	1	P 2.2	P 3.4	0	1
	P 1.2	1	0				

GPS									
	UART SW (OUT)	ON	OFF	Napájení (OUT)	ON	OFF	Reset (OUT)	ON	OFF
	P 1.2	0	1	P 3.6	0	1	P 3.5	1	0
	P 3.0	1	0						

BT/GPS UART		
	RXD	TXD
	P 2.1	P 2.0

GSM									
	Napájení (OUT)	ON	OFF	TXD	RXD	NETLIGHT (IN)	Sleep SW (OUT)	ON	OFF
	P J.7	0	1	P 2.5	P 2.6	P 4.3	P 4.0	1	0

Vibra			
	Napájení (OUT)	ON	OFF
	P 2.7	0	1

BAT Voltage				
	Napájení (OUT)	ON	OFF	Měření (IN)
	P 3.2	0	1	P 3.1

Nabíjecí	
	Nabíjení (IN)
	P 1.5

A.13) Seznam součástek – hlavní deska

ks	Hodnota	Zařízení	Pozdro	Díly	Popis
1		RESISTOR0402-RES	0402-RES	C16, C19, C21, C31, C34,	Resistor
6	100n	CAP0402-CAP	0402-CAP	C44	Capacitor
2	100n/25V	CAP0402-CAP	0402-CAP	C15, C18	Capacitor
1	100u	CAP1210	1210	C45	Capacitor
1	3k3	RESISTOR0402-RES	0402-RES	R32	Resistor
1	4k7	RESISTOR0402-RES	0402-RES	R33	Resistor
4	10k	RESISTOR0402-RES	0402-RES	R5, R10, R30	Resistor
2	10n/10V	CAP0402-CAP	0402-CAP	C5, C8	Capacitor
1	10p	CAP0402-CAP	0402-CAP	C30	Capacitor
2	10u	CAP0603-CAP	0603-CAP	C27, C33	Capacitor
1	10u	CAP_POL1206	EIA3216	C26	Capacitor Polarized
2	10u/25V	CAP0805	805	C11, C17	Capacitor
1	1N4148	DIODESOD	SOD-323	D1	Diode
7	1k	RESISTOR0402-RES	0402-RES	R6, R11, R14, R15, R17, R31, R33	Resistor
5	1u	CAP0402-CAP	0402-CAP	C1, C2, C12, C20, C22	Capacitor
1	2.2p/25V	CAP0402-CAP	0402-CAP	C4	Capacitor
3	22R	RESISTOR0402-RES	0402-RES	R18, R19, R20	Resistor
2	22n/25V	CAP0402-CAP	0402-CAP	C3, C9	Capacitor
2	22p	CAP0402-CAP	0402-CAP	C23, C24	Capacitor
1	22u	CAP0603-CAP	0603-CAP	C43	Capacitor
1	390R	RESISTOR0402-RES	0402-RES	R2	Resistor
1	2k4	RESISTOR0402-RES	0402-RES	R4	Resistor
1	2n2	CAP0402-CAP	0402-CAP	C25	Capacitor
1	200R	RESISTOR0402-RES	0402-RES	R1	Resistor
1	32768k	ABS07	ABS07	Q1	
5	33p	CAP0402-CAP	0402-CAP	C29, C35, C36, C37, C38	Capacitor
1	39n/25V	CAP0603-CAP	0603-CAP	C13	Capacitor
2	470n/25V	CAP0603-CAP	0603-CAP	C6, C7	Capacitor
3	47k	RESISTOR0402-RES	0402-RES	R7, R13, R34	Resistor
1	47n/25V	CAP0402-CAP	0402-CAP	C14	Capacitor
1	4k7	RESISTOR0402-RES	0402-RES	R12	Resistor
1	5k6	RESISTOR0402-RES	0402-RES	R16	Resistor
1	68n/25V	CAP0402-CAP	0402-CAP	C10	Capacitor
1	BC847	BC847	SOT23	T2	NPN TRANSISTOR
2	BC847	BC847C-NPN-SOT23-BEC	SOT23-BEC	T1, T4	NPN Transistor
1	BQ51050B	BQ51013A	RHL_R-VQFN-N20	IC2	Integrated Wireless Power Supply Receiver, Qi Compliant
1	MSP430FR5969	MSP430FR5969	VQFN_48	IC1	
1	NANO_SIM_HOLDER	NANO_SIM_HOLDER	NANO_SIM_SMD	IC3	
1	PAD_2	PAD_2	PAD_2	COIL	Pajeci bod - 2,54 mm prumer - 2x
1	PAD_2+-	PAD_2+-	PAD_2+-	PAD1	Pajeci bod - 2,54 mm prumer, + a -, napajeci
1	QUECTELM66	QUECTELM66	LCC44	QUECTELM1	
4	S1G1_JUMP	S1G1_JUMP	S1G1_JUM	JUM10, JUM11, JUM12, JUM15	Radove konektory - koliky - 1x
7	S1G2_JUMP	S1G2_JUMP	S1G2_JUM	JUM3, JUM4, JUM5, JUM7, JUM8, JUM13, JUM14	Radove konektory - koliky - 2x
1	S1G3_JUMP	S1G3_JUMP	S1G3_JUM	JUM6	Radove konektory - koliky - 3x
2	S1G4_JUMP	S1G4_JUMP	S1G4_JUM	JUM1, JUM2	Radove konektory - koliky - 4x
3	SI1427EDH-T1-GE3	SI1427EDH-T1-GE3	SOT65P210X110-6N	U2, U6, U7	P-Channel 20 V (D-S) MOSFET
1	TLV70033	V_REG_LDOSMD	SOT23-5	U1	Voltage Regulator LDO

A.14) Seznam součástek – periferní deska

ks	Hodnota	Zařízení	Pouzdro	Součástka	Popis
1		BC847-NPN-SOT23-BEC	SOT23-BEC	T3	NPN Transistor
6	100n	CAP0402-CAP	0402-CAP	C1, C3, C26, C28, C39, C41	Capacitor
1	10u	CAP0603-CAP	0603-CAP	C42	Capacitor
1	10u	CAP_POL1206	EIA3216	C2	Capacitor Polarized
4	1k	RESISTOR0402-RES	0402-RES	R23, R24, R26, R27	Resistor
3	47k	RESISTOR0402-RES	0402-RES	R21, R28, R29	Resistor
3	4k7	RESISTOR0402-RES	0402-RES	R8, R9, R22	Resistor
2	4u7	CAP0603-CAP	0603-CAP	C27, C40	Capacitor
1	5k6	RESISTOR0402-RES	0402-RES	R25	Resistor
1	74ABT125PW	74ABT125PW	TSSOP14	IC4	Quad bus BUFFER, 3-state
1	HC_05	HC_05	BLUETOOTH_SMD	U3	
1	MMA8453Q	MMA8453Q	QFN_16	U\$1	
1	QUECTEL-L86	QUECTEL-L86	QUECTEL-L86	U\$3	GPS POT (Patch on Top) module with an embedded 15.0 × 15.0 × 4.0mm patch antenna.
4	S1G1_JUMP	S1G1_JUMP	S1G1_JUM	JUM9, JUM10, JUM11, JUM16	Radove konektory - koliky - 1x
7	S1G2_JUMP	S1G2_JUMP	S1G2_JUM	JUM1, JUM4, JUM5, JUM6, JUM7, JUM12, JUM13	Radove konektory - koliky - 2x
1	S1G3_JUMP	S1G3_JUMP	S1G3_JUM	JUM2	Radove konektory - koliky - 3x
2	S1G4_JUMP	S1G4_JUMP	S1G4_JUM	JUM14, JUM15	Radove konektory - koliky - 4x
2	SI1427EDH-T1-GE3	SI1427EDH-T1-GE3	SOT65P210X110-6N	U4, U5	P-Channel 20 V (D-S) MOSFET
4	TLE4913	TLE4913	SC59-3	IC1, IC2, IC5, IC6	
8	WIREPADSMD1,27-254	WIREPADSMD1,27-254	SMD1,27-2,54	PAD7, PAD8, RST, TCK, TDI/TCLK, TDO, TEST/SBWDIO, TMS	Wire PAD connect wire on PCB

A.15) Seznam součástek – ostatní

ks	Zařízení	Součástka	Popis
1	LP603449	Baterie	Li-Pol 3,7 V, 1100 mAh
1	WE-WPCC	RX COIL	Nabíjecí cívka 12 uH
1		GSM ANT	U.FL GSM PCB Antena